



**Análisis y simulación para la identificación y propuesta de homologación del vidrio de
seguridad de uso automotriz sometido a pruebas de impacto**

Luna Bustillos, Anthony Leonardo y Morales Toapanta, Norman Ariel

Departamento de Ciencias de La Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio

22 de febrero del 2022



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **Análisis y simulación para la identificación y propuesta de homologación del vidrio de seguridad de uso automotriz sometido a pruebas de impacto** fue realizado por los señores **Luna Bustillos, Anthony Leonardo y Morales Toapanta, Norman Ariel** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 17 de febrero del 2022



.....
Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio

C.C: 0503010555

Reporte de verificación de contenido



Tesis Homologación Vidrio Automotriz - Luna&Morales.pdf

Scanned on: 16:17 February 16, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	1115
Words with Minor Changes	236
Paraphrased Words	754
Omitted Words	3126



El código QR está relacionado con:
GUILLERMO
MAURICIO CRUZ
ARCOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Luna Bustillos, Anthony Leonardo** con cédula de ciudadanía número **1723569685** y **Morales Toapanta, Norman Ariel**, con cédula de ciudadanía número **1721087144**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***Análisis y simulación para la identificación y propuesta de homologación del vidrio de seguridad de uso automotriz sometido a pruebas de impacto*** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 17 de febrero del 2022

Luna Bustillos, Anthony Leonardo

C.C.: 1723569685

Morales Toapanta, Norman Ariel

C.C.: 1721087144



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Luna Bustillos, Anthony Leonardo** con cédula de ciudadanía número **1723569685** y **Morales Toapanta, Norman Ariel**, con cédula de ciudadanía número **1721087144**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: ***Análisis y simulación para la identificación y propuesta de homologación del vidrio de seguridad de uso automotriz sometido a pruebas de impacto*** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 17 de febrero del 2022

.....
Luna Bustillos, Anthony Leonardo

C.C.: 1723569685

.....
Morales Toapanta, Norman Ariel

C.C.: 1721087144

Dedicatoria

El presente va dedicado a todas aquellas personas que supieron auxiliarme en mi necesidad y también en mi estabilidad. Personas que son muy importantes para mí y que con su apoyo puedo cumplir esta meta anhelada. Espero aportar entusiasmo y orgullo a cada una de ellas.

LUNA BUSTILLOS ANTHONY LEONARDO

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mis padres Cristóbal Morales y Mónica Toapanta, quienes han sido el pilar fundamental durante toda mi vida, guiándome e inculcando valores los cuales me han permitido alcanzar esta meta tan anhelada.

A mis hermanos y familiares que han sido inspiración para terminar esta etapa universitaria.

A mi novia Melani por motivarme y darme su apoyo incondicional todos los días.

Para culminar agradezco a las personas, amigos y compañeros que estuvieron presentes con su ayuda y respaldo en el día a día.

MORALES TOAPANTA NORMAN ARIEL

Agradecimiento

Agradezco a Dios por permitirme vivir esta gran oportunidad y experiencia.

Agradezco a mi familia, que con su ayuda se me ha hecho posible alcanzar el lugar en donde me encuentro.

A mi amigo y compañero de tesis Norman, con su apoyo este trabajo ha sido desarrollado de buena forma.

Doy las gracias al Ing. Mauricio Cruz, director del proyecto de investigación, por haber compartido su conocimiento y su apoyo para el desarrollo del mismo.

Agradezco a mis compañeros y amigos que supieron compartir esta gran experiencia de estudiante conmigo.

LUNA BUSTILLOS ANTHONY LEONARDO

Agradecimiento

A mi padre Cristóbal Morales y mi madre Mónica Toapanta por su ayuda incondicional y el amor brindado durante toda esta etapa, ayudándome a cumplir todos mis sueños y metas.

Agradezco a mi director de tesis Ing. Mauricio Cruz por brindarme las herramientas, conocimientos y guía en la elaboración del proyecto.

A mi amigo Leonardo Luna, que gracias a su apoyo hemos desarrollado el proyecto de investigación con éxito.

Por último, agradezco a mi novia Melani por motivarme cada día y no permitir que decaiga en los momentos más difíciles.

MORALES TOAPANTA NORMAN ARIEL

Tabla de contenido

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte de verificación de contenido.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Tabla de contenido.....	10
Índice de figuras.....	15
Índice de tablas.....	19
Resumen.....	21
Abstract.....	22
Marco metodológico de la investigación.....	23
Antecedentes investigativos	23
Planteamiento del problema	25
Descripción resumida del proyecto	27
Justificación e importancia	28

Objetivos	29
<i>Objetivo general</i>	29
<i>Objetivos específicos</i>	29
Metas del proyecto	30
Hipótesis.....	30
VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	31
<i>Variables independientes</i>	31
<i>Variables dependientes</i>	32
Metodología de desarrollo del proyecto	33
<i>Método documental-bibliográfico</i>	33
<i>Método experimental</i>	34
<i>Metodología de investigación</i>	34
<i>Método analítico</i>	34
<i>Método deductivo</i>	35
Marco teórico.....	40
El vidrio.....	40
Fundamentos del vidrio.....	41
Fundamentos del vidrio de seguridad de uso automotriz.....	43
Vidrio de seguridad de uso automotriz.....	48
Función del vidrio de seguridad de uso automotriz.....	48

Componentes del vidrio de seguridad de uso automotriz	49
Elaboración del vidrio de seguridad de uso automotriz.....	49
Tipos de vidrios de seguridad de uso automotriz	50
Vidrio de seguridad laminado	50
<i>Funciones del vidrio de seguridad laminado</i>	<i>51</i>
<i>Fabricación del vidrio de seguridad laminado</i>	<i>52</i>
Vidrio de seguridad templado.....	56
<i>Fabricación del vidrio de seguridad templado.....</i>	<i>57</i>
<i>Métodos de templado del vidrio de seguridad</i>	<i>57</i>
<i>Funciones del vidrio de seguridad templado</i>	<i>58</i>
<i>Fabricación del vidrio de seguridad templado.....</i>	<i>59</i>
<i>Tipos de hornos de templado</i>	<i>63</i>
Requisitos específicos que deben cumplir los vidrios de seguridad de uso automotriz	66
<i>Requisitos para vidrios de seguridad</i>	<i>66</i>
<i>Requisitos dimensionales: espesor</i>	<i>67</i>
Métodos de ensayo y pruebas a impacto	68
<i>Ensayo de la determinación de la fragmentación.....</i>	<i>68</i>
<i>Ensayo de la determinación de la resistencia a la prueba de impacto NTE INEN 1723.....</i>	<i>69</i>
<i>Determinación de la resistencia al impacto NTE INEN 1724</i>	<i>70</i>
Condiciones específicas para la homologación del fabricante MERCOSUR.	71

<i>Vidrio de seguridad templado</i>	71
<i>Vidrio de seguridad laminado (utilizado como parabrisas)</i>	74
Software CAE	76
<i>Solidworks</i>	76
<i>ANSYS.</i>	79
Ensayos y pruebas de vidrios automotrices.....	83
Ensayo de la determinación de la fragmentación.....	83
<i>Procedimiento</i>	83
<i>Obtención de resultados</i>	88
Ensayo determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero	91
<i>Procedimiento</i>	93
<i>Obtención de resultados</i>	102
<i>Ensayo de la determinación de la resistencia al impacto NTE INEN 1724.</i>	105
Procedimiento	106
Obtención de resultados	111
Análisis y simulación CAE.....	113
Entorno cae para la simulación de ensayos	113
<i>Simulación de la determinación de la fragmentación</i>	113
Simulación determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero	119
<i>Simulación de la determinación de la resistencia al impacto NTE INEN 1724.</i>	128

Análisis de resultados.....	133
Análisis de resultados de ensayos	133
<i>Ensayo de la determinación de la fragmentación.....</i>	<i>133</i>
<i>Determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero</i>	<i>135</i>
<i>Determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza (ensayo maniquí)....</i>	<i>137</i>
Análisis de resultados CAE	138
<i>Análisis de resultados ensayo de la determinación de la fragmentación</i>	<i>138</i>
<i>Análisis de resultados ensayo de la determinación NTE INEN 1723</i>	<i>143</i>
<i>Análisis de resultados ensayo de la determinación NTE INEN 1724</i>	<i>149</i>
Comparativas resultados ensayos y CAE.....	152
<i>Ensayo de la determinación de la fragmentación.....</i>	<i>152</i>
<i>Ensayo determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero</i>	<i>153</i>
<i>Ensayo de la determinación de la resistencia al impacto NTE INEN 1724.....</i>	<i>155</i>
Conclusiones y recomendaciones.....	157
Conclusiones	157
Recomendaciones	159
Bibliografía.....	161
Anexos	167

Índice de figuras

Figura 1 <i>Árbol de planteamiento del problema</i>	25
Figura 2 <i>El Vidrio</i>	40
Figura 3 <i>Vidrio en la antigüedad</i>	41
Figura 4 <i>Revolución industrial del vidrio</i>	42
Figura 5 <i>Vidrio de seguridad de uso automotriz</i>	43
Figura 6 <i>Gafas de protección</i>	44
Figura 7 <i>Parabrisas de Henry Ford</i>	45
Figura 8 <i>Edouard Benedictus</i>	46
Figura 9 <i>Ford modelo T</i>	47
Figura 10 <i>Chrysler Imperial Airflow CW</i>	47
Figura 11 <i>Ruptura del vidrio de seguridad laminado</i>	51
Figura 12 <i>Lavadora de vidrio laminado</i>	53
Figura 13 <i>Horno de precalentamiento</i>	54
Figura 14 <i>Cámara cerrada con lámparas de rayos UV</i>	56
Figura 15 <i>Fraccionamiento de un vidrio templado</i>	56
Figura 16 <i>Corte del vidrio de seguridad</i>	60
Figura 17 <i>Lijar los bordes</i>	60
Figura 18 <i>Limpieza de cristal</i>	61
Figura 19 <i>Calentamiento del vidrio</i>	62

Figura 20 <i>Enfriamiento del vidrio de seguridad</i>	63
Figura 21 <i>Horno térmico de templado vertical</i>	64
Figura 22 <i>Horno térmico de templado horizontal</i>	65
Figura 23 <i>Página principal de SolidWorks</i>	77
Figura 24 <i>Página principal de ANSYS en su versión estudiantil</i>	80
Figura 25 <i>Puntos prescritos de impacto</i>	85
Figura 26 <i>Esfera de acero 225 g</i>	91
Figura 27 <i>Esfera de acero 2.25 Kg</i>	92
Figura 28 <i>Probetas de Ensayo Templadas</i>	94
Figura 29 <i>Ensayo de la determinación de la resistencia al impacto</i>	95
Figura 30 <i>Probetas Laminadas</i>	99
Figura 31 <i>Ensayo de probeta laminada</i>	100
Figura 32 <i>Grupo de cuatro probetas sometidas a ensayo</i>	103
Figura 33 <i>Disposición de los elementos para el ensayo</i>	107
Figura 34 <i>Grupo de cuatro probetas laminadas</i>	108
Figura 35 <i>Modelado de Probeta Templada</i>	114
Figura 36 <i>Puntos de impacto prescritos</i>	116
Figura 37 <i>Aplicación de puntos de sujeción</i>	117
Figura 38 <i>Aplicación de carga remota en el punto de impacto inferior número dos</i>	118
Figura 39 <i>Mallado de componentes</i>	119

Figura 40 <i>Ensamble de soporte</i>	122
Figura 41 <i>Punto de impacto prescrito</i>	123
Figura 42 <i>Altura de caída esfera 225 g para probeta templada</i>	124
Figura 43 <i>Altura de caída esfera 2.25 Kg para probeta laminada</i>	125
Figura 44 <i>Fuerza actuante gravedad probeta templada</i>	126
Figura 45 <i>Fuerza actuante gravedad probeta laminada</i>	126
Figura 46 <i>Mallado de probeta de ensayo templada</i>	127
Figura 47 <i>Mallado de probeta de ensayo laminada</i>	127
Figura 48 <i>Punto de impacto prescrito</i>	129
Figura 49 <i>Altura de caída Maniquí</i>	130
Figura 50 <i>Fuerza actuante de gravedad</i>	131
Figura 51 <i>Mallado de probeta de ensayo laminada</i>	132
Figura 52 <i>Análisis comparativo de la determinación de la fragmentación</i>	134
Figura 53 <i>Análisis de impacto con esfera de acero de 225 g</i>	135
Figura 54 <i>Penetración después del impacto con esfera de acero 2.25 Kg</i>	136
Figura 55 <i>Peso del grupo de astillas desprendidas en gramos</i>	137
Figura 56 <i>Distancia de rajaduras circulares alrededor del punto de impacto</i>	138
Figura 57 <i>Resultado del análisis de tensiones Von Mises</i>	140
Figura 58 <i>Resultado de análisis de desplazamiento en el Software CAE</i>	141
Figura 59 <i>Resultado del análisis de deformaciones unitarias en Software CAE</i>	142

Figura 60 <i>Resultado del análisis de Factor de Seguridad en el Software CAE</i>	143
Figura 61 <i>Tensiones Von Mises - probeta templada</i>	144
Figura 62 <i>Resultado de desplazamiento - probeta templada</i>	145
Figura 63 <i>Resultado de Factor de seguridad – probeta templada</i>	146
Figura 64 <i>Resultado de tensiones Von Mises - probeta laminada</i>	147
Figura 65 <i>Resultado de desplazamiento - probeta laminada</i>	148
Figura 66 <i>Resultado de Factor de seguridad – probeta laminada</i>	149
Figura 67 <i>Resultado del análisis de tensión – Ensayo Maniquí</i>	150
Figura 68 <i>Resultado del análisis de desplazamiento Ensayo Maniquí</i>	151
Figura 69 <i>Resultado de Factor de seguridad Ensayo Maniquí</i>	152

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Variable independiente. (Utilización de software)</i>	31
Tabla 2 <i>Equiparación de la variable dependiente. (Equiparar indicadores versus requisitos)</i>	32
Tabla 3 <i>Metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevará a cabo el proyecto</i>	35
Tabla 4 <i>Requisitos para vidrios de seguridad</i>	66
Tabla 5 <i>Espesor de vidrio de seguridad</i>	67
Tabla 6 <i>Número de fragmentos en un cuadrado con 50 mm de lado</i>	72
Tabla 7 <i>Altura de la caída en función del espesor</i>	74
Tabla 8 <i>Determinación de la fragmentación – Hoja de protocolo</i>	83
Tabla 9 <i>Fragmentos encontrados en un cuadrado de 50 mm x 50 mm.</i>	88
Tabla 10 <i>Determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero probeta templada</i>	93
Tabla 11 <i>Determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero probeta laminada</i>	98
Tabla 12 <i>Datos obtenidos en el ensayo con vidrios templados</i>	103
Tabla 13 <i>Muestras de vidrios laminados después del ensayo de impacto.</i>	104
Tabla 14 <i>Datos obtenidos en el ensayo de impacto de probetas laminadas</i>	105
Tabla 15 <i>Determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza ensayo maniquí</i> ...	106
Tabla 16 <i>Probetas de ensayo después del impacto con maniquí</i>	111
Tabla 17 <i>Datos obtenidos en el ensayo con vidrios laminados</i>	112
Tabla 18 <i>Características físicas y mecánicas de la base vítrea</i>	115
Tabla 19 <i>Componentes para la determinación de resistencia al impacto con esfera de acero</i> ...	120

Tabla 20 <i>Modelado de componentes para el ensayo de impacto</i>	128
Tabla 21 <i>Determinación de la fragmentación ensayo experimental y virtual</i>	153
Tabla 22 <i>Resistencia al impacto con esfera de acero experimental y virtual en probetas templadas</i>	154
Tabla 23 <i>Resistencia al impacto con esfera de acero experimental y virtual en probetas laminadas</i>	155
Tabla 24 <i>Determinación de la resistencia al impacto con maniquí experimental y virtual</i>	156

Resumen

La investigación se trata del análisis y simulación del vidrio de seguridad de uso automotriz sometido a pruebas de impacto para su identificación y homologación. Se selecciona como vidrio de seguridad de uso automotriz a aquel que se fabrica y/o comercializa en el país, además se cimenta en normativas técnicas nacionales e internacionales las cuales permiten limitar aquellos vidrios que no son considerados como vidrio de seguridad en el automotor. Normativas que rigen la determinación de la fragmentación del vidrio de seguridad de uso automotriz como la NTE INEN 1722, la NTE INEN 1723 que determina la resistencia al impacto en vidrios de seguridad considerando que se aproxima un objeto desde el exterior y desde el interior al automotor. Además de la NTE INEN 1669 la cual establece los requisitos que deben cumplir los vidrios de seguridad de uso automotriz, por ejemplo: parabrisas, lunetas, ventanas fijas y móviles. Para el análisis se realiza los ensayos que corresponden con el sometimiento de impacto al vidrio de seguridad de uso automotriz y posterior a ello se realiza la simulación CAE de las pruebas de impacto partiendo desde el modelado de los componentes considerando las características físicas y mecánicas del vidrio de seguridad en el automotor y los componentes que acompañan en el desarrollo de los ensayos. A través de los resultados obtenidos se puede observar una comparativa experimental y virtual, la cual nos permite detallar factores que permiten apoyar a la identificación y homologación del vidrio de seguridad de uso automotriz fabricado y/o comercializado en el país.

PALABRAS CLAVE:

- **PRUEBAS DE IMPACTO**
- **VIDRIO DE SEGURIDAD DE USO AUTOMOTRIZ**
- **IDENTIFICACIÓN Y HOMOLOGACIÓN**

Abstract

The investigation is based on the analysis and simulation of safety glass for automotive use subjected to impact tests for identification and homologation. As safety glass for automotive use has been selected that one manufactured and/or commercialized in this country. Besides this investigation has the support by national and international technical regulations. Each one allows to the safety glass for automotive use like NTE INEN 1722, national technical regulation that rules the determination of the safety glass when this has been broken. NTE INEN 1723 determines the resistance to the impact of safety glass for automotive use when an object is bringing closer from the outside to the inside at the car. Even this investigation has the support from international technical regulation that set conditions and requirements to the safety glass for automotive use like reduce every kind of passenger injuries, have a great visibility and others requirements. To achieve the analysis the test has a great development and after that comes the simulation CAE of each one. Each test has mention in NTE INEN 1669, the components building need some physical and mechanical characters there were an input from this investigation. Along of the analysis and simulations we have results that permit us identify and homologate a safety glass for automotive use manufactured and/or commercialized in this country.

PALABRAS CLAVE:

- **IMPACT TEST**
- **SAFETY GLASS OF AUTOMOTIVE USE**
- **IDENTIFICATION Y HOMOLOGATION**

Capítulo I

1. Marco metodológico de la investigación

1.1. Antecedentes investigativos

(CARGLASS, 2018) Menciona: “Como ya hemos comentado en otras ocasiones, las lunas conforman un elemento esencial de la carrocería del vehículo y debido a su influencia sobre la seguridad del mismo, deben estar homologadas adecuadamente. Para conseguir este distintivo, los cristales tienen que superar una serie de pruebas altamente estrictas, según la normativa europea, para cumplir con las pautas de seguridad necesarias. Aunque todas las lunas del coche se someten a este tipo de examen, se hace un mayor hincapié en los parabrisas.”

(Carrera, 2007) En su artículo de revista menciona “Originalmente, los vidrios cumplían exclusivamente una función de protección y aislamiento del habitáculo, proporcionando visibilidad para la conducción. En la actualidad, la evolución y el desarrollo de los vehículos requieren vidrios que se adapten a nuevas exigencias en materia de seguridad y confort, entre otras, desempeñando una labor determinante para el conjunto estructural. Por este motivo, los elementos de vidrio, como cualquier otro que se monte en los vehículos, están sujetos a severas normativas de homologación e identificación.”

(MORA, 2016)menciona en su investigación: “Para la fabricación del banco de pruebas de vidrios automotrices se analizó la norma INEN de Ecuador y el reglamento No 43 de Europa

vigentes para encontrar puntos en común y realizar la homologación respectiva en las pruebas de impacto con bola de acero a los vidrios automotrices.”

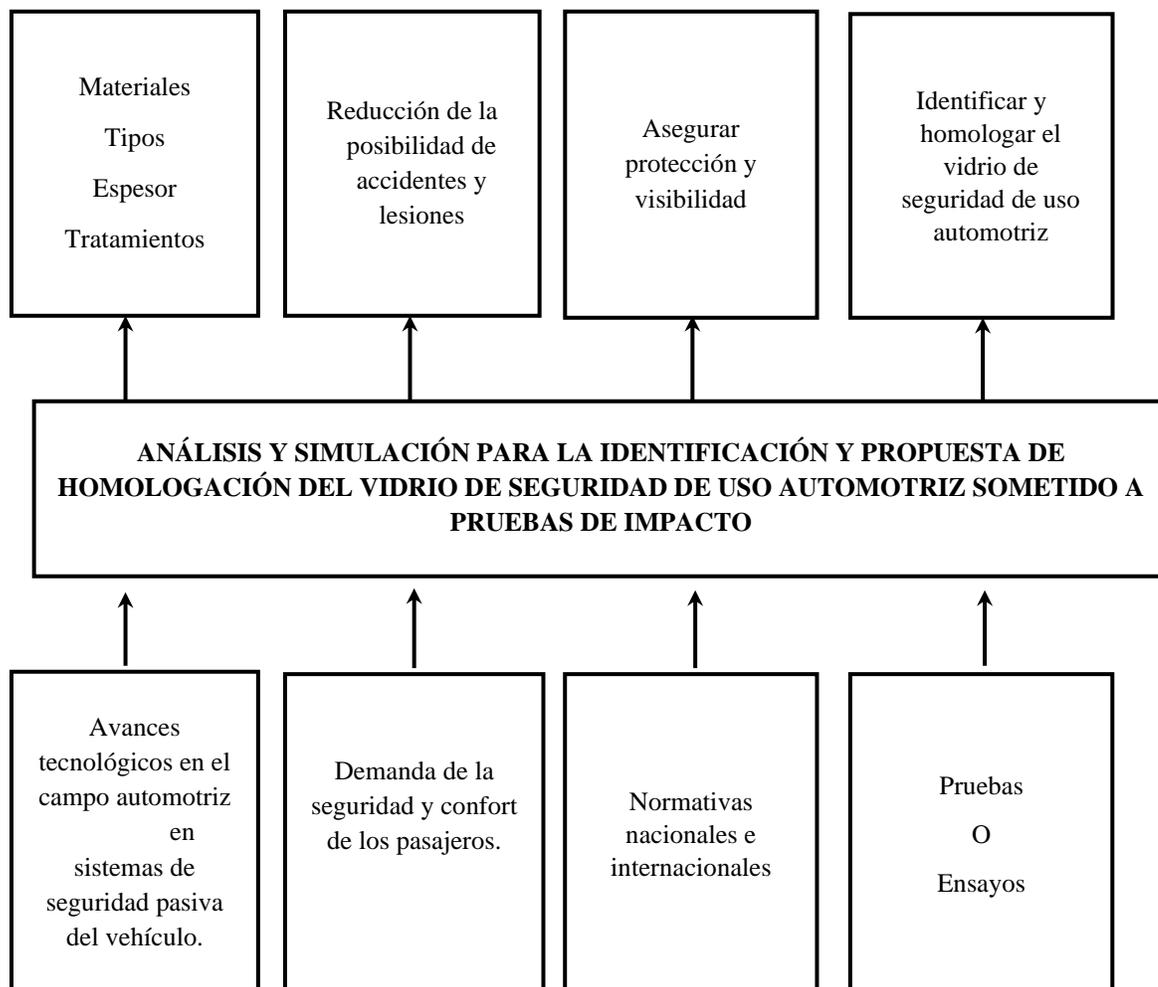
(Centro Zaragoza, 2010) Aseveran que “De las funcionalidades demandadas a los vidrios, el primer lugar lo ocupa el factor seguridad y la protección de los pasajeros, seguido de un aumento del confort (térmico, acústico, visual) aportado al interior del habitáculo. Otro aspecto, que cobra importancia es el medioambiental, que da lugar a la fabricación de vidrios cada vez menos pesados y que reducen el factor térmico o la energía calorífica transmitida al interior del vehículo, repercutiendo en una disminución del uso de la climatización del vehículo y del consumo de combustible”

(MORA, 2016) Concluye en su investigación: “Los vidrios de seguridad templados son realizados mediante el tratamiento térmico donde la superficie exterior está en tensiones de compresión y la superficie interna está en tensiones de tracción, por esta razón se rompen en pequeños fragmentos granulares, mientras más pequeños los fragmentos del vidrio es de mejor calidad. Gracias a estos vidrios podemos rescatar más rápido a los pasajeros en caso de accidentes como incendio o volcamientos del vehículo.”

1.2. Planteamiento del problema

Figura 1

Árbol de planteamiento del problema



Nota. La figura 1 muestra las problemáticas y soluciones que se desarrollará mediante este proyecto de investigación

Hoy en día gracias a los nuevos avances tecnológicos en el área de diseño, modelado y construcción de vidrios automotrices se han añadido componentes, materiales, tratamientos,

entre otros, que ofrecen resistencia a impactos de pequeños escombros inesperados que saltan de otros autos durante la conducción.

La demanda de seguridad y confort de personas que buscan la adquisición de un vehículo implica la existencia de un vidrio de seguridad, así como de otros elementos, que cumpla finalidades funcionales como: visibilidad, comunicación y protección, con el objetivo de reducir cualquier posibilidad de accidentes y evitar lesiones tanto para el conductor como para los pasajeros.

En la actualidad, el vanguardismo y el desarrollo de vehículos requiere vidrios que se adapten a nuevas exigencias en materias como la de seguridad y confort, desempeñando labores importantes en el conjunto estructural. Por este motivo, los elementos de vidrio, como cualquier otro componente que sea parte del conjunto estructural del vehículo, están sujetos a exigentes normativas nacionales o hasta internacionales de identificación y homologación, las cuales en conjunción aseguran la protección, visibilidad y una buena comunicación de los ocupantes del vehículo: chofer y pasajeros.

Los vidrios forman parte de la estructura de la carrocería y por lo tanto tienen una incidencia directa sobre la seguridad activa y pasiva del vehículo. Para garantizar que los vidrios utilizados cumplan con las incidencias de seguridad requeridas, deben realizarse una serie de pruebas y ensayos establecidos por NTE INEN 1669, normativa armonizada MERCOSUR y más. Una vez realizado dichos procedimientos y cumpliéndolos el vidrio de seguridad de uso automotriz es identificado y homologado.

Con lo planteado, el problema a investigar es el ANÁLISIS Y SIMULACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y PROPUESTA DE HOMOLOGACIÓN DEL VIDRIO DE SEGURIDAD DE USO AUTOMOTRIZ SOMETIDO A PRUEBAS DE IMPACTO.

1.3. Descripción resumida del proyecto

Se realizará la búsqueda en bases digitales de investigaciones pertinentes, páginas web de empresas dedicadas a la construcción de vidrios automotrices y publicaciones de sitios web confiables, con lo cual se obtendrá la información base para homologar vidrios automotrices.

Se investigará normativas de homologación e identificación del vidrio de seguridad de uso automotriz, requisitos y procedimientos que se debe llevar a cabo para el mismo.

Se escogerá como principal elemento de prueba al vidrio de seguridad de uso automotriz y se realizará un análisis de pruebas de impacto correspondientes a las normativas de identificación y homologación, para efectuar comparaciones entre los valores producidos del vidrio de uso automotriz comercializado; con lo cual se demostrará la resistencia a los impactos.

Se someterá a seis muestras de vidrio de seguridad templado el ensayo que corresponde a: Fragmentación. Cuyo ensayo consta en impactar el vidrio de seguridad con un dispositivo en el punto prescrito referenciado en la norma técnica ecuatoriana INEN 1722.

Se realizará a cuatro diferentes muestras de vidrio de seguridad templado y cuatro muestras de vidrio de seguridad laminado el segundo ensayo: Impacto con esfera de acero. El ensayo determina la resistencia al impacto en el vidrio de seguridad para automotores. Consiste en dejar caer desde una altura determinada, sin ningún impulso, una esfera de acero endurecido de masa definida, se manifiesta en la norma técnica ecuatoriana INEN 1723.

Se efectuará a cuatro probetas de vidrio laminado diferentes el ensayo correspondiente a: Determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza (ensayo maniquí). El ensayo consiste en dejar caer de cabeza un maniquí, de las características indicadas en la norma técnica

ecuatoriana INEN 1724, desde una altura determinada, sin que se dé ningún impulso, dentro de un círculo de 25 mm de radio, medidos desde el centro de la probeta o muestra de ensayo.

Se utilizará programas informáticos de diseño 3D, CAD y CAE los cuales poseen archivos compatibles y factibles para la realización del proyecto, el mismo que contemplara parámetros requeridos para que los resultados de los diversos ensayos sean los adecuados.

1.4. Justificación e importancia

Los vehículos para circular en las calles, autopistas y carreteras deben cumplir con normas de seguridad como la seguridad activa y seguridad pasiva. Esta investigación se enfoca en el estudio de los vidrios de seguridad que forman parte de la seguridad pasiva y activa del vehículo.

Al realizar esta investigación se podrá obtener una visión sobre las normativas de seguridad que deben cumplir los vidrios de seguridad en automotores, diferentes procesos y ensayos para su cumplimiento.

Inicialmente se efectuará los ensayos correspondientes a normativas e identificación de vidrios de seguridad de uso automotriz, posteriormente se analizará el resultado de los ensayos y pruebas para su identificación y homologación de vidrios de seguridad comercializados en el país.

Recolectando los resultados de ensayos y pruebas para el correspondiente cumplimiento de normativa de identificación y homologación se procederá a realizar las respectivas simulaciones en los programas de diseño 3D involucrados, CAD Y CAE.

Con esta investigación se da iniciativa para poder alcanzar la capacidad de generar nuevos métodos y temas de investigación y conocimiento al contar con las bases y recursos

necesarios para que más estudiantes incursionen en el campo de los diferentes sistemas del automóvil y sus homologaciones como el sistema de seguridad pasiva y activa correspondiente a los vidrios automotrices.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Analizar y simular pruebas de impacto para la identificación y homologación del vidrio de seguridad de uso automotriz

1.5.2. Objetivos específicos

- Investigar normativas para la identificación y homologación del vidrio de seguridad de uso automotriz.
- Identificar las características del vidrio de seguridad de uso automotriz para su análisis en los diferentes requerimientos de las normativas de identificación y homologación.
- Realizar el ensayo de fragmentación para su respectiva comparación de los resultados comercializados y permitidos.
- Ejecutar la prueba de impacto con esfera de acero para su respectiva comparación de los resultados comercializados y permitidos.
- Efectuar el ensayo de determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza (ensayo del maniquí) para su respectiva comparación de los resultados comercializados y permitidos.
- Evaluar los resultados de cada ensayo de impacto realizado para la correspondiente identificación y propuesta de homologación.

1.6. Metas del proyecto

- Recopilar información sobre las normativas y reglamentos nacionales y/o internacionales que permiten la identificación y homologación del vidrio de seguridad de uso automotriz.
- Ejecutar los ensayos y pruebas normadas: Fragmentación, Impacto con esfera de acero y determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza (ensayo del maniquí) con la finalidad de recopilar información útil para la identificación y homologación.
- Realizar el análisis CAE del vidrio de seguridad de uso automotriz para comprobar los datos obtenidos en los ensayos.
- Realizar el análisis comparativo de los resultados obtenidos entre los normados con el fin de elaborar un informe en tres semanas.

1.7. Hipótesis

- ¿El vidrio de seguridad de uso automotriz que se fabrique y/o se comercialice en el país presentará propiedades y variables iguales o mejores a las mismas que se encuentran regidas bajo las normativas de identificación y homologación?

1.8. Variables de la investigación

1.8.1. Variables independientes

Tabla 1

Variable independiente. (Utilización de software)

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítems	Técnica	Instrumentos
Los resultados de la simulación de ensayos utilizando software CAE	Tecnológico	Tensiones	Presión	Experimental	Software CAE
		Desplazamientos	Longitud		
		Deformación unitaria	Adimensional		
		Factor de Seguridad	Adimensional		

Nota. Esta tabla expresa las variables independientes que se aspira investigar mediante el uso de software CAE, con el motivo fundamental para la recopilación de información.

1.8.2. Variables dependientes

Tabla 2

Equiparación de la variable dependiente. (Equiparar indicadores versus requisitos)

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
Equiparar los datos específicos correspondientes a los ensayos de impacto sometido en los vidrios de seguridad de usos automotriz laminado y templado	Parámetros de información	Fragmentos	cantidad	Experimental	Protocolo de prueba
				Prueba de laboratorio	
				Medición	
Equiparar los datos específicos correspondientes a los ensayos de impacto sometido en los vidrios de seguridad de usos automotriz laminado y templado	Parámetros de información	Peso	g	Experimental	Protocolo de prueba
				Prueba de laboratorio	
				Medición	
Equiparar los datos específicos correspondientes a los ensayos de impacto sometido en los vidrios de seguridad de usos automotriz laminado y templado	Parámetros de información	Longitud	mm	Experimental	Protocolo de prueba
				Prueba de laboratorio	
				Medición	
Equiparar los datos específicos correspondientes a los ensayos de impacto sometido en los vidrios de seguridad de usos automotriz laminado y templado	Parámetros de información	Tiempo	s	Experimental	Protocolo de prueba
				Prueba de laboratorio	
				Medición	

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
				Medición	
				Experimental	
		Área	mm^2	Prueba de laboratorio	Protocolo de prueba
				Medición	
				Experimental	
		Espesor	mm	Prueba de laboratorio	Protocolo de prueba
				Medición	

Nota. Esta tabla expresa aquellas variables dependientes que tendrán influencia en la determinación de resultados a los ensayos de impacto en vidrios de seguridad de uso automotriz.

1.9. Metodología de desarrollo del proyecto

1.9.1. Método documental-bibliográfico

Con el uso de fuentes bibliográficas se obtendrá información pertinente a la identificación y homologación de vidrios de seguridad de uso automotriz para posteriormente realizar un análisis de los mismos que son fabricados y comercializados en el país.

1.9.2. Método experimental

Este método experimental permite interpretar la información adquirida mediante la simulación en el software CAD/CAE para realizar ensayos de fragmentación y resistencia mecánica correspondientes a normativas de identificación y homologación.

1.9.3. Metodología de investigación

- Diagnóstico: Investigación y análisis de los distintos tipos de vidrios de seguridad de uso automotriz procesos y materiales existentes.
- Planificación de la acción: Determinación de pruebas y ensayos, procesos necesarios para implementar la propuesta metodológica en la identificación y homologación de vidrios automotrices a pruebas de impacto.
- Tomar la acción: Se realiza el análisis computacional estático del vidrio de seguridad de uso automotriz seleccionando el más óptimo, para su identificación y homologación.
- Evaluación: Realizando las pruebas y ensayos mediante el uso de laboratorios certificados de construcción de vidrios, se debe evaluar los requisitos que deben cumplir los vidrios de seguridad.
- Especificación del aprendizaje: Se establecerán las conclusiones de acuerdo a los resultados obtenidos del proyecto.

1.9.4. Método analítico

En esta investigación se analizará los diferentes requisitos, procesos de identificación y homologación de vidrios de seguridad para automotores terrestres, para que cumpla con las metas del proyecto.

1.9.5. Método deductivo

En el proyecto de investigación se propone una hipótesis, que acorde el cumplimiento del cronograma se podrá comprobar su veracidad mediante pruebas y ensayos de impacto.

Tabla 3

Metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevará a cabo el proyecto

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Documental Bibliográfico	Con el uso de fuentes bibliográficas se obtendrá información pertinente a la identificación y homologación de vidrios de seguridad de uso automotriz para posteriormente realizar un análisis de los mismos que son fabricados y comercializados en el país.	<ul style="list-style-type: none"> ● Libros ● Artículos científicos ● Tesis 	Laboratorios ESPE
Método deductivo	En el proyecto de investigación se propone una hipótesis, que acorde el cumplimiento del cronograma se podrá comprobar su veracidad	<ul style="list-style-type: none"> ● Computador personal. ● Probeta templada ● Probeta laminada 	

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
	mediante pruebas y ensayos de impacto.	<ul style="list-style-type: none"> ● Dinamómetro 	
Metodología Investigación en Acción:	<p>Diagnóstico: Investigación y análisis de los distintos tipos de vidrios de seguridad de uso automotriz procesos y materiales existentes.</p> <p>Planificación de la acción: Determinación de pruebas y ensayos, procesos necesarios para implementar la propuesta metodológica en la identificación y homologación de vidrios automotrices a pruebas de impacto.</p> <p>Tomar la acción: Se realiza el análisis computacional estático del vidrio de seguridad de uso automotriz seleccionando el más óptimo, para su identificación y homologación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Computador personal ● Fuentes bibliográficas ● Software CAD/CAE 	

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
	<p>Evaluación: Realizando las pruebas y ensayos mediante el uso de laboratorios certificados de construcción de vidrios, se debe evaluar los requisitos que deben cumplir los vidrios de seguridad.</p> <p>Especificación del aprendizaje: Se establecerán las conclusiones de acuerdo a los resultados obtenidos del proyecto.</p>		
<p>Método Analítico</p>	<p>Se realizará la comprobación del vidrio de seguridad de uso automotriz en su dimensión y condiciones que posibilitan el ensayo realizado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Probetas de ensayo: Laminado y Templado ● Instrumentos de medición ● Laboratorios ACERGLASS 	
	<p>Se efectuará el primer ensayo de impacto, correspondiente al</p>		

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
	<p>ensayo de fragmentación, requiriendo de cuatro probetas de vidrio templado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Instrumentos de golpe 	
	<p>Se realizará el segundo ensayo, impacto con esfera de acero, requiriendo seis probetas de vidrio laminado para recopilar información de variables y conceptos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Esfera de acero ● Soporte para el ensayo del maniquí ● Maniquí 	
	<p>Se ejecutará el tercer y último ensayo correspondiente a la determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza (ensayo del maniquí), requiriendo de cuatro probetas laminadas.</p>		

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Método experimental I	Este método experimental permite interpretar la información adquirida mediante la simulación en el software CAD/CAE para realizar ensayos de fragmentación y resistencia mecánica correspondientes a normativas de identificación y homologación.	<ul style="list-style-type: none"> ● Computador personal ● Software CAD/CAE 	

Nota. Esta tabla expresa las metodologías de investigación que se utiliza en la presente para la recopilación de información, necesaria para la develación del tema.

CAPÍTULO II

2. Marco teórico

2.1. El vidrio

El vidrio es un material que se caracteriza por ser duro, frágil y transparente, como se muestra en la figura 2, que ordinariamente atraviesa y se obtiene por fusión a unos 1.500 °C de arena de sílice (SiO_2), carbonato sódico (Na_2CO_3) y caliza (CaCO_3). La palabra "cristal" es utilizado con frecuencia como sinónimo de vidrio, lo que resulta ser erróneo a causa de que el vidrio es un sólido amorfo y no un cristal. (Química, 2021)

Figura 2

El Vidrio



Nota. La figura 2 muestra al vidrio transparente en zona de una zona de construcción loca como aplicación. Tomado de (Xunta, 2003)

2.2. Fundamentos del vidrio

Los seres humanos han sido acompañados por miles de años por este material, el nacimiento de los primeros envases de vidrio erróneamente se remonta sino más bien hasta la época de la Prehistoria. El vidrio fabricado y su origen hace que nos ubiquemos en cierta época y debemos irnos 3.000 años antes de Cristo, como se muestra en la figura 3, puesto que su antigüedad de material es una característica importante, acompañado de la mano la cerámica, nuestros antepasados utilizaban dichos materiales para el almacenamiento y conservación de productos. (Ecovidrio, 2021)

Figura 3

Vidrio en la antigüedad



Nota. La figura 3 muestra recipientes de vidrio fabricado en la antigüedad. Tomado de (Ecovidrio, 2021)

Existe una obra de historia natural narrada por Plinio, en su tiempo apodado con el sobrenombre de El Viejo, que expresa el descubrimiento del vidrio localizado en Siria.

Descubrimiento realizado por mercaderes que fabricaban materiales de sosa. Durante sus travesías por el desierto surgía la necesidad de preparar sus alimentos por lo cual utilizaban rocas para apoyar sus ollas, así que utilizaban el material de sosa como apoyo. Al día siguiente

observaron que el material de sosa se encontraba fundido y producto de la unión con el suelo arenoso lograban detallar un material brillante asemejado a una piedra. Es aquí en donde se cimenta el vidrio.

Durante las épocas egipcias sus habitantes eran conocidos como los padres de la fabricación del vidrio, posterior a la época egipcia con la llegada del pueblo romano los habitantes tuvieron que cambiar sus tierras por nuevas. Roma fue tierra nueva en donde es tomada la fabricación del vidrio como arte. Debido al reconocimiento artístico de la fabricación del vidrio surge la apertura de fábricas manufactureras en las ciudades circundantes.

Uno de los hechos que marcaron la historia de la humanidad y el vidrio fue la época en donde existió la revolución industrial. Debido a este impulso el vidrio se extiende en gran velocidad y a distancias lejanas de civilización. La mecanización del vidrio facilitó el incremento de producción, como se muestra en la figura 4.

Figura 4

Revolución industrial del vidrio



Nota. La figura 4 representa la revolución industrial del vidrio y su facturación en forma de producción extendiéndose a las zonas circundantes de la población. Tomado de (Heiler, 2016)

Surge la astucia del manufacturado del vidrio y se crea el flotado del mismo sobre estaño, lo cual permite disminuir su costo de fabricación e incrementar aún más su producción. Producción que era enviada directamente a construcciones durante la finalización del siglo XX. Así mismo se emplea la producción para las redes de telecomunicación como es el caso del uso de fibra óptica y como material para uso en laboratorio por ser de características favorables. (Química, 2021)

2.3. Fundamentos del vidrio de seguridad de uso automotriz

El vidrio de un automóvil contiene procedimientos de fabricación y características especiales por lo cual difieren a aquellos que podemos observar en el hogar y en otros lugares de diferente aplicación. La diferencia radica en la utilización y combinación de diferentes materiales para su obtención. Se utilizan dos procedimientos templados y laminados, las cuales se clasifican según la ocupación y finalidad que tiene en el automóvil. (Mauricio, 2017)

Figura 5

Vidrio de seguridad de uso automotriz



Nota. La figura 5 expresa la aplicación del vidrio de seguridad (Parabrisas) en el automotor.

Tomado de (CESVI, 2018)

Durante la conducción de los primeros vehículos de transporte se utilizaba gafas de protección, las cuales evitaban el contacto directo de piedras, polvo y viento que aparecían en las diferentes rutas de viaje, con el conductor. Como se muestra en la figura 6.

Figura 6

Gafas de protección



Nota. La figura 6 demuestra las gafas de protección que se utilizaban antes de la fabricación del vidrio en el automotor. Tomado de (ABC Motor, 2017)

Durante la iniciación del siglo XX se fabrica el cristal que servirá como protección frontal al conducir un vehículo de transporte. El cristal toma la denominación como parabrisas, el cual se encontraba construido por dos hojas de cristal ubicadas de forma horizontal y a más de su protección la mitad superior se la podía desplazar de forma plegable hacia afuera de su ubicación.

Velozmente el parabrisas tuvo inconvenientes con su uso y protección, pues durante un accidente se rompía en incontables pedazos, mismos que causaban lesiones en los ocupantes del vehículo de transporte. Dicha problemática causó gran fama, así como demandas.

Henry Ford, pionero del vehículo de transporte, toma la problemática y decide fabricar parabrisas más seguros ya que su vehículo Modelo T, figura 7, perdía renombre.

Figura 7*Parabrisas de Henry Ford*

Nota. La figura 7 muestra al primer parabrisas instalado en el modelo T fabricado por Henry Ford. Tomado de (ABC Motor, 2017)

Debido a la problemática se encomienda al mecánico de la empresa Ford, una nueva búsqueda cuyo fin es el aumento de la resistencia y la disminución de costo para la fabricación del vidrio. Con la ayuda de compañeros logran alcanzar la meta y se descubre una nueva forma de vidrio mucho más resistente y barata.

Edouard Benedictus, figura 8, descubre la nueva forma del vidrio que no se rompe. Durante la caída infortunada de un vaso de vidrio contra el suelo, observa que el mismo no se rompió en incontables pedazos, estudiando su causa detalla que el vaso contenía nitrato de celulosa y su estado en seco quedó adherido al cristal por lo cual mantuvo unido a los fragmentos cuando golpeó contra el suelo. (El Diario, 2017)

Figura 8

Edouard Benedictus



Nota. La figura 8 muestra la fotografía de la primera persona que descubrió al vidrio que no se rompe, es decir al vidrio laminado. Tomado de (Luz de vidrio cerámica art deco, 2021)

El parabrisas laminado mostró auge en la década de los treinta cuando su innovación se convierte en el parabrisas más importante en la historia del automóvil a causa de diferentes motivos. El cristal al momento de sufrir un accidente, lo cual provocaba que este se rompa en varios pedazos, ya no lo hacía dejando con gran asombro a sus ocupantes. Durante una colisión infortunada impedía que los ocupantes del vehículo fueran a parar en el exterior del vehículo. Además, la rigidez del cristal aumentaba y reforzaba la estructura del automóvil protegiendo a los ocupantes durante un aplastamiento.

Existieron diferentes marcas que incluyeron el parabrisas en toda su serie de producción durante el transcurso del año 1920, pero a diferencia de Ford, lo llevaba haciendo 10 años atrás en su modelo T (figura 9), cuya producción no se dio a conocer por el incremento de costo de venta del mismo. Costos que además de verse incrementados se veían reflejados: velocímetros, faros incorporados al vehículo y más.

Figura 9

Ford modelo T



Nota. La figura 9 muestra al primer automotor Modelo T que utiliza vidrio laminado en el parabrisas. Tomado de (Motormanía, 2003)

La marca Chrysler presenta en 1934 el automóvil Imperial Airflow CW (figura 10), fue el primer automóvil que presenta un parabrisas curvo en su producción. Su venta era realizada por encima de los cinco mil dólares americanos, en su tiempo era catalogado un auto de lujo, ya que además de incluir dicha innovación contaba con asientos plegables delanteros y traseros, luces interiores para lectura y encendedores de cigarrillos.

Figura 10

Chrysler Imperial Airflow CW



Nota. La figura 10 muestra al primer automóvil instalado con parabrisas laminado curvo.

Tomado de (Driehaus, 2021)

A inicios de 1941 surge una nueva forma de parabrisas cuya resistencia era mucho más grande y lo denominaron parabrisas templado. Su aceptación fue nula, debido a que se rompía en muchísimos fragmentos, pero llegándose a estabilizar para la utilización en ventanillas laterales de vehículo.

Después de veinte años se fueron descubriendo los materiales sintéticos, estos materiales encajaban perfectamente en la producción de un parabrisas, dando a lugar a los parabrisas estructurados para aislar tanto térmicamente como el sonido del exterior del vehículo.

Estrictamente se utilizan los parabrisas con vidrio laminado y en la parte frontal del vehículo, el vidrio laminado se aplica en ventanillas, mismas que se ocupan en las zonas laterales y posteriores del vehículo. (Fierros clásicos, 2012)

2.4. Vidrio de seguridad de uso automotriz

El vidrio de seguridad de uso automotriz está conformado por características especiales los cuales hace que sea diferente a los que se puede encontrar en diferentes localidades como el hogar o centros comerciales y más. El vidrio de seguridad de uso automotriz es aquel que durante el procesamiento y combinación con otros materiales brinda alta protección a los ocupantes, y los libra de aquellas probabilidades de sufrir heridas o cortaduras. Se utilizan dos técnicas de procesamientos que son: templado y laminado, y cada técnica se utiliza objetivamente para la funcionalidad del vidrio de seguridad de uso automotriz. (Mauricio, 2017)

2.5. Función del vidrio de seguridad de uso automotriz

El vidrio de seguridad de uso automotriz cumple únicamente la función de proteger y aislar la cabina o el habitáculo del automóvil, simultáneamente cumple con la funcionalidad de

proporcionar visibilidad para la conducción. A lo largo de la evolución tecnológica y el desarrollo de vehículos de vanguardia se requiere vidrios que se adapten a nuevas exigencias en materia de seguridad y confort, y más. Por lo que llega a cumplir una determinante funcionalidad en la seguridad del vehículo. (Carrera, 2007)

2.6. Componentes del vidrio de seguridad de uso automotriz

El vidrio de seguridad de uso automotriz tiene componentes cuya vitalidad es lograr que el material sea resistente a la fragilidad y robustez frente a condiciones que logren dejar inservible el material. Estos componentes conforman el ciento por ciento en el vidrio de seguridad de uso automotriz, son los siguientes:

- Arena de sílice (SiO_2) actúa como vitrificante, tiene de 70% a 72%.
- Carbonato sódico (Na_2CO_3) actúa como fundente, tiene aproximadamente 14%
- Roca caliza (CaCO_3) actúa como anticorrosión al agua, tiene aproximadamente 7%.
- Óxido de Cal (CaO) actúa como estabilizador, tiene aproximadamente 6%

(Llantoy, 2014)

2.7. Elaboración del vidrio de seguridad de uso automotriz

El vidrio de seguridad de uso automotriz se somete a importantes procesos de producción los cuales hacen que cumpla con su sistema de seguridad y asilamiento.

Los componentes del vidrio de seguridad de uso automotriz se reúnen en una maquinaria especializada que tiene una capacidad de mezclar grandes cantidades de polvo, de aquí proviene la gran producción de parabrisas. Una vez que los componentes se encuentren en su óptima mezcla, el nuevo material atraviesa hornos de altas temperaturas y mayores a los 600 C.

Durante la fundición del vidrio y sus demás componentes, cuando se encuentra en el estado visual de color rojo asemejándose a lava, se inserta en la fundición el material estaño. De la misma manera el estaño de encontrarse en estado fundente, y no significa que al estar en el mismo estado van fusionarse, más bien, el vidrio flotará por encima del estaño logrando la nueva forma de vidrio laminado.

El parabrisas es la aplicación directa de un vidrio laminado, a diferencia de un vidrio templado el cual se utiliza en ventanas y lunas traseras. (CARGLASS, 2018)

2.8. Tipos de vidrios de seguridad de uso automotriz

Existen dos tipos de vidrios de seguridad fabricados para la industria automotriz, y son:

- Vidrio laminado
- Vidrio templado

Por regulación gubernamental el parabrisas se encuentra estrictamente catalogado como producto laminado e inastillable, debido a que durante un accidente donde el o los ocupantes impacten contra el parabrisas únicamente amortigüe el mismo sin llegar a causar heridas que puedan ser generadas por astillas. (Gómez, 2002)

2.9. Vidrio de seguridad laminado

El vidrio de seguridad laminado es la unión que se forma a partir de dos láminas de vidrio que se encuentran adheridas con una capa de plástico, lámina de plástico conocida como PVB, siglas que se interpretan al lenguaje inglés como poly-vinyl buytiral. Mediante la utilización de hornos a altas temperaturas se logra la fundición de los componentes logrando elasticidad y una gran resistencia a la ruptura. Este tipo de vidrio se emplea en los parabrisas del automóvil, en algunos casos en las ventanas laterales, mediante pruebas exhaustivas se establecen aquellos

vidrios laminados óptimos para resistir condiciones de accidentes, productos de un impacto.

Figura 11. Además de cumplir con su funcionalidad aportan con un gran soporte estructural al techo del automóvil y protege al habitáculo del exterior. (García, 2021)

Figura 11

Ruptura del vidrio de seguridad laminado



Nota. La figura 11 expresa la ruptura de un vidrio de seguridad laminado debido al impacto de un objeto. Tomado de (Global System, 2021)

En función de la fabricación del vidrio laminado, sus hojas de vidrios e intercalares, garantiza una gran resistencia mecánica, lo cual permite brindar diferentes tipos de protección y diversos grados de aislamiento acústico. (GLASSTECH, 2009)

2.9.1. Funciones del vidrio de seguridad laminado

- **Control solar**

El PVB (butiral de polivinilo) filtra el 99% de los rayos ultravioleta, generando un retardo de decoloración y manteniendo al inmobiliario interior en buenas condiciones de uso.

- **Aislamiento acústico**

El PVB es capaz de aislar el ruido interior del exterior, disminuyendo la acústica que recibe fuera de su aplicación.

- **Seguridad**

Se asemeja a una barrera transparente que protege ante impactos humanos, armas manuales, armas de fuego, vientos fuertes, desastres naturales y más según su composición.

2.9.2. Fabricación del vidrio de seguridad laminado

El vidrio de seguridad laminado se logra a través de procedimientos de fabricación, entre ellos se encuentra dos y son los siguientes:

- Procedimiento de laminado por laminación
- Procedimiento de laminado por fundición

a. Procedimiento de laminado por laminación

Procedimiento que se basa en la inserción de una película sólida intermedia entre las hojas de vidrio o plásticas, posterior al procedimiento de inserción se somete dicha combinación a un proceso de calentamiento y a presiones que logran la obtención del producto.

A continuación, se menciona su fabricación. Posterior al lavado del producto el ensamblaje de las hojas de vidrio y la película sólida intermedia es generado, véase figura 12.

Figura 12

Lavadora de vidrio laminado



Nota. La figura 12 muestra al proceso de lavado durante la producción de vidrio laminado.

Tomado de (VIDRESIF)

- La hoja de butiral de polivinilo se coloca sobre el vidrio, a continuación, se coloca la segunda hoja de vidrio, procedimiento que se realiza mediante la sujeción de una ventosa se coloca sobre el PVB.
- El conjunto se conduce al interior de hornos de precalentamientos, como se muestra en la figura 13.
- Esta operación elimina la existencia de aire entre el vidrio y el butiral de polivinil.
- Las unidades se calientan hasta una temperatura aproximada de 70°C.
- La eliminación del aire se produce por medio de la destrucción parcial de la superficie del film. Los cantos son enseguida cerrados a fin de impedir la posible entrada de aire durante la operación final de la autoclave.
- El vidrio es conducido a un autoclave, en el interior del cual la presión es de 12 a 14 kg/cm² con una temperatura entre 135°C y 150°C.

Figura 13

Horno de precalentamiento



Nota. La figura 13 expresa el momento en que el vidrio en producción ingresa al horno de precalentamiento para ser sometido a altas temperaturas. Tomado de (VIDRESIF)

El procedimiento trata de conseguir una flexibilidad suficiente del PVB para crear una adhesión completa entre los vidrios. El espesor que se otorga al vidrio laminado se encuentra en función al tiempo que tiene un ciclo de producción, debido a que el acristalamiento que cuente con mayor espesor necesitará mayor tiempo de ciclo de producción para que el interior del acristalamiento se vea afectada por la temperatura y su producción se completa. La producción de estos tipos de acristalamientos supera las 10 horas de operación. (VIDRESIF)

b. Procedimiento de laminación por fundición

Procedimiento que se obtiene mediante la vertiente de un líquido entre las hojas de vidrio, que posteriormente es químicamente procesado para obtener una curación y la producción de la laminación.

El líquido vertido entre las dos hojas de vidrio es resina polimérica que por medio de radiación UV se polimerizan. Para la obtención de aislamiento acústico se necesita resinas

específicas, que hacen al aislamiento acústico de mayor grado diferenciando aquellos acristalamientos que necesitan mayor espesor y peso para lograrlo.

El procedimiento de obtención del vidrio laminado con resina comprende los siguientes pasos:

- Proceso de lavado ante grasas y partículas de suciedad que se encuentren adheridas al vidrio, posteriormente es muy importante que los vidrios a laminar estén completamente secos.
- Colocación de cinta adhesiva de doble cara compatible con la resina aplicar, dicha cinta adhesiva es equivalente al espesor de resina y comprende entre 1 a 2 mm.
- Disposición y prensado de la segunda plancha de vidrio.
- Se establece una abertura mediante la selección de una esquina, la cual servirá para el llenado de resina, así como para el vaciado de aire.
- Llenado de resina líquida
- El volumen dosificado tendrá acuerdo con la aplicación del vidrio laminado
- Eliminación del aire contenido entre las hojas de vidrio
- Mediante el desplazamiento del vidrio se consigue la eliminación de aire y que la resina recubra la superficie volumétrica establecida. Momento en el que se sella la abertura que se encuentra en la esquina seleccionada
- Se inserta al vidrio de producción en una cámara cerrada con lámparas de rayos UV, la cual permitirá el endurecimiento de la resina. Figura 14
- Tiempo de endurecimiento de resina. Tiempo que es independiente del tipo de espesor y dependiente del color y capas en producción. Mayores a 15 minutos

Figura 14

Cámara cerrada con lámparas de rayos UV



Nota. La figura 14 demuestra la cámara en forma abierta que permitirá el ingreso de rayos UV para el proceso de endurecimiento de resino en el vidrio laminada. Tomado de (VIDRESIF)

2.10. Vidrio de seguridad templado

Para aumentar la resistencia del vidrio normal se necesita de tratamientos térmicos o químicos. Dicha resistencia se obtiene colocando las superficies exteriores a compresión y las internas a tensión lo que hace que cuando el vidrio se rompa, se fraccione en incontables pedazos a diferencias de astillarse. Figura 15.

Figura 15

Fraccionamiento de un vidrio templado



Nota. La figura 15 expresa el fraccionamiento de un vidrio que sido atravesado por un proceso de templado, logrando su fraccionamiento en pequeños fragmentos. Tomado de (CHIVAGUATE, 2019)

2.10.1. Fabricación del vidrio de seguridad templado

Básicamente hay dos métodos para templar un vidrio: química y térmicamente, aunque el de uso más habitual es el segundo. (VIDRESIF, 2021)

2.10.2. Métodos de templado del vidrio de seguridad

a. Método de templado químico

El templado químico consiste en sumergir el vidrio en una solución salina, a altas temperaturas y a altas concentraciones de iones de potasio. Los iones de potasio reaccionan con los iones de sodio que se encuentran en el vidrio para dar una nueva forma; debido a su gran volumen provoca que el estado del vidrio sufra una compresión interna sobre sus capas.

Existe una baja profundidad de efecto en el vidrio procesado, por tanto, es aplicable en vidrios delgados y sólo así se consigue un templado homogéneo. La capacidad resistente de multiplica veinte veces en relación a otros procesos de templado.

Se posibilita su corte y su manufactura después de su producción, esto es gracias a que el corte no genera tensión para su fractura. La nueva forma de vidrio soporta grandes esfuerzos para su rotura, pero por el corte generado después de su producción existe un ancho de 20 mm que se debilitará y perderá el templado. Por estas razones el vidrio químico no se emplea en lugares de construcción, y únicamente se los recomiendo en el uso de laboratorios debido a su gran capacidad mecánica. (VIDRESIF, 2021)

b. Método de templado térmico

El principio que se utiliza para la obtención del vidrio templado térmicamente es ingresando la base vítrea, una vez cortada, en hornos industriales hasta alcanzar temperaturas mayores a los 700 C. De manera inmediata se enfría bruscamente utilizando aire soplado, logrando que las superficies se contraigan y siendo llevadas a la compresión, mientras que se enfría lentamente el corazón degrada su temperatura.

El procedimiento de templado consigue comprimir de forma permanente ambos lados del vidrio, simultáneamente su interior se tracciona, lo cual pretensa al vidrio aumentando la resistencia mecánica. Las tensiones por compresión de las dos hojas de vidrio se compensan con las tensiones de tracción que se encuentran en el interior lo cual hace prevalecer la tracción interior y dar una nueva forma de pretensado haciendo que el vidrio sea más resistente.

La tensión máxima de rotura cuadriplica la del vidrio sin temprar llegando a resistir 20.000 N/cm²; pero el propio proceso de temple no permite un control absoluto de la uniformidad de la temperatura, por lo que la tensión de cálculo ronda los 5.000 N/cm².
(VIDRESIF, 2021)

2.10.3. Funciones del vidrio de seguridad templado

- **Aislamiento térmico**

Aísla el habitáculo de agentes ambientales como rayos ultravioletas, lluvia, el polvo, etc.

- **Brinda mayor resistencia y seguridad**

Dedicadas para el conductor y los pasajeros en caso de que se rompa alguna ventanilla o que ocurra un accidente.

- **Incrementa la rigidez de la estructura del vehículo**

Mejora las condiciones de seguridad activa, pasiva y la integridad de la carrocería del vehículo.

- **Aislamiento acústico**

Mejora las condiciones de confort para la conducción y el transporte. (AUTO CRASH, 2016)

2.10.4. Fabricación del vidrio de seguridad templado

Se obtiene al someter vidrio recocido a un proceso térmico de templado, el cual, consta de su calentamiento hasta su plastificación y finalmente de su brusco enfriamiento mediante el uso de aire, confiriéndole gran resistencia mecánica y térmica sin alterar sus propiedades de luminosidad o energéticas. (UPCommons, 2008)

a. Procedimiento de fabricación del vidrio de seguridad templado

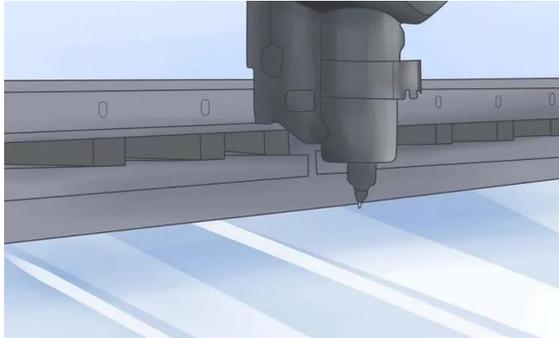
El proceso consiste en darle mayor resistencia al vidrio a través de calentamiento y enfriamiento brusco de 600 °C a 300 °C en pocos segundos, y se consideran las siguientes operaciones:

Corte

Procedimiento inicial de gran importancia, figura 16, debido a que el vidrio se debilita ante el corte durante su templado y logrando posibilitar su rompimiento.

Figura 16

Corte del vidrio de seguridad



Nota. La figura 16 expresa el proceso de corte del vidrio de seguridad. Tomado de (SEGTEC VIDRIO)

Pulido de cantos

Proceso que elimina la existencia de imperfecciones ocasionadas después del proceso de corte, véase la figura 17; Durante el proceso de templado cualquier burbuja o rajadura lograría el rompimiento de la hoja de vidrio.

Figura 17

Lijar los bordes



Nota. La figura 17 demuestra el procedimiento de lijado de bordes del vidrio de seguridad.

Tomado de (SEGTEC VIDRIO)

Lavado

Consiste en lavar perfectamente el vidrio para la eliminación de cualquier grano, figura 18, por diminuto que éste se, además se elimina cualquier suciedad que interfiera en el proceso de templado.

Figura 18

Limpieza de cristal



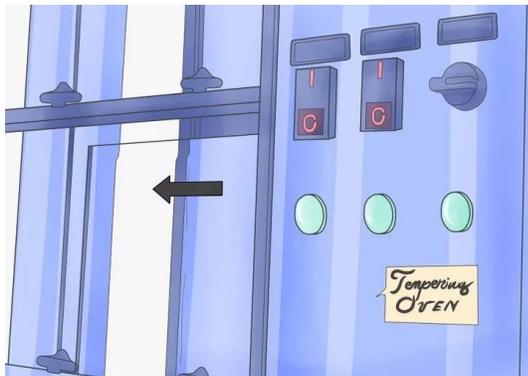
Nota. La figura 18 muestra el proceso de limpieza del cristal en producción. Tomado de (SEGTEC VIDRIO)

Pre calentamiento - Calentamiento - Curvado

El vidrio de seguridad es ingresado al interior del horno de altas temperaturas superando más de 620 grados Celsius (1 122 grados Fahrenheit). Procedimiento permisible para intervalos de operación o completos. Figura 19. (SEGTEC VIDRIO)

Figura 19

Calentamiento del vidrio



Nota. La figura 19 expresa el ingreso del vidrio de seguridad al horno de alta temperatura.

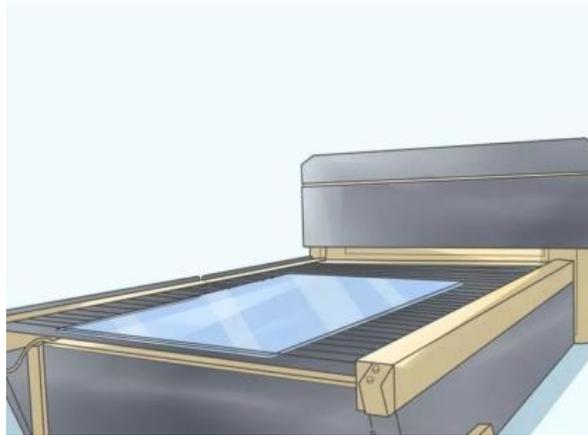
Tomado de (SEGTEC VIDRIO)

Enfriar – Templado

El vidrio caliente obtenido a la salida de los hornos de altas temperaturas es sometido a chorros de aire ejercidos por presión durante cierto intervalo de tiempo medido en segundos y dichos chorros de aire son repartidos a diferentes ángulos de inclinación. El rápido y brusco enfriamiento hace que el vidrio de seguridad y sus superficies se contraigan desde su parte externa hacia su interior, originando el temple de la hoja de vidrio. Figura 20. (SEGTEC VIDRIO)

Figura 20

Enfriamiento del vidrio de seguridad



Nota: La figura 20 demuestra al vidrio de seguridad y su disposición para el proceso de enfriamiento sobre su superficie. Tomado de (SEGTEC VIDRIO)

2.10.5. Tipos de hornos de templado

Existen dos tipos de hornos en los que se puede clasificar el horno que realiza el proceso de templado térmico del vidrio, y son:

- Horno vertical
- Horno horizontal

a. Horno vertical de templado

Tipo de horno que realiza el procedimiento de templado, insertando por medio de suspensión, la lámina de vidrio desde la parte superior y trasladarla mediante el uso de tenazas metálicas hacia el interior inferior del horno, lugar donde se encuentra la cámara de calentamiento. Figura 21. Sin perjudicar la lámina de vidrio. (VIDRESIF, 2021)

La cámara de calentamiento se encuentra a altas temperaturas de trabajo, estas oscilan entre 650 – 700 C y es donde se genera la zona de templado y el proceso de enfriamiento.

- Incorrecto templado de hojas laminares delgadas
- No existe la garantía de obtener un templado homogéneo
- Se mantiene la marca intacta y visible provocada por la sujeción de las tenazas

Figura 21

Horno térmico de templado vertical



Nota. La figura 21 manifiesta la disposición del horno de templado vertical. (ELETRRO MECCANICA INDUSTRIALE)

b. Horno horizontal de templado

Técnica que se encuentra basada en un sistema de rodillos de sílice dispuestos en paralelo, dicho sistema transporta las láminas de vidrio hacia el interior y exterior de la cámara de calentamiento del horno a una velocidad de 20 mm/segundo, la velocidad a la que es transportada la lámina de vidrio depende de la longitud del horno y el espesor del vidrio.

(VIDRESIF, 2021)

En la actualidad los hornos realizan el templado térmico utilizando un cojín gaseoso, el cual calienta los volúmenes del vidrio laminar por ambos lados mientras es transportado por el interior de la cámara de calentamiento. Método que genera evitar dilataciones remanentes de volumen del vidrio laminar, además de incluir el templado térmico de hojas que tienen tres milímetros de espesor. Además, presenta ciertas desventajas durante su proceso térmico de templado, y son:

- Antiestética presencia de propiedad de irisación
- Curvaturas u ondulaciones
- Fácil deformación
- Alta contracción de rigidez en una sola cara

Figura 22

Horno térmico de templado horizontal



Nota. La figura 22 demuestra la disposición del horno térmico de templado horizontal. Tomado de (Glasstek)

2.11. Requisitos específicos que deben cumplir los vidrios de seguridad de uso automotriz

2.11.1. Requisitos para vidrios de seguridad

La NTE INEN 1669 menciona que “Los vidrios de seguridad para automotores deben cumplir los requisitos indicados en la siguiente tabla:” (NTE INEN 1669, 2011)

Tabla 4

Requisitos para vidrios de seguridad

REQUISITOS	LAMINADO	TEMPLADO	MÉTODO DE ENSAYO
Fragmentación		X	NTE INEN 1722*
Impacto con esfera de acero	X	X	NTE INEN 1723*
Impacto de la cabeza ensayo de maniquí	X		NTE INEN 1724*
Impacto con dardo	X		NTE INEN 1725*
Resistencia alta temperatura	X		NTE INEN 1726*
Transmisión luminosa	X	X	NTE INEN 1727**
Estabilidad luminosa	X	X	NTE INEN 1728**
Distorsión óptica	X	X	NTE INEN 1729**
Defectos Visuales	X	X	Numeral 5.12.1**
Dimensionales	X	X	Numeral 5.12.2**

* Ensayo destructivo ED ** Ensayo no destructivo END

Nota. Esta tabla demuestra aquellos requisitos que debe atravesar un vidrio de seguridad de uso automotriz para su aprobación e instalación en el automotor. Tomado de (NTE INEN 1669, 2011)

2.11.2. Requisitos dimensionales: espesor

Los espesores medidos a lo largo del borde del vidrio de seguridad, mediante micrómetro con mínimas y máximas tolerancias deben cumplir con lo especificado en la tabla 5.

Tabla 5

Espesor de vidrio de seguridad

ESPESOR (mm)	LÍMITE (mm)	
	Mínimo	Máximo
3	2,5	3,6
4	3,7	4,5
5	4,6	5,3
6	5,4	6,5
7	6,6	7,5
8	7,6	8,3

Nota. Esta tabla expresa los límites o tolerancias permisibles de acuerdo al espesor de un vidrio de seguridad automotriz. Tomado de (NTE INEN 1669, 2011)

2.12. Métodos de ensayo y pruebas a impacto

2.12.1. Ensayo de la determinación de la fragmentación

a. Fundamento del ensayo de la determinación de la fragmentación

Este método consiste en romper las muestras a ensayar con un dispositivo en el punto prescrito para el impacto y proceder al conteo de partículas o pesaje de la más grande. (NTE INEN 1722, 2015)

b. Requisitos del ensayo de fragmentación

La normativa técnica ecuatoriana considera que el ensayo brinda resultados positivos si satisface todas las condiciones dadas a continuación:

- El número de fragmentos que se encuentra en un cuadrado de 50 mm x 50 mm de área trazada sobre la superficie de vidrio que presente fragmentos de mayor tamaño, oscilen entre 40 y 400, o el peso del mayor fragmento se encuentre en un máximo de 4,25 g.
- Se realiza el conteo como mitad a aquellos fragmentos interceptados por los bordes del cuadrado
- No se considera los fragmentos encontrados a 20 mm del borde de la muestra, así como también en un radio de 75 mm alrededor del punto de impacto.
- No se admite aquellos fragmentos de forma alargada con tamaño superior a los 75 mm.

Se considera satisfactorio al grupo de muestras sometidas a ensayo si cumple una de las condiciones dadas a continuación:

- Todos los ensayos realizados otorgan un resultado positivo, usando los puntos de impacto prescritos en la normativa.

2.12.2. Ensayo de la determinación de la resistencia a la prueba de impacto NTE INEN 1723

a. Fundamento de la prueba de impacto con esfera de acero

Consiste en dejar caer desde una altura determinada, sin brindar ningún impulso, una esfera sólida de acero de masa definida para los diferentes tipos de vidrios, dentro de un círculo de 25 mm de radio medidos desde el centro de la probeta. (NTE INEN 1723, 2011)

b. Requisitos de la prueba de impacto con esfera de acero

VIDRIO TEMPLADO

- Se considera que el ensayo otorga resultados positivos si la probeta de ensayo no se rompe.
- Se considera que un grupo de cuatro probetas sometidas a ensayo, es satisfactorio, si cumple cualquiera de las siguientes condiciones:
- No más de una probeta de ensayo da un resultado negativo
- Dos ensayos que han dado un resultado negativo, pero una serie posterior de ensayos llevados a cabo sobre un nuevo grupo de cuatro probetas no da ningún resultado negativo (NTE INEN 1723, 2011)

VIDRIO LAMINADO

- Se considera que el ensayo de impacto de la esfera brinda un resultado positivo si la esfera de acero no pasa a través del vidrio después de 5 s de ser impactada
- Se considera que un grupo de cuatro probetas sometidas para ensayo es satisfactorio, si se cumplen cualquiera de las siguientes condiciones:
- Un ensayo ha dado un resultado negativo, pero una serie posterior de ensayos llevados a cabo sobre un nuevo grupo de cuatro probetas no dan ningún resultado negativo.

(NTE INEN 1723, 2011)

2.12.3. Determinación de la resistencia al impacto NTE INEN 1724

a. Fundamento de la determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza

Consiste en dejar caer de cabeza un maniquí de características prescritas en la normativa, desde una altura determinada, sin que se dé ningún impulso, dentro de un círculo de 25 mm de radio medidos desde el centro de la probeta de ensayo. (NTE INEN 1724, 2011)

b. Requisitos de la determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza (ensayo maniquí)

Los vidrios de seguridad laminados, ensayados de acuerdo con la NTE INEN 1724, deben cumplir con lo siguiente:

Se considera que el ensayo del maniquí otorga resultados positivos si se cumplen las siguientes condiciones:

- Si la muestra se fractura mostrando numerosas rajaduras circulares centradas aproximadamente sobre el punto de impacto, las rajaduras más cercanas deben estar máximo a 80 mm del punto de impacto. (NTE INEN 1724, 2011)
- Si los fragmentos de la capa de vidrio permanecen adheridos a la intercapa alrededor del punto de impacto en 60 mm de diámetro
- En el lado del impacto se aplican las condiciones dadas a continuación:
- No debe estar expuesta más de 200 mm^2 de la intercapa.
- La masa total de las astillas que se despegan no debe exceder los 20 g.
- Se puede permitir en la intercapa una rajadura máxima de 30 mm de longitud permisible. (NTE INEN 1723, 2011)

Se considera que un grupo de cuatro probetas sometidas al ensayo es satisfactorio si se cumplen cualquiera de las siguientes condiciones

- Todos los ensayos dan un resultado positivo
- Un ensayo ha dado resultado negativo, pero una serie posterior de ensayos realizados en un nuevo grupo de probetas no da ningún resultado negativo

2.13. Condiciones específicas para la homologación del fabricante MERCOSUR

2.13.1. Vidrio de seguridad templado

Se considera que los vidrios de seguridad templados pertenecen a tipos distintos si difieren en por lo menos una de las características principales o secundarias. (Norma Armonizada MERCOSUR, 1992)

a. Características principales

Son las siguientes:

- Marca de fábrica o comercial
- Naturaleza del temple (térmico o químico)
- Categoría de forma: C1 = planos, C2= curvos
- Categoría de espesor "e" establecida en base al espesor nominal admitiendo una variación de $\pm 0,2 \text{ mm}$;

Categoría I $e < 3,5 \text{ mm}$

Categoría II $3,5 \text{ mm} < e < 4,5 \text{ mm}$

Categoría III $4,5 \text{ mm} < e < 6,5 \text{ mm}$

Categoría IV $6,5 \text{ mm} < e$

b. Procedimiento en caso de rotura

Con respecto a la visibilidad después de rotura y seguridad contra astillado, los vidrios de seguridad deben satisfacer las condiciones cuando son ensayados conforme a:

- El número de fragmentos en un cuadrado con 50 mm de lado, debe satisfacer la tabla 6.

Tabla 6

Número de fragmentos en un cuadrado con 50 mm de lado

Espesor (mm)	Máximo	Mínimo
< 3,5	400	40
> 3,5	350	40

Nota. Esta tabla demuestra el máximo y mínimo número de fragmentos encontrados en un área de 50 x 50 mm de acuerdo al espesor que tiene el vidrio de seguridad de uso automotriz.

Tomado de (Norma Armonizada MERCOSUR, 1992)

- En el recuento deben considerarse como medios fragmentos los que fueron cortados por los lados del cuadrado.
- No deben considerarse los fragmentos producidos en una faja marginal de 20 mm de ancho que circundan la periferia del vidrio, ni aquellos que se producen en un círculo de 75 mm de radio, con el centro en el punto de percusión.
- Fragmentos de forma más alargada son admisibles solamente cuando se supone que no sobrepasarán la medida de 75 mm y no penetrarán la faja marginal de 20 mm que circunda la periferia del vidrio;

- No se admiten fragmentos cuya superficie es superior a 3 cm^2 , salvo en partes definidas.
- Fragmentos de forma alargada, que no excedan 75 mm y no tengan forma puntiaguda que lleguen hasta el borde del vidrio no pueden formar con el mismo un ángulo de más de 45°
- Se admiten pequeños desvíos en cuanto a fragmentación con la condición de que se haga mención por escrito en el informe sobre el ensayo y que una copia heliográfica de las partes fuera de especificación sea anexada al mismo.
- Se considerará aprobado el ensayo si la fragmentación en todos los puntos de impacto satisface las especificaciones anteriores.
- Si en un punto de impacto el resultado fuera negativo debe ensayarse una nueva pieza en el mismo punto de impacto y el resultado deberá ser positivo; en el caso que el resultado fuera negativo al menos 2 puntos de impacto y como máximo en 3, deberá ensayarse una nueva serie completa de piezas con un resultado positivo. (Norma Armonizada MERCOSUR, 1992)

Comportamiento en caso de impacto con cuerpos macizos no puntiagudos, esfera de 227 g. los vidrios de seguridad deben cumplir con las siguientes exigencias cuando son ensayados, conforme a la NBR 9494;

Tabla 7*Altura de la caída en función del espesor*

Espesor del vidrio, e, (mm)	Altura mínima de caída (mm)
< 3,5	2000 $_{+5}^{-0}$
> 3,5	2500 $_{+5}^{-0}$

Nota. Esta tabla expresa la mínima altura de caída de la esfera de acero en función del espesor del vidrio de seguridad de uso automotriz. Tomado de (Norma Armonizada MERCOSUR, 1992)

- De 6 muestras, empleando una altura mínima de caída, no podrán romperse más que dos. En caso de rotura de más de dos muestras, debe repetirse una vez más el ensayo con 6 muestras nuevas

2.13.2. Vidrio de seguridad laminado (utilizado como parabrisas)

Se considera que los vidrios de parabrisas pertenecen a tipos distintos si difieren en por lo menos una de las características principales o secundarias.

a. Características principales

Son las siguientes:

- Marca de fábrica o comercial
- Formas o dimensiones
- Cantidad de hojas de vidrio
- Categoría de espesor “e” en la cual se sitúa el espesor nominal, donde las desviaciones de fabricación de $\pm 0,2 \text{ mm}$ son admitidas siendo n el número de hojas de vidrio del parabrisas

- Espesor nominal de los intercalares
- Material utilizado como intercalar

b. Comportamiento en caso de rotura

Comportamiento en caso de impacto con cuerpos macizos no puntiagudos. Los vidrios de seguridad deben cumplir con los siguientes requisitos cuando son ensayados:

Ensayo sobre una muestra

- La altura mínima de caída independientemente del espesor es de $4000_{-25}^{+0}mm$
- En el ensayo deben producirse numerosas fisuras radiales y fisuras circulares, las cuales, dentro de lo posible deben llegar hasta las proximidades del punto central de percusión.
- No debe producirse el desprendimiento total de las astillas de gran tamaño. De 6 muestras, ninguna puede ser atravesada al emplearse la altura mínima de caída prescrita.
- En caso de que sea atravesada una de las muestras, debe repetirse el ensayo con una serie nueva de muestras.

Ensayo sobre un vidrio parabrisas

- La altura mínima de caída independientemente del espesor es de $1500_{+0}^{-5}mm$
- El vidrio de parabrisas debe quebrarse presentando numerosas fisuras circulares centradas aproximadamente en el punto de impacto, las fisuras más próximas deben estar situadas como máximo a 80 mm del punto de impacto; las hojas de vidrio deben quedar adheridas al intercalar plástico. Se admiten una o varias despegaduras de un ancho inferior a 4 mm de cada lado de la fisura en el exterior de un círculo de 60 mm de diámetro centrado sobre el punto de impacto del lado del impacto el intercalar plástico

no debe quedar expuesto en una superficie superior a 2000mm^2 ; se admite un corte de 35 mm de largo en el intercalar plástico.

- En caso de que una de las condiciones anteriores no fuera satisfecha deberá repetirse el ensayo con una nueva serie de vidrios de parabrisas.

Comportamiento en caso de impacto con cuerpos macizos o puntiagudos, esfera de 227 g: los vidrios de seguridad deben cumplir con las siguientes condiciones cuando son ensayados conforme a la NBR 994:

- De 10 muestras ensayadas, 2 como máximo puede ser atravesadas por la esfera

Comportamiento en caso de impacto con cuerpos macizos no puntiagudos, esfera de 2.260 g: los vidrios de seguridad deben cumplir con las siguientes condiciones cuando son ensayados conforme a la NBR 9494:

- La altura de caída mínima es de 4000 mm independientemente del espesor

De las 6 muestras, con una altura de caída mínima especificada, no puede ser atravesada más que 1. Si más de 1 muestra es atravesada, debe repetirse una vez más el ensayo con 6 muestras nuevas.

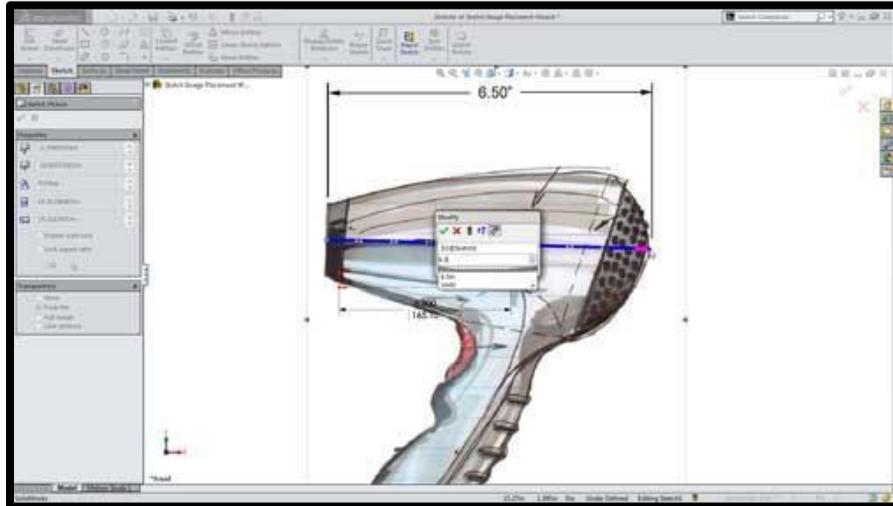
2.14. Software CAE

2.14.1. Solidworks

(CAD, 2018) "SolidWorks en su versión estudiantil es un programa de diseño mecánico en 3D con el que puedes crear geometría 3D usando sólidos paramétricos, la aplicación está enfocada a diseño de producto, diseño mecánico, ensambles, y dibujos para taller. SolidWorks en su versión estudiantil diseña de forma que va dejando un historial de operaciones para que puedas hacer referencia a ellas en cualquier momento".

Figura 23

Página principal de SolidWorks



Nota. La figura representa la página principal de diseño y modelado en el software SolidWorks.

Tomado de (CAD, 2018)

a. Función del software CAE

SolidWorks en su versión estudiantil tiene soluciones para industrias de plásticos, lámina delgada, eléctrica, simulación y análisis por elementos finitos, el programa incluye un módulo inteligente de detección de errores de diseño y módulos para diseño sustentable. Como herramienta de diseño 3D es fácil de usar, acompaña al ingeniero mecánico y el diseñador industrial en su desempeño diario.

Con SolidWorks en su versión estudiantil puedes diseñar piezas mecánicas en 3D, evaluar ensambles de varias piezas y producir dibujos de fabricación para el taller, además podrás manejar los datos de diseño en su sistema de administración PDM y llevar un control de las versiones de dibujos. (CAD, 2018)

b. Resultados del software CAE

Al diseñar puedes evaluar el impacto ambiental del diseño, simular virtualmente las condiciones y análisis del diseño en situaciones reales y optimizar su desempeño. El programa está basado en un motor de modelado de sólidos y también contiene comandos de creación, edición de superficies complejas, además es asociativo entre los modelos 3D y sus dibujos.

En diseño mecánico, sistemas mecatrónicos, cinemática, ensamble de robótica, diseño automotriz y aeroespacial, biomecánica, diseño de dispositivos médicos. (CAD, 2018)

(Montajes Soluciones Ingeniería, 2020) “Desde la perspectiva de MS +Ingeniería, los sectores a los que puede enfocarse SolidWorks en su versión estudiantil, son los siguientes:”

- Diseño mecánico: Análisis, cálculo y validación.
- Diseño eléctrico: Cálculo, simulación e integración.
- Diseño electrónico: Cálculo, simulación e integración.
- Comunicación técnica: Inspección, comunicación e integración con sistemas de venta.

c. Ventajas del software CAE

Dentro de las ventajas que podemos encontrar al usar SolidWorks en su versión estudiantil se encuentran:

- Modelado dimensionalmente preciso.
- Se diferencian superficies de las partes sólidas, lo que se asemeja más al producto real.
- Capacidad para simular materiales (propiedades físicas, mecánicas, ensambles).
- Facilidad en la creación de planos, vistas, isométricos, despiece de materiales.
- Capacidad para modificar las operaciones iniciales.

d. Desventajas del software CAE

Las desventajas que tiene SolidWorks en su versión estudiantil son las siguientes:

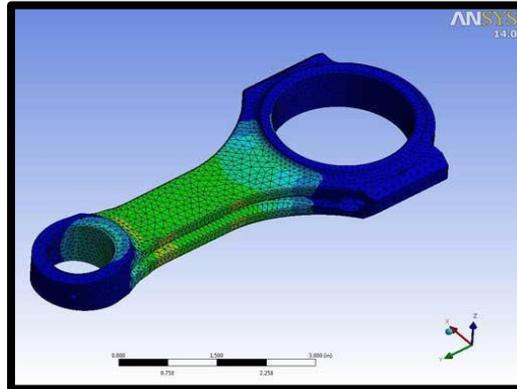
- Modelado de superficies complejo
- Tiempo de modelado muy alto cuando se trabaja con piezas complejas
- Motor de renderizado muy limitado.

2.14.2. ANSYS

(CAE, 2018) “ANSYS en su versión estudiantil es un ecosistema de programas CAE para diseño, análisis y simulación de partes por elementos finitos FEA, incluye las fases de preparación de meshing o mallado, ejecución y post proceso, el programa ejecuta análisis de piezas sometidas a fenómenos físicos usadas en ingeniería y diseño mecánico, puede resolver problemas físicos sometidos a esfuerzos térmicos, fluidos, vibración y aplicaciones específicas, brevemente se describen sus módulos principales por disciplina”.

Figura 24

Página principal de ANSYS en su versión estudiantil



Nota. Esta figura representa el modelado de un pistón de motor a combustión en la página principal del Software CAE. Tomado de (CAE, 2018)

a. Función del software CAE

ANSYS Workbench en su versión estudiantil es una plataforma de software desde donde se crean los proyectos de análisis CAE en diferentes disciplinas, Workbench en su versión estudiantil despliega gráficamente el intento de la simulación en ingeniería y se establecen las relaciones entre fenómenos físicos y sus módulos incluyendo multi física. La plataforma ANSYS Workbench en su versión estudiantil incluye software y componentes para diferentes fenómenos. (CAE, 2018)

b. Resultados del software CAE

Las soluciones de ANSYS en su versión estudiantil abarcan desde la simulación del comportamiento de dinámica de fluidos, electromagnetismo, resistencia de materiales, etc. es un ecosistema de programas CAE para diseño, análisis y simulación de partes por elementos finitos FEA, incluye las fases de preparación de meshing o mallado , ejecución y post proceso, el

programa ejecuta análisis de piezas sometidas a fenómenos físicos usadas en ingeniería y diseño mecánico, puede resolver problemas físicos sometidos a esfuerzos térmicos, fluidos, vibración y aplicaciones específicas, brevemente se describen sus módulos principales por disciplina. (3D CadPortal)

Los programas de AEF (análisis por elementos finitos o FEA por sus siglas en inglés: Finite Element Analysis), permiten obtener soluciones aproximadas de problemas que sean susceptibles de ser representados por un sistema de ecuaciones diferenciales. En Ingeniería, la mayoría de los procesos actuales están definidos de dicha forma, por lo que dichos programas nos permitirán obtener productos de calidad superior a un menor coste, o para mejorar procesos existentes, o para estudiar el fallo de un componente estructural o un equipo. (González, 2010)

c. Ventajas del software CAE

Una de las principales ventajas que ofrecen las simulaciones de los softwares como ANSYS en su versión estudiantil, es que se introducen criterios ergonómicos y de facilidad de uso con el objetivo de desarrollar estructuras más resistentes, ligeras y asequibles.

De esta manera, además de optimizar el proceso de diseño de utillajes, ANSYS en su versión estudiantil también ayuda a encontrar soluciones tanto para su almacenamiento como para su transporte óptimo, sin que ello suponga un coste adicional a los clientes. (KIMUA GROUP, 2019)

d. Desventajas del software CAE

La mayoría de los errores y desventajas de ANSYS en su versión estudiantil, más que basarse en el programa mismo, se basan en el elemento finito utilizado por el programa para realizar los análisis.

La solución otorgada por el programa es una compleja mezcla de cálculos discretos. Y los esfuerzos, temperaturas y otras propiedades representan parámetros continuos. Dicho esto, los resultados arrojados por ANSYS en su versión estudiantil son aproximaciones que dependerán del número de elementos utilizados. (González, 2010)

Es el método que converge más rápido, esto se traduce en una menor cantidad de iteraciones lo cual produce una mayor velocidad en el análisis y una reducción en el uso de recursos de un computador. La metodología tiene que ser efectiva, por lo tanto, no se puede obviar ninguna raíz, lo cual no es garantizado por los otros métodos. (Sacotto, 2020)

CAPÍTULO III

3. Ensayos y pruebas de vidrios automotrices

El vidrio de seguridad de uso automotriz debe cumplir con ciertos requisitos para su fabricación y/o comercialización, dichos requisitos se componen de diferentes ensayos y pruebas a los que el vidrio de seguridad es sometido y los debe cumplir satisfactoriamente.

3.1. Ensayo de la determinación de la fragmentación

3.1.1. Procedimiento

Tabla 8

Determinación de la fragmentación – Hoja de protocolo

Hoja de protocolo para la determinación de la fragmentación

Procedimiento							
Condiciones iniciales	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">Tipo de muestra</td> <td style="text-align: center;">Vidrio templado</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Número de muestras</td> <td style="text-align: center;">6</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Espesor de la muestra</td> <td style="text-align: center;">6 mm</td> </tr> </table>	Tipo de muestra	Vidrio templado	Número de muestras	6	Espesor de la muestra	6 mm
Tipo de muestra	Vidrio templado						
Número de muestras	6						
Espesor de la muestra	6 mm						
Instrucciones							
<p>Se seleccionó seis muestras a ensayar que han sido fabricadas en un proceso normal de producción en la empresa CRISTALAUTOS, dedicada a la comercialización de vidrio de seguridad de uso automotriz.</p>							
Procedimiento							

Hoja de protocolo para la determinación de la fragmentación

Procedimiento

- Para la realización del ensayo se utilizó herramientas de medición de masa, longitud y tiempo además de utilizar herramientas de golpe.
 - Se estableció mediante la medición manual puntos prescritos de impacto en la probeta de ensayo, figura 25, dichos puntos prescritos de impacto se encuentran medidos en milímetros y son establecidos en la NTE INEN 1722.
 - Además de detallar los puntos prescritos para el impacto se utilizó cinta adhesiva en la cara posterior de la probeta de ensayo, cuyo fin es mantener al fragmento en una sola localización para lograr contener los efectos que se generan al momento de recibir un impacto, y facilitar a la obtención de resultados del ensayo.
 - Con la ayuda de herramienta de golpe (punzón y martillo) se realizó el impacto en el punto inferior número dos de la probeta número uno para lograr su fragmentación. Posterior a la fragmentación de la probeta de ensayo se tomó tiempo normado como el de mantener en reposo la probeta fragmentada durante tres minutos previos a la realización de conteo de partículas, dicho procedimiento se lo realizó en cada ensayo para la determinación de la fragmentación.
-

Hoja de protocolo para la determinación de la fragmentación

Procedimiento

Figura 25

Puntos prescritos de impacto



Nota. La figura muestra la probeta número uno perteneciente al grupo de seis probetas acompañada de los instrumentos necesarios para el ensayo que determina la fragmentación del vidrio templado.

Resultado del ensayo

Muestra		Resultados	
/	Condiciones	Gráfico	Fragmentos
		Probeta	
1	Con la ayuda de herramienta de golpe (punzón y martillo) se realizó el impacto en el punto inferior número dos.		72

Hoja de protocolo para la determinación de la fragmentación

Procedimiento

Se seleccionó como punto prescrito de impacto al punto numero dos que se encuentra ubicado al lado izquierdo de su superficie frontal, se procede a la medición de tiempo utilizando el cronómetro

Probeta 2



82

Se seleccionó como punto prescrito de impacto para la fragmentación de la tercera probeta de ensayo al punto numero dos que encuentra ubicado en la mitad de la probeta en la zona superior de la misma

Probeta 3



124

Hoja de protocolo para la determinación de la fragmentación

Procedimiento

Probeta 4	<p>Se eligió como punto prescrito de impacto para realizar la fragmentación de la cuarta probeta de ensayo al punto numero dos que se encuentra al lado derecho</p>		14
Probeta 5	<p>Se eligió como punto prescrito de impacto al punto número tres que se encuentra en la mitad de la zona geométrica de la superficie de la probeta de ensayo</p>		74
Probeta 6	<p>Se seleccionó como punto prescrito de impacto al punto número uno que se encuentra trazado sobre su superficie</p>		57

Nota. Esta tabla demuestra el procedimiento llevado a cabo para la determinación de la fragmentación en la probeta de ensayo templada y la recopilación de los resultados obtenidos.

3.1.2. Obtención de resultados

Parte del procedimiento para obtener resultados en las probetas de ensayo fragmentadas incluye el uso de instrumento de medición de tiempo, el cual se menciona como requisito en la normativa NTE INEN 1722, cronómetro.

Posterior a la fragmentación de la probeta de ensayo se tomó tiempo normado como el de mantener en reposo la probeta fragmentada durante tres minutos previos a la realización de conteo de partículas, dicho procedimiento se lo realizó en cada ensayo para la determinación de la fragmentación. Se logró establecer satisfactorios para considerar que una probeta de ensayo cumpla con la funcionalidad que tiene un vidrio de seguridad de uso automotriz, por último se contabilizó con un marcador los diversos fragmentos dentro de un área específica, mediante puntos en cada uno de ellos véase la tabla 9.

Tabla 9

Fragmentos encontrados en un cuadrado de 50 mm x 50 mm.

		Resultado del ensayo	
Muestra/ Probeta	Condiciones	Gráfico	Fragmentos
Probeta 1	El número de fragmentos encontrados en un cuadrado de 50 mm por 50 mm trazados		72

Resultado del ensayo

Muestra/ Probeta	Condiciones	Resultados	
		Gráfico	Fragmentos
Probeta 2	El número de fragmentos encontrados en un cuadrado de 50 mm por 50 mm trazados sobre el área de vidrio que presenta fragmentos de mayor tamaño es de 82.		82
Probeta 3	El número de fragmentos encontrados en un cuadrado de 50 mm por 50 mm trazados sobre el área de vidrio que presenta fragmentos de mayor tamaño es de 124.		124
Probeta 4	El número de fragmentos encontrados en un cuadrado de 50 mm por 50 mm trazados sobre el área de vidrio que		14

Resultado del ensayo

Muestra/ Probeta	Condiciones	Resultados	
		Gráfico	Fragmentos
	presenta fragmentos de mayor tamaño es de 14.		
Probeta 5	El número de fragmentos encontrados en un cuadrado de 50 mm por 50 mm trazados sobre el área de vidrio que presenta fragmentos de mayor tamaño es de 74.		74
Probeta 6	El número de fragmentos encontrados en un cuadrado de 50 mm por 50 mm trazados sobre el área de vidrio que presenta fragmentos de mayor tamaño es de 57.		57

Nota. Esta tabla demuestra el número de fragmentos encontrados en un área cuadrada de 50 x 50 mm en el grupo de seis probetas sometidas al ensayo de fragmentación.

3.2. Ensayo determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero

Para determinar la resistencia del vidrio de uso automotriz frente a un impacto con esfera de acero se requiere de soporte de probeta y sus componentes, además de un soporte orientador para direccionar la esfera de acero, simultáneamente se utiliza dos esferas de acero. Véase las figuras 26 y 27 respectivamente.

Figura 26

Esfera de acero 225 g



Nota. La figura expresa el peso en gramos de la esfera de acero de masa definida de 227 g medidos con una balanza.

Figura 27

Esfera de acero 2.25 Kg



Nota. La figura muestra el peso de la esfera de acero de masa definida de 2.253 Kg, medidos con la utilización de una balanza.

Se seleccionó ocho muestras a ensayar que han sido fabricadas en un proceso normal de producción en la empresa CRISTALAUTOS, dedicada a la comercialización de vidrio de seguridad de uso automotriz. Se clasifica a las ocho muestras a ensayar en dos: templadas y laminadas, de las cuales cuatro corresponden a muestras templadas y las otras cuatro corresponden a muestras laminadas.

Se considera que las muestras de ensayo tienen una resistencia mínima bajo el impacto de un objeto que se aproxima desde el exterior para las probetas templadas y desde el interior para las probetas laminadas.

La selección de la muestra de ensayo se realizó bajo el fundamento y requerimiento que se menciona en la normativa NTE INEN 1723, sección 5. De la misma manera se estableció un espesor nominal para la muestra de ensayo de 6 mm.

3.2.1. Procedimiento

Probetas de ensayo templadas

Tabla 10

Determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero probeta templada

Hoja de protocolo para la determinación de la resistencia al impacto con esferas de acero en probetas templadas

Procedimiento		
Condiciones iniciales	Tipo de muestra	Probeta templada
	Número de muestra	4
	Espesor de la muestra	6 mm
	Dimensiones de la muestra	300 mm x 300 mm
	Peso de la esfera	225 gramos
	Altura de caída	2.5 metros
Instrucciones		
Se seleccionó 4 muestras a ensayar que han sido fabricadas en un proceso normal de producción en la empresa CRISTALAUTOS, dedicada a la comercialización de vidrio de seguridad de uso automotriz.		
Procedimiento		

Hoja de protocolo para la determinación de la resistencia al impacto con esferas de acero en probetas templadas

Se utilizó cuatro probetas de 300 mm por 300 mm de dimensión y 6 mm de espesor, las cuales deben recibir el impacto de una esfera sólida de acero dentro de un círculo de 25 mm de radio medidos desde su centro. Figura 28.

Figura 28

Probetas de Ensayo Templadas



Nota. La figura muestra al grupo de cuatro probetas de ensayo templadas y su disposición para el ensayo que determina la resistencia al impacto con esfera de acero en la NTE INEN 1723.

Hoja de protocolo para la determinación de la resistencia al impacto con esferas de acero en probetas templadas

- Se colocó la probeta de ensayo sobre el soporte de la misma forma que detalla la normativa NTE INEN 1723 sección 4.
- Se ubicó el soporte orientador como una guía para que la esfera de acero caiga lo más verticalmente posible e impacte en la zona central de la probeta. Figura 29.
- Se dejó caer la esfera de acero de 225 g desde una altura de 2.5 m, la cual es la altura determinada por la norma INEN 1723 con respecto al espesor nominal de la probeta a ensayar.

Figura 29

Ensayo de la determinación de la resistencia al impacto



Nota. La figura demuestra la utilización del soporte para probeta, el soporte para la orientación de la caída y la escalera para lograr la altura deseada para el ensayo.

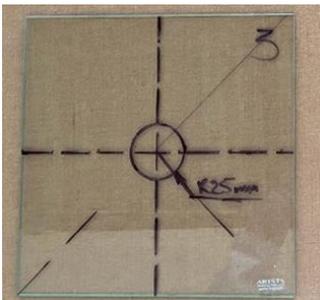
**Hoja de protocolo para la determinación de la resistencia al impacto con esferas de acero
en probetas templadas**

Se utilizó el mismo procedimiento para realizar el ensayo para las siguientes tres probetas laminadas.

Resultado del ensayo

Muestra/ probeta	Condiciones	Resultados		
		Gráfico	Positivo	Negativo
Probeta 1	Se dejó caer la esfera de acero de 225 g desde una altura de 2.5 m la cual impactó en el centro de la probeta 1		X	
Probeta 2	Se dejó caer la esfera de acero de 225 g desde una altura de 2.5 m la cual impactó en el centro de la probeta 2.		X	

**Hoja de protocolo para la determinación de la resistencia al impacto con esferas de acero
en probetas templadas**

Probeta 3	<p>Se dejó caer la esfera de acero de 225 g desde una altura de 2.5 m la cual impactó en el centro de la probeta 3.</p>		X
------------------	---	--	----------

Probeta 4	<p>Se dejó caer la esfera de acero de 225 g desde una altura de 2.5 m la cual impactó en el centro de la probeta 4.</p>		X
------------------	---	---	----------

Nota. Esta tabla expresa el procedimiento que se llevó a cabo para la determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero de masa de 225g en el grupo de cuatro probetas templadas, obteniendo información necesaria para la investigación.

Probetas de ensayo laminadas

Tabla 11

Determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero probeta laminada

Hoja de protocolo para la determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero en probetas laminadas

Procedimiento

Indicaciones generales

Se seleccionó 4 muestras a ensayar que han sido fabricadas en un proceso normal de producción en la empresa CRISTALAUTOS, dedicada a la comercialización de vidrio de seguridad de uso automotriz.

	Tipo de muestra	Probeta laminada
Condiciones iniciales	Número de muestra	4
	Espesor de la muestra	6 mm
	Dimensiones de la muestra	300 mm x 300 mm
	Peso de la esfera	2.25 Kg
	Altura de caída	4 metros

Procedimiento

Se utilizó cuatro probetas de 300 mm por 300 mm de dimensión y 6 mm de espesor, las cuales deben recibir el impacto de una esfera sólida de acero dentro de un círculo de 25 mm de radio medidos desde su centro.

**Hoja de protocolo para la determinación de la resistencia al impacto con esfera de
acero en probetas laminadas**

Procedimiento

Figura 30

Probetas Laminadas



Nota. La figura muestra al grupo de cuatro probetas laminadas y su disposición para lograr determinar la resistencia que tiene frente al impacto de esfera de acero, acompañadas con su punto prescrito de impacto.

- Se determinó el centro de las probetas de vidrio laminado, y posteriormente se graficó un círculo de 25 mm de diámetro que interpreta el lugar donde impacta la esfera de acero de 2.25Kg
- Se dejó caer la esfera de acero de 2.25 Kg desde una altura de 4 m, altura determinada por la norma INEN 1723 con respecto al espesor nominal de la probeta a ensayar.

**Hoja de protocolo para la determinación de la resistencia al impacto con esfera de
acero en probetas laminadas**

Procedimiento

-
- Finalmente se tomó el tiempo de 5 segundos para determinar la resistencia que tuvo el vidrio laminado al ser impactado.

Figura 31

Ensayo de probeta laminada



Nota. La figura demuestra la utilización del soporte de probeta de ensayo, el soporte orientador de caída y la utilización de una escalera de madera para lograr la altura especificada.

**Hoja de protocolo para la determinación de la resistencia al impacto con esfera de
acero en probetas laminadas**

Procedimiento

Resultado del ensayo

Muestra / probeta	Condiciones	Resultado		
		Grafico	Positiv o	Negativo
Probeta 1	Se dejó caer la esfera de acero de 2.25 Kg desde una altura de 4 metros la cual impactó en el centro de la probeta 1			X
Probeta 2	Se dejó caer la esfera de acero de 2.25 Kg desde una altura de 4 metros la cual impactó en el centro de la probeta 2			X
Probeta 3	Se dejó caer la esfera de acero de 2.25 Kg desde una altura de 4 metros la cual impactó en el centro de la probeta 3			X

**Hoja de protocolo para la determinación de la resistencia al impacto con esfera de
acero en probetas laminadas**

Procedimiento

Probeta 4	Se dejó caer la esfera de acero de 2.25 Kg desde una altura de 4 metros la cual impactó en el centro de la probeta 4		X
------------------	--	--	---

Nota. Esta tabla explica el procedimiento que se llevó a cabo para la determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero de 2.25 Kg en el grupo de cuatro probetas laminadas, continuamente se recopiló información necesaria para la investigación.

3.2.2. Obtención de resultados

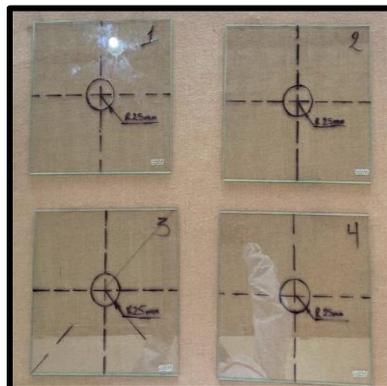
Para que un vidrio de seguridad de uso automotriz templado y laminado manifieste resultados positivos debe cumplir con ciertas normas y condiciones, mismas que deben sustentarse con la NTE INEN 1669.

Muestras Templadas

Se demostró que, en el grupo de cuatro probetas sometidas a ensayo, ninguna se rompe. Es por ello que una vez finalizado los ensayos se agrupó nuevamente las probetas para verificar su estado, y se logró observar que tuvieron una alta resistencia frente al impacto de la esfera de acero de 225 g. Véase la figura 32.

Figura 32

Grupo de cuatro probetas sometidas a ensayo



Nota. La figura demuestra al grupo de cuatro probetas templadas después de haber sido impactadas con la esfera de acero de 225 g, logrando resultados positivos para el ensayo.

Tabla 12

Datos obtenidos en el ensayo con vidrios templados

Probetas	Masa esfera (g)	Altura (m)	Penetración después del impacto(m)
1	225	2,5	0
2	225	2,5	0
3	225	2,5	0
4	225	2,5	0

Nota. Esta tabla argumenta la penetración existente por la esfera de acero de masa 225 g sobre la superficie del grupo de cuatro probetas de ensayo templadas.

Se observó que no hay rotura en ninguna probeta de ensayo por lo que satisface completamente las condiciones normadas. Es por ello que se seleccionó como al grupo de cuatro probetas resistentes frente a un impacto de un objeto que se aproxima desde el exterior al vehículo automotor.

Muestras Laminadas

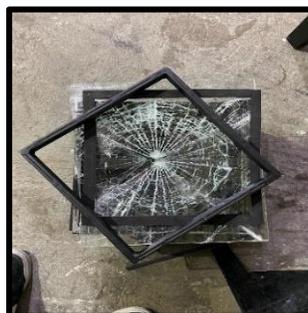
Tabla 13

Muestras de vidrios laminados después del ensayo de impacto.

Probeta 1



Probeta 2



Probeta 3



Probeta 4



Nota. Esta tabla expresa el grupo de cuatro probetas de ensayo laminadas después de haber sido impactadas con la esfera de acero de 2.25 Kg.

Tabla 14

Datos obtenidos en el ensayo de impacto de probetas laminadas

Probetas	Masa esfera (Kg)	Altura (m)	Penetración después del impacto(m)
1	2,25	4	0,2
2	2,25	4	0,2
3	2,25	4	0,2
4	2,25	4	0,01

Nota. Esta tabla demuestra el grupo de cuatro probetas de ensayo laminadas y su penetración de la esfera de acero de 2.25 Kg después de haber sido impactadas.

Se demostró que el ensayo de impacto de esfera de acero de 2.25 Kg ha dado un resultado negativo en el grupo de cuatro probetas, debido a que tres probetas permiten el paso de la esfera de acero dentro los 5 segundos posteriores al impacto. Véase la tabla 14.

Se evidenció que únicamente la cuarta probeta sometida al impacto de la esfera de acero tiene una alta resistencia frente al ensayo, lo que nos permitió definir como un resultado positivo dentro del grupo de cuatro probetas.

3.3. Ensayo de la determinación de la resistencia al impacto NTE INEN 1724

Metodología que determina la resistencia que tiene el vidrio de seguridad de uso automotriz frente al impacto simulado de cabeza, utilizando un maniquí de madera, cuya fuente está cimentada en la NTE INEN 1724, normativa que se aplica únicamente sobre probetas laminadas. (NTE INEN 1724, 2011)

3.3.1. Procedimiento

Tabla 15

Determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza ensayo maniquí

Hoja de protocolo para la determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza

Procedimiento

	Tipo de muestra	Probeta laminada
	Número de muestras	4
Condiciones	Espesor	6 mm
Iniciales	Dimensiones	300 x 300 mm
	Peso Maniquí	10 Kg.
	Altura de caída	1,5 m
Indicaciones generales		

Se seleccionó 4 muestras a ensayar que han sido fabricadas en un proceso normal de producción en la empresa CRISTALAUTOS, dedicada a la comercialización de vidrio de seguridad de uso automotriz.

Hoja de protocolo para la determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza

Procedimiento

Figura 33

Disposición de los elementos para el ensayo



Nota. La figura demuestra al grupo de cuatro probetas laminadas dispuestas para la realización del ensayo, acompañadas de la hoja de fieltro y el maniquí de madera.

Procedimiento

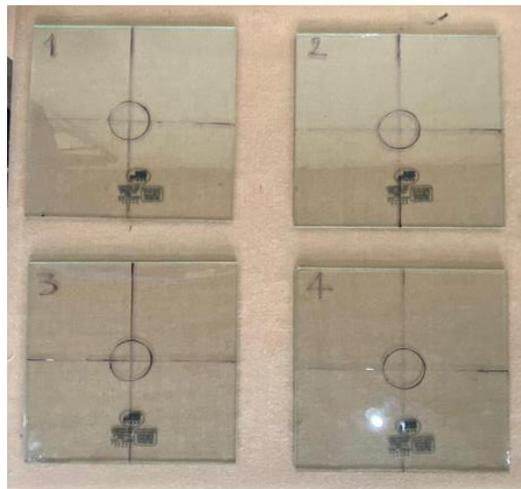
Se utilizó cuatro probetas de 300 mm x 300 mm de dimensión y 6 mm de espesor, las cuales deben recibir el impacto del maniquí el cuál fue fabricado según las especificaciones de la norma INEN 1724. La cuál deberá caer dentro de un círculo de 25 mm de radio medidos desde su centro.

**Hoja de protocolo para la determinación de la resistencia al impacto simulado de la
cabeza**

Procedimiento

Figura 34

Grupo de cuatro probetas laminadas



Nota. La figura demuestra la visualización del grupo de cuatro probetas laminadas y su trazado de puntos prescritos de impacto en su centro geométrico.

- Por medio de fuentes bibliográficas se colocó a la probeta laminada sobre el soporte de ensayo de la misma manera que detalla la NTE INEN 1724
- Se determinó la altura de 1.5 metros, medidos de la superficie superior de la probeta laminada hasta la superficie de la cabeza del maniquí
- Con la ayuda de la escalera se dejó caer sin ningún tipo de impulso el maniquí sobre el centro de la probeta laminada

**Hoja de protocolo para la determinación de la resistencia al impacto simulado de la
cabeza**

Procedimiento

- Mediante el uso de la balanza se pesó las astillas desprendidas por el ensayo de impacto

Resultado del ensayo

Muestra / probeta	Condiciones	Gráfico	Peso de fragmento s (gramos)
Probeta 1	Se dejó caer la el maniquí de 10Kg desde una altura de 1.5 metros la cual impactó en el centro de la probeta 1		20
Probeta 2	Se dejó caer la el maniquí de 10Kg desde una altura de 1.5 metros la cual impactó en el centro de la probeta 2.		20

**Hoja de protocolo para la determinación de la resistencia al impacto simulado de la
cabeza**

Procedimiento

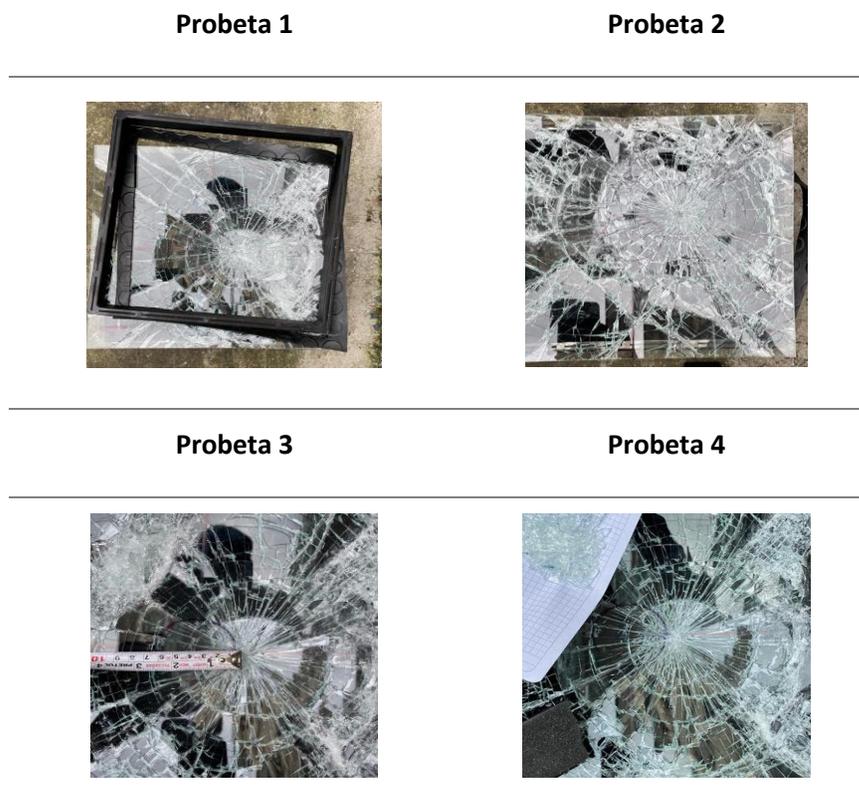
Probeta 3	Se dejó caer la el maniquí de 10Kg desde una altura de 1.5 metros la cual impactó en el centro de la probeta 3.		16
Probeta 4	Se dejó caer la el maniquí de 10Kg desde una altura de 1.5 metros la cual impactó en el centro de la probeta 4.		18

Nota. Esta tabla expresa el procedimiento que se llevó a cabo para la determinación de la resistencia al impacto simulado de cabeza en el grupo de cuatro probetas laminadas, simultáneamente se observa la recopilación de resultados obtenidos.

3.3.2. Obtención de resultados

Tabla 16

Probetas de ensayo después del impacto con maniquí



Nota. Esta tabla expresa el grupo de cuatro probetas de ensayo laminadas después de haber sido impactadas con el maniquí de 10 Kg.

Tabla 17

Datos obtenidos en el ensayo con vidrios laminados

Probetas	Distancia de rajaduras circulares (cm)	Altura (m)	Peso astillas (g)
1	4	1,5	20
2	4,8	1,5	20
3	4,2	1,5	16
4	6	1,5	18

Nota. Esta tabla muestra el grupo de cuatro probetas de ensayo laminadas acompañadas de valores como la distancia de rajaduras formadas por el impacto de la cabeza del maniquí sobre la superficie de impacto, el peso de astillas desprendidas y la altura de caída del ensayo.

Se identificó que el grupo de cuatro probetas de ensayo, véase la tabla 15, no existe pérdida de adherencia entre la intercapa y las hojas de vidrio, otorgando un resultado de ensayo positivo.

Mediante el uso de un flexómetro se observó que las rajaduras circulares se limitan a una distancia menor de 80 mm alrededor del punto de impacto, cumpliendo con la condición establecida en la NTE INEN 1724.

Por medio del uso de una balanza se logró pesar las astillas desprendidas, efecto generado por el impacto del maniquí sobre la superficie laminada, mismas que no sobrepasan los 20 g.

Capítulo IV

4. Análisis y simulación CAE

4.1. Entorno cae para la simulación de ensayos

La ingeniería asistida por computador se basa en el uso de un software que simula los efectos físicos y ayudan a la solución de problemas en la mayoría de sectores industriales. Con la ayuda del entorno CAE lograremos realizar el modelado de las diferentes geometrías utilizadas en el proyecto de investigación, añadir propiedades específicas de cada material y simular los efectos físicos que se producen como: tensiones, desplazamientos y factor de seguridad.

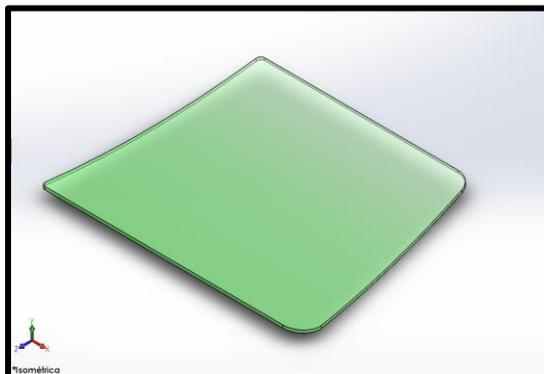
4.1.1. Simulación de la determinación de la fragmentación

a. Modelado de los componentes para la determinación de la fragmentación

Para el modelado en el software CAE de los componentes que abarcan el ensayo de la determinación de la fragmentación se utilizó como base fundamental la norma técnica ecuatoriana INEN 1722. Véase la figura 35, modelado de la probeta templada.

Figura 35

Modelado de Probeta Templada



Nota. La figura demuestra el modelado en el software CAE de la probeta templada utilizada en el ensayo experimental que determina la fragmentación del vidrio de seguridad de uso automotriz.

Mediante la medición de la probeta experimental se obtiene las dimensiones y geometría necesarias para el modelo tetraédrico

Es necesario conocer las características físicas y mecánicas correspondientes al vidrio de seguridad templado para la simulación del análisis estático en cuyo procedimiento se determina la resistencia a la fragmentación.

Mediante la investigación de fichas técnicas se modifican los parámetros del material en la biblioteca del software CAE finalmente se aplica dicho desarrollo al modelado de la probeta templada. Parámetros que se visualizan en la tabla 18.

Tabla 18*Características físicas y mecánicas de la base vítrea*

Componente	Parámetro	Valor	Unidad
Vidrio	Densidad (a 18°C)	2500	Kg/m^3
	Módulo de Young (módulo de elasticidad)	7×10^{10}	Pa
	Calor específico	$0,72 \times 10^3$	$J/(Kg \times ^\circ K)$
	Índice de Poisson	0.2	-
	Dureza	6	Mohs
	Conductividad Térmica	1	$\frac{W}{(m \times ^\circ K)}$

Nota. Esta tabla expresa las características físicas y mecánicas de la base vítrea, requeridas para el desarrollo del análisis CAE. Tomado de (VIDRESIF, 2021)

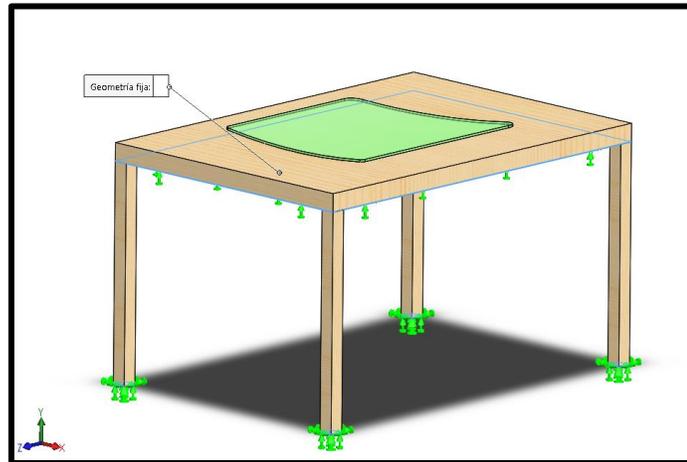
b. Simulación para análisis estático del vidrio de seguridad de uso automotriz templado para la determinación de la fragmentación

Para determinar el análisis estático del vidrio de seguridad de uso automotriz templado se utiliza el apoyo de software CAE, el cual determina indicadores correspondientes a las variables independientes expresadas en el capítulo I del presente.

Para determinar la fragmentación en vidrios de seguridad para automotores se requiere romper muestras a ensayar en puntos prescritos para el impacto con un dispositivo y proceder

Figura 37

Aplicación de puntos de sujeción

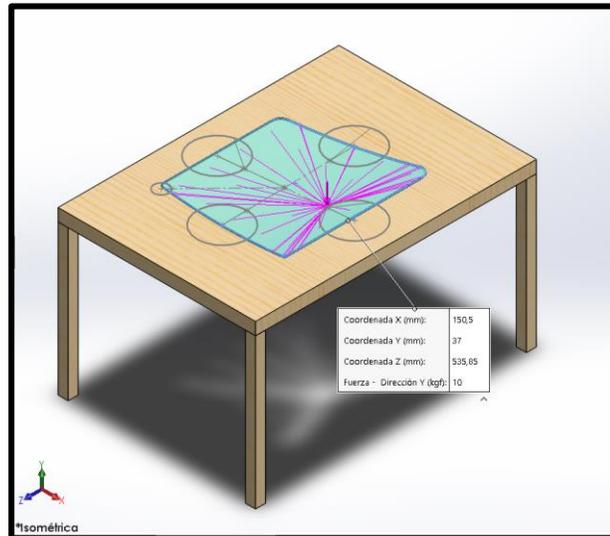


Nota. La figura demuestra a la mesa de madera, la cual se utiliza de apoyo para la probeta, y sus puntos de sujeción para el desarrollo de la simulación en el software CAE.

Para el desarrollo del ensayo de la determinación de la fragmentación se selecciona como punto prescrito para el impacto, al punto número dos que se encuentra en el lugar inferior de la probeta. Posteriormente se aplica la fuerza sobre kilogramo ejercida sobre el mismo, ésta fuerza se encuentra expresada en el software CAE como carga remota, la cual se establece mediante el uso de coordenadas del punto seleccionado y la dirección sobre la cara y aristas en la que actúa. Véase la figura 38.

Figura 38

Aplicación de carga remota en el punto de impacto inferior número dos



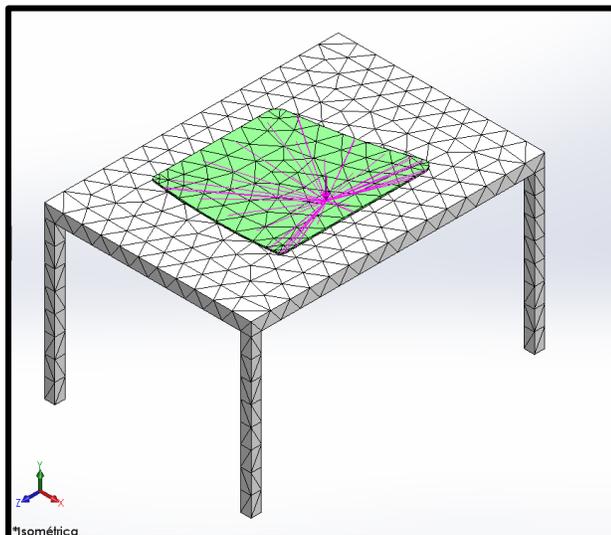
Nota. La figura expresa el lugar de impacto, punto prescrito en la normativa, necesaria para el desarrollo de la simulación.

El mallado de los componentes (figura 39) es un paso importante al momento de realizar un análisis de diseño. El modelado se encuentra conformado por elementos sólidos tetraédricos en 3D, elementos de vaciado triangulares en 2D y elementos estructurales, por lo que se utiliza el tipo de mallado mixto.

El software CAE estima un tamaño de elemento global para el análisis, y lo realiza tomando en cuenta su volumen, área de superficie y otros detalles geométricos. El tamaño de la malla generada depende de los criterios mencionados anteriormente, así como también del control de malla y las especificaciones de contacto. (DASSAULT SYSTEMES, 1995)

Figura 39

Mallado de componentes



Nota. La figura demuestra el mallado de los componentes para el desarrollo de la simulación en el software y su vista isométrica.

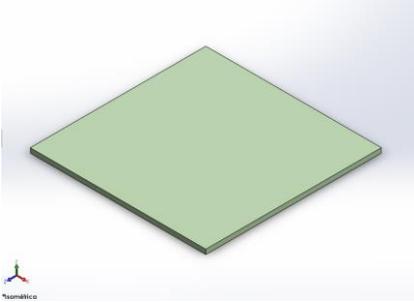
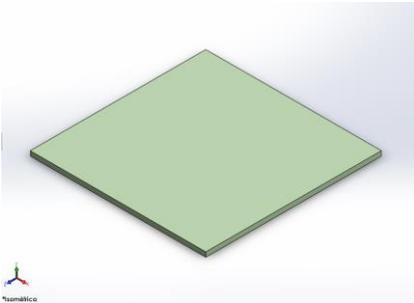
4.1.2. Simulación determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero

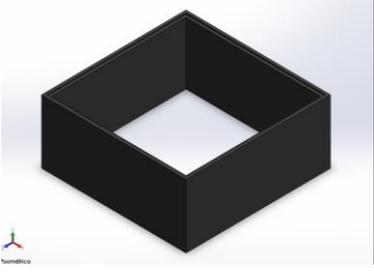
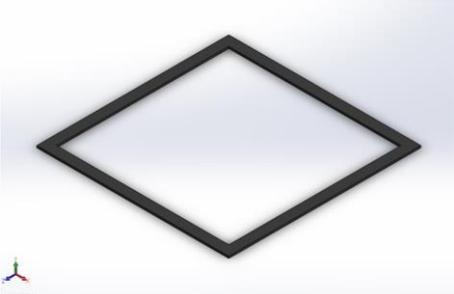
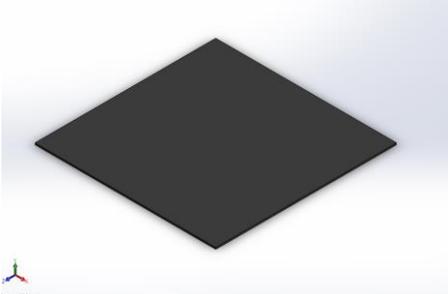
a. Modelado de los componentes

Para el modelado de los componentes en el software CAE, que abarcan el ensayo de la determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero, véase en la tabla 19, se utilizó la norma técnica ecuatoriana INEN 1723, en la cual se encuentra detallado las especificaciones de los componentes.

Tabla 19

Componentes para la determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero

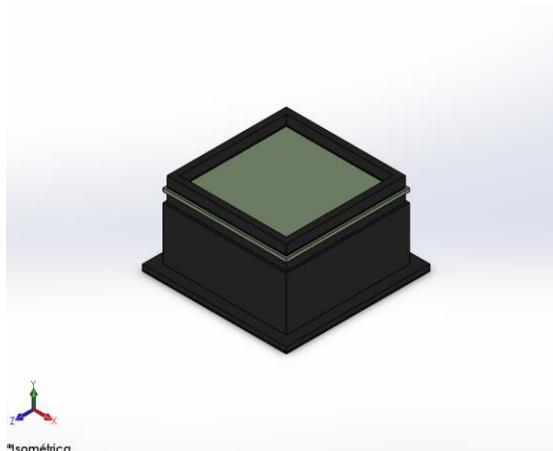
Componente	Gráfico
Esfera de acero (225 g)	 A 3D rendering of a small, dark gray sphere, representing a 225 g steel ball. The sphere is centered on a light blue gradient background and casts a soft shadow below it. A small logo is visible in the bottom left corner of the image.
Esfera de acero (2,25 Kg)	 A 3D rendering of a large, dark gray sphere, representing a 2.25 kg steel ball. The sphere is centered on a light blue gradient background and casts a soft shadow below it. A small logo is visible in the bottom left corner of the image.
Vidrio templado Verde Claro	 A 3D rendering of a square, light green plate, representing clear tempered glass. The plate is shown from an isometric perspective, centered on a light blue gradient background. A small logo is visible in the bottom left corner of the image.
Vidrio Laminado Verde Claro	 A 3D rendering of a square, light green plate, representing clear laminated glass. The plate is shown from an isometric perspective, centered on a light blue gradient background. A small logo is visible in the bottom left corner of the image.

Componente	Gráfico
Marco Hierro Negro	 A 3D perspective rendering of a black square metal frame. The frame consists of four thick, black rectangular bars joined at the corners. The rendering is set against a light blue and white gradient background. A small, multi-colored logo is visible in the bottom-left corner of the image.
Caja de metal	 A 3D perspective rendering of a black square metal box. The box is formed by four thick, black rectangular bars joined at the corners, creating a hollow square structure. The rendering is set against a light blue and white gradient background. A small, multi-colored logo is visible in the bottom-left corner of the image.
Marco de Caucho	 A 3D perspective rendering of a black square rubber frame. The frame consists of four thick, black rectangular bars joined at the corners. The rendering is set against a light blue and white gradient background. A small, multi-colored logo is visible in the bottom-left corner of the image.
Lámina de caucho	 A 3D perspective rendering of a black square rubber sheet. The sheet is a solid, flat black square. The rendering is set against a light blue and white gradient background. A small, multi-colored logo is visible in the bottom-left corner of the image.

Nota. Esta tabla demuestra los componentes modelados para lograr el desarrollo del análisis CAE para la determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero de masa definida.

Figura 40

Ensamble de soporte



Nota. La figura manifiesta al soporte de ensayo en su forma ensamblada en el software CAE.

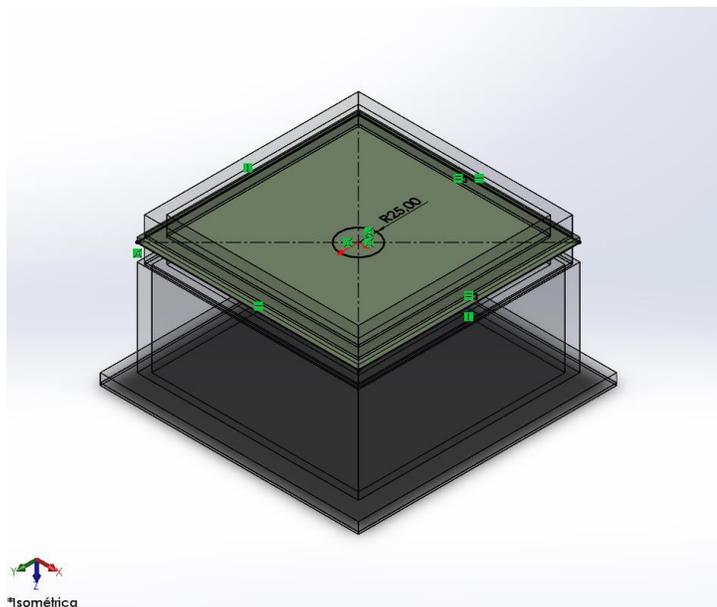
b. Simulación para análisis dinámico del vidrio de seguridad de uso automotriz laminado y templado para la determinación a la resistencia al impacto con esfera de acero

Para establecer el análisis dinámico de la determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero en el vidrio de seguridad de uso automotriz templado y laminado se utiliza el apoyo de software CAE, el cual permite identificar resultados de estudio productos del impacto en la probeta de ensayo.

Como primer procedimiento se requiere impactar muestras a ensayar en un punto prescrito véase la figura 41, factor que se encuentra sustentado en la norma técnica ecuatoriana INEN 1723.

Figura 41

Punto de impacto prescrito



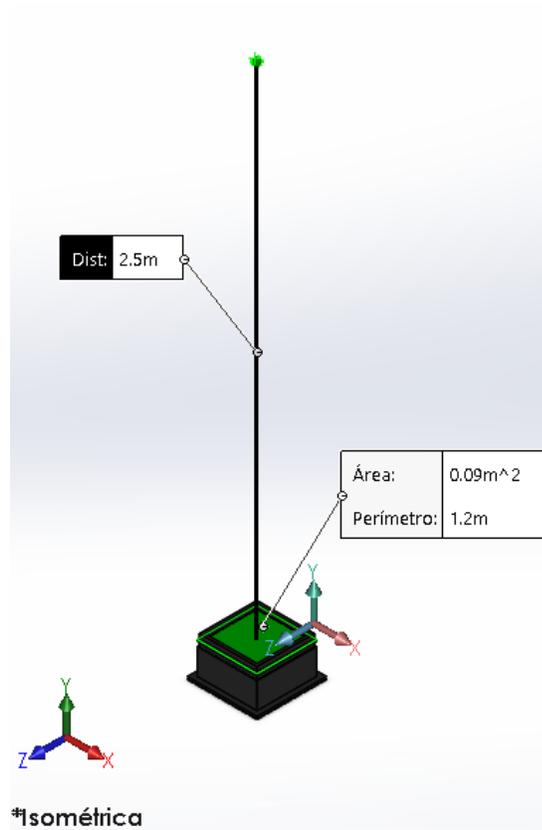
Nota. La figura demuestra al punto prescrito de impacto sobre la superficie de la probeta de ensayo.

El método de ensayo consiste en dejar caer desde una altura determinada, sin que se dé ningún impulso, una esfera sólida de acero de masa definida para los diferentes tipos de vidrios: laminado y templado, dentro de un círculo de 25 mm de radio medidos desde el centro de la probeta o muestra de ensayo. (NTE INEN 1723, 2011)

Se procede a realizar un plano equidistante a la superficie de impacto integrada en la probeta de ensayo. Dicho plano relacionará una posición tangente a la esfera de acero con el fin de generar una altura de caída de la misma hacia la superficie de impacto de la probeta de ensayo, Véase figura 42 y 43. Distancia que es expresada y normalizada en la tabla 1 de espesores nominales de la norma técnica ecuatoriana INEN 1723.

Figura 42

Altura de caída esfera 225 g para probeta templada

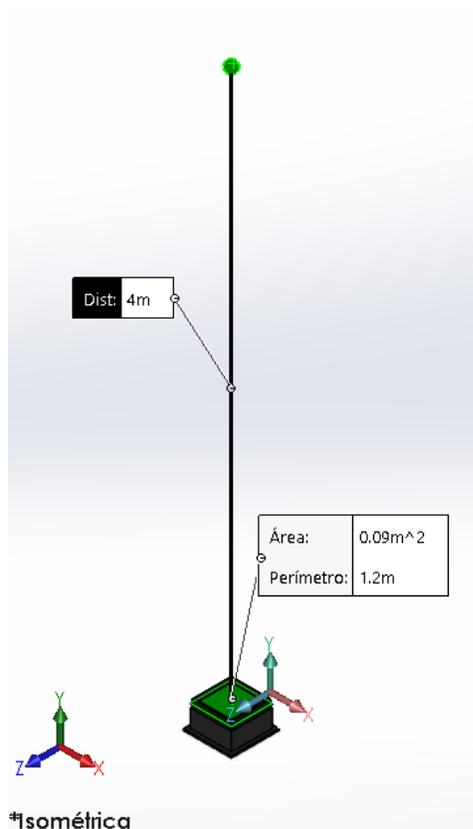


Nota. La figura demuestra en vista isométrica la altura de caída de la esfera de masa definida de 225 g, el ensamble del soporte y la probeta de ensayo templada. Altura prescrita para la determinación de la resistencia que tiene la probeta de ensayo al recibir el impacto de la esfera de acero.

Procedimiento que simula la aproximación de un objeto desde la parte exterior del automotor hacia el interior, impactando las ventanas laterales o la luneta del mismo.

Figura 43

Altura de caída esfera 2.25 Kg para probeta laminada

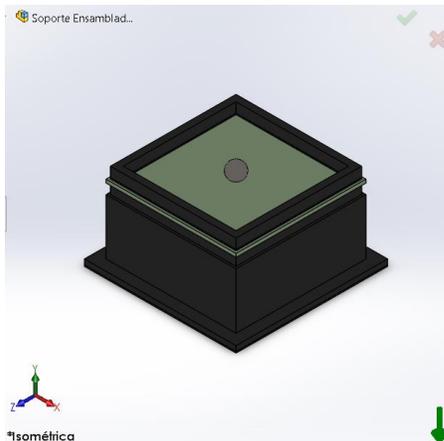


Nota. La figura manifiesta en vista isométrica la altura de caída de la esfera de masa definida de 2,25 Kg, el ensamble del soporte y la probeta de ensayo laminada. Altura prescrita para la determinación de la resistencia que tiene la probeta de ensayo al recibir el impacto de la esfera de acero. Procedimiento que simula la aproximación de un objeto desde la parte interior del automotor hacia el exterior, impactando con el parabrisas del mismo.

Se aplica como fuerza actuante en el análisis dinámico a la gravedad, lo cual genera una caída libre de la esfera de acero de masa de 225 gr y como último componente de relación es el contacto entre la probeta de ensayo y la esfera lo cual simula y genera el impacto. Véase figura 44 y 45.

Figura 44

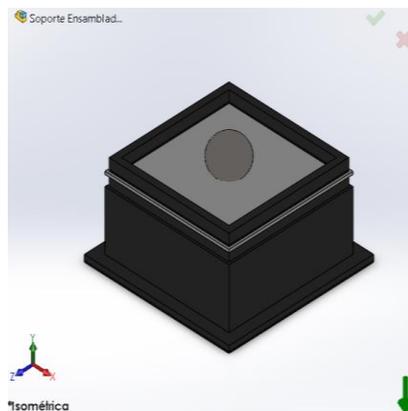
Fuerza actuante gravedad probeta templada



Nota. La figura muestra la vista isométrica del ensamble del soporte con la probeta templada, y la acción de la fuerza de gravedad denotada de color verde, logrando que la esfera de 225 g impacte sobre la superficie de la probeta de ensayo.

Figura 45

Fuerza actuante gravedad probeta laminada

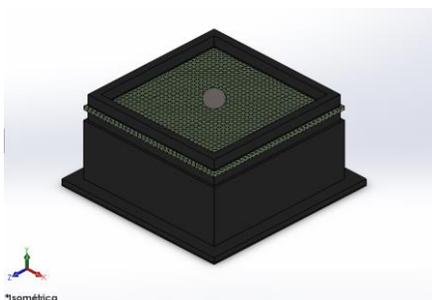


Nota. La figura muestra la vista isométrica del ensamble del soporte con la probeta laminada, y la acción de la fuerza de gravedad denotada de color verde, logrando que la esfera de 2,25 Kg impacte sobre la superficie de la probeta de ensayo.

Finalizando el procedimiento de simulado se encuentra el mallado de los componentes, el software CAE estima un tamaño de elemento global para la simulación y lo realiza tomando en cuenta el volumen del componente a analizar, en dicho caso el volumen de la probeta de ensayo laminada. Véase figura 46 y 47.

Figura 46

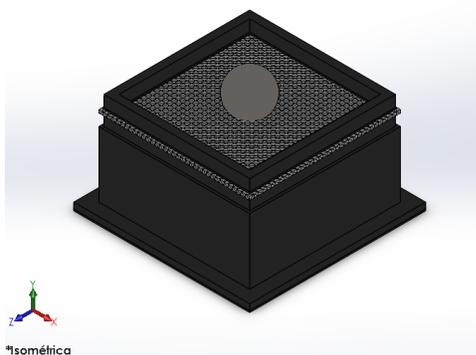
Mallado de probeta de ensayo templada



Nota. La figura muestra el mallado de la probeta templada, procedimiento que genera áreas de análisis tetraédricas de forma estándar y con curvatura, para un resultado de mayor detalle.

Figura 47

Mallado de probeta de ensayo laminada



Nota. La figura muestra el mallado de la probeta laminada, procedimiento que genera áreas de análisis tetraédricas de forma estándar y con curvatura, para un resultado de mayor detalle.

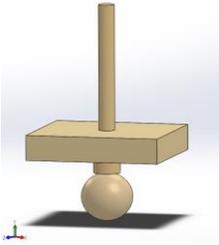
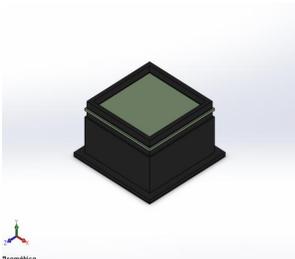
4.1.3. Simulación de la determinación de la resistencia al impacto NTE INEN 1724

a. Modelado de los componentes

Para el modelado de los componentes en el software CAE que abarcan el ensayo de la determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza (ensayo maniquí), se utilizó la norma técnica ecuatoriana INEN 1724, en la cual se encuentra detallado las especificaciones de los componentes.

Tabla 20

Modelado de componentes para el ensayo de impacto

Componente	Gráfico
Maniquí	
Soporte	

Nota. Esta tabla demuestra el modelado de los componentes necesarios para el desarrollo de la determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza, ensayo de maniquí en el análisis CAE.

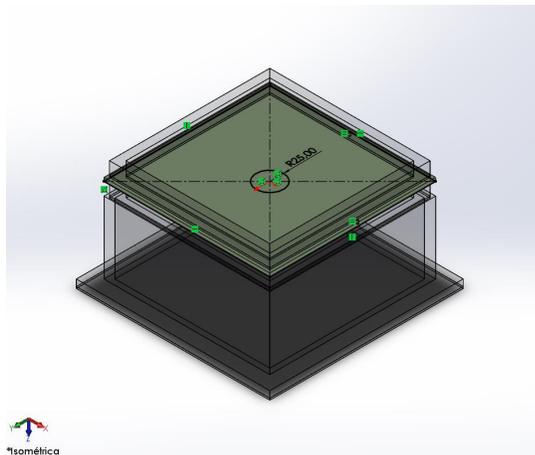
b. Simulación para el análisis dinámico del vidrio de seguridad de uso automotriz laminado para la determinación de la resistencia simulado de la cabeza (ensayo maniquí)

Para determinar el análisis dinámico de la determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero en el vidrio de seguridad de uso automotriz laminado se utiliza el apoyo de software CAE, el cual permite identificar resultados de estudio producidos por impacto en la probeta de ensayo.

Como primer procedimiento se requiere impactar muestras a ensayar en un punto prescrito, véase la figura 48, factor que se encuentra sustentado en la norma técnica ecuatoriana INEN 1724.

Figura 48

Punto de impacto prescrito



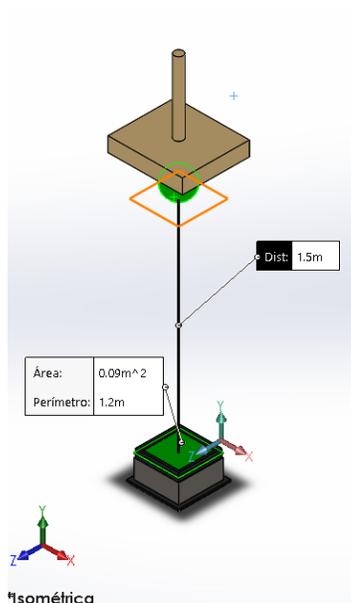
Nota. La figura muestra el punto prescrito de impacto, ubicado en el centro geométrico de la probeta, lugar que recibirá el impacto de la cabeza del cuerpo del maniquí.

El método de ensayo consiste en dejar caer de cabeza un maniquí, desde una altura determinada, sin que se dé ningún impulso, dentro de un círculo de 25 mm de radio, medidos desde el centro de la probeta o muestra de ensayo. (NTE INEN 1724, 2011)

Se procedió a realizar un plano equidistante a la superficie de impacto integrada en la probeta de ensayo. Dicho plano relacionará una posición tangente a la cabeza esférica sólida hecha de madera dura con el fin de generar una altura de caída de la misma hacia la superficie de impacto de la probeta de ensayo, véase figura 49. Distancia que es expresada y normalizada en la norma técnica ecuatoriana INEN 1724, punto número 6.

Figura 49

Altura de caída Maniquí

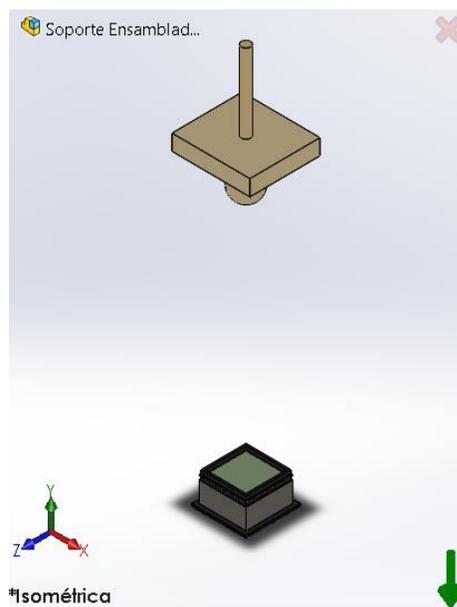


Nota. La figura manifiesta la altura de caída del maniquí sobre la probeta de ensayo laminada, altura media desde la superficie superior de la probeta y la superficie inferior de la cabeza del maniquí, 1.5 m de distancia.

Se aplica como fuerza actuante en el análisis dinámico a la gravedad, lo cual genera una caída libre del maniquí y como último componente de relación es el contacto entre la probeta de ensayo y la esfera lo cual simula y genera el impacto. Véase figura 50.

Figura 50

Fuerza actuante de gravedad

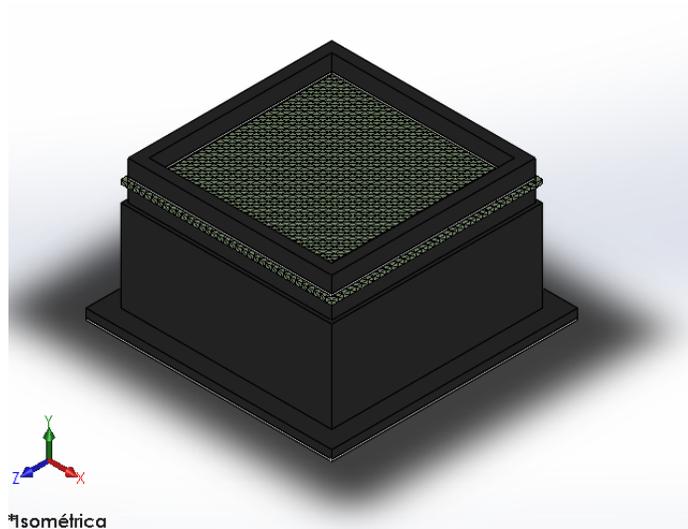


Nota. La figura muestra la vista isométrica de los componentes modelados: soporte, probeta laminada y el maniquí. La fuerza actuante de gravedad se encuentra denotada por la flecha de color verde, se encuentra en el eje y es perpendicular al plano xz.

Finalizando el procedimiento de simulado se encuentra el mallado de los componentes, el software CAE estima un tamaño de elemento global para la simulación y lo realiza tomando en cuenta el volumen del componente que se analiza, en dicho caso el volumen de la probeta de ensayo laminada. Véase figura 51.

Figura 51

Mallado de probeta de ensayo laminada



Nota. La figura muestra al ensamble del soporte junto con la probeta laminada, misma que se encuentra atravesada por el proceso de mallado: simple y con curvaturas. El tipo de mallado es mixto debido a la precisión que existe para el modelado de la probeta otorgando así un análisis CAE de precisión por encima del estándar.

Capítulo V

5. Análisis de resultados

Resultados obtenidos en los ensayos realizados a vidrios templados y laminados fabricados en un proceso normal de producción en la empresa CRISTALAUTOS, dedicada a la comercialización de vidrio de seguridad de uso automotriz.

Realizando este análisis se determina los resultados positivos y negativos de las probetas sometidas a ensayos de fragmentación, impacto con esfera de acero e impacto con maniquí para la identificación y homologación de las muestras ensayadas

5.1. Análisis de resultados de ensayos

5.1.1. *Ensayo de la determinación de la fragmentación*

De la información previamente presentada se obtuvieron el número de fragmentos encontrados posterior al ensayo de fragmentación, basados en los requerimientos de la normativa y utilizando una fuerza de golpe igual en todos los casos. En la figura 52 se observa la representación gráfica de este análisis.

El número de fragmentos encontrados en un área de 50 mm x 50 mm nos permite analizar el comportamiento de la probeta de ensayo, ya que al tener mayor número de fragmentos menor es su dimensión y la probeta de ensayo incrementa la seguridad.

Figura 52

Análisis comparativo de la determinación de la fragmentación



Nota. La figura demuestra el resultado de la determinación de la fragmentación sobre un diagrama de barras, indicando así al grupo de seis probetas y en cada probeta el número de fragmentos contabilizados.

Al terminar con el conteo de fragmentos encontrados se determina que las probetas 1, 2, 3, 5, 6 tienen un resultado positivo basado en las especificaciones de la norma NTE INEN 1669, la cual establece que los fragmentos que se encuentran dentro del cuadrado deben estar entre 40 y 400 unidades.

Por otro lado, la cuarta probeta nos arroja un resultado negativo ya que los fragmentos encontrados son menores a las especificaciones de la norma NTE INEN 1669.

Tomando en cuenta las indicaciones para validar los ensayos, se determina que al tener un solo resultado negativo de entre 6 probetas y 5 resultados satisfactorios realizadas. El vidrio templado cumple las especificaciones para ser homologado como vidrio de seguridad automotriz.

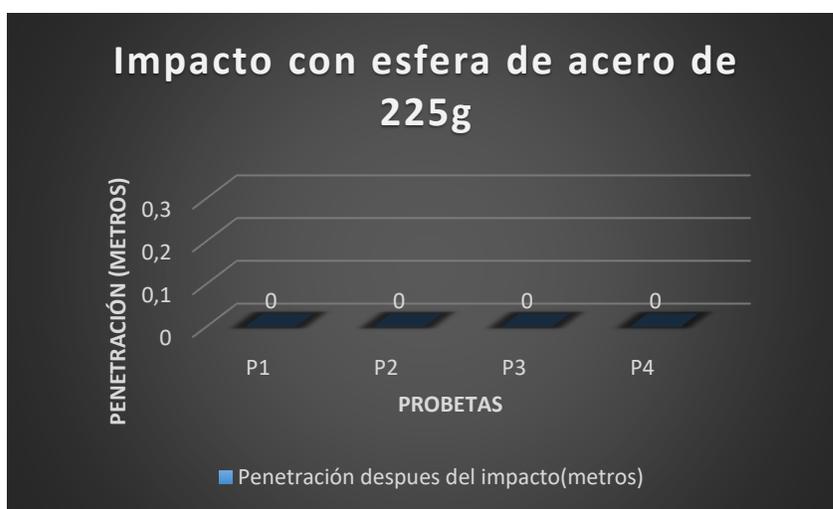
5.1.2. Determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero

Vidrio de seguridad templado

La figura 53 manifiesta un gráfico de barras de la penetración que sufren las probetas luego de ser impactadas con la esfera de 225 g.

Figura 53

Análisis de impacto con esfera de acero de 225 g



Nota. La figura demuestra la penetración de la esfera de acero de 225g sobre la superficie de impacto de cada una de las probetas de ensayo templadas.

Cada una de las probetas de vidrio de seguridad templado no presentaron penetración dentro de los 5 segundos después del impacto.

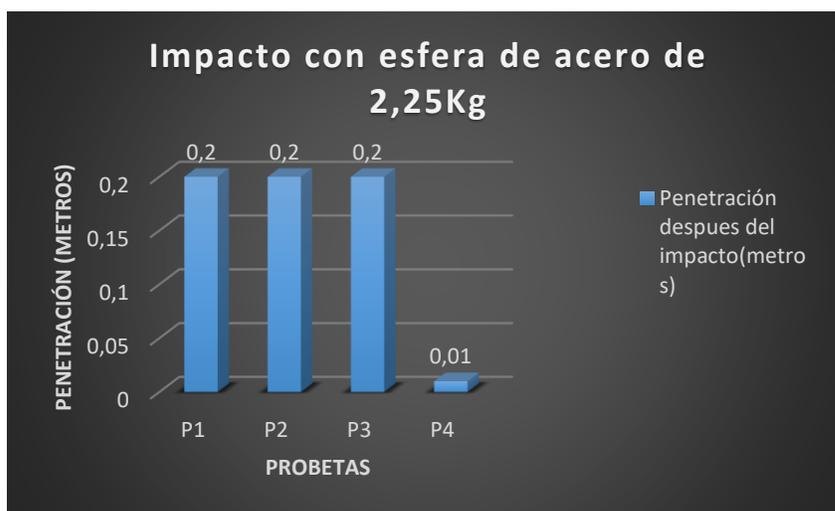
Tomando en cuenta las indicaciones para validar los ensayos, se determina que al tener 4 resultados positivos el vidrio templado cumple con las especificaciones para ser homologado como vidrio de seguridad automotriz según lo establece la norma INEN 1669.

Vidrio de seguridad laminado

En la figura 54 se puede apreciar la penetración que tuvieron las probetas después del impacto en metros.

Figura 54

Penetración después del impacto con esfera de acero 2.25 Kg



Nota. La figura demuestra la penetración de la esfera de acero de 2.25 Kg. sobre la superficie de impacto de cada una de las probetas de ensayo laminadas.

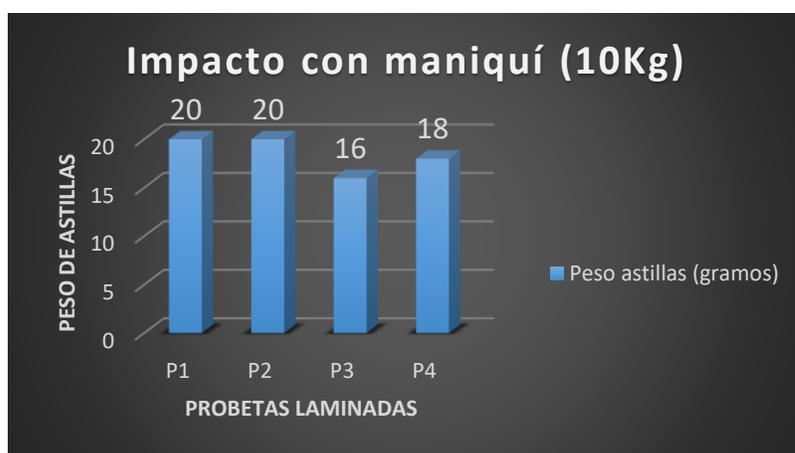
En los tres primeros ensayos hubo una penetración inmediata de la esfera de acero con respecto a la probeta, es decir la esfera traspasó el vidrio y se instaló en el fondo de la caja metálica que tiene una altura de 20 cm con respecto a la ubicación de la probeta. De tal manera se analiza que estos ensayos no cumplen con los requerimientos de la norma INEN 1669 dando un resultado negativo a los ensayos. Por otro lado, en el cuarto ensayo se produce penetración de 1 cm después de cinco segundos del impacto, la cual es una medida aceptable ya que no traspasa completamente el vidrio

Tomando en cuenta las indicaciones para validar los ensayos, se determina que al tener tres resultados negativos el vidrio laminado no cumple con las especificaciones para ser homologado como vidrio de seguridad automotriz según lo establece la norma INEN 1669.

5.1.3. Determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza (ensayo maniquí)

Figura 55

Peso del grupo de astillas desprendidas en gramos



Nota. La figura muestra un gráfico de barras expresando el peso de las astillas desprendidas de cada una de las probetas de ensayo laminadas, después de haber sido impactadas por el maniquí.

Las astillas desprendidas dentro del grupo de cuatro probetas sometidas a impacto no superan los 20 gramos establecidos por la normativa INEN 1669, siendo 20 gramos el resultado más alto y 16 gramos el menor.

Tomando en cuenta las indicaciones para validar los ensayos, se determina que al tener 4 resultados positivos el vidrio laminado cumple con las especificaciones para ser homologado como vidrio de seguridad automotriz según lo establece la norma INEN 1669.

Figura 56

Distancia de rajaduras circulares alrededor del punto de impacto



Nota. La figura manifiesta un gráfico de barras que expresa la distancia de rajaduras existente alrededor del punto de impacto, formadas por el impacto del maniquí sobre la superficie de cada una de las probetas laminadas.

En el grupo de 4 probetas sometidas a impacto de maniquí se produjeron rajaduras circulares en la probeta que se forman desde el centro, en ningún caso ha superado las especificaciones establecidas por la normativa INEN 1669

Dichos valores se encuentran entre 6.5 cm el mayor y la menor con 5.5 cm, estos valores son elevados, pero no superan las especificaciones por lo tanto pueden ser aptas para su homologación.

5.2. Análisis de resultados CAE

5.2.1. Análisis de resultados ensayo de la determinación de la fragmentación

Los resultados obtenidos de la simulación estática para la determinación de la fragmentación expresan cuatro efectos: tensiones, desplazamientos, deformaciones unitarias y

factor de seguridad; las cuales son producto del análisis estático generado por la fuerza puntual ejercida sobre la probeta de ensayo.

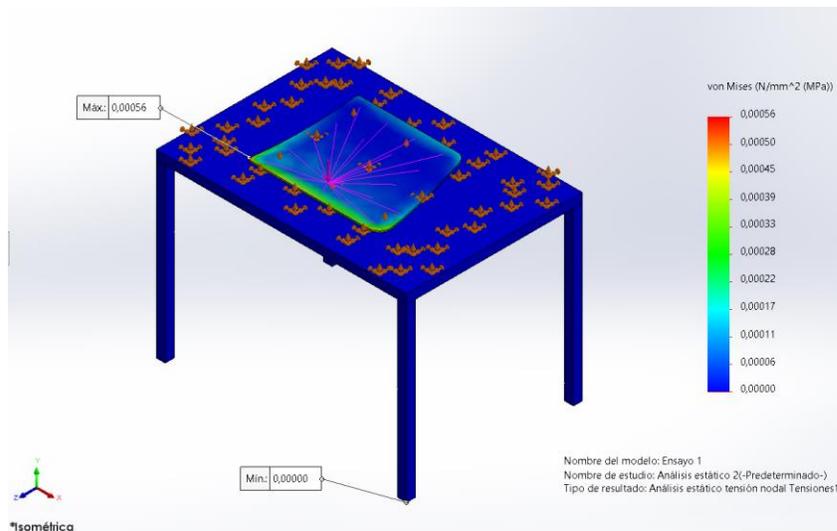
Para el análisis cabe mencionar que el material compartido por el software CAE clasifica en materiales dúctiles y frágiles. Siendo las probetas de ensayo descritas como material frágil, por lo que hará que la deformación del diseño y la deformación permisible resulte en fractura mas no como fallo.

- **Tensiones (deformación de la probeta de ensayo)**

En la figura 57 se puede observar el comportamiento de las tensiones, el color rojo y amarillo marcan las zonas de la probeta de ensayo en la que ha sufrido mayor tensión por la acción de la carga puntual, zonas cruciales de deformación y fracturas. La zona marcada por color verde expresa una tensión relativa y equilibrada a la fuerza de carga puntual aplicada, llegándose a interpretar como zona considerable de deformación y fractura. Mientras que los colores celeste y azul indican que las tensiones son relativamente menores a las anteriores, interpretando que su deformación y fractura en la zona no es considerable.

Figura 57

Resultado del análisis de tensiones Von Mises



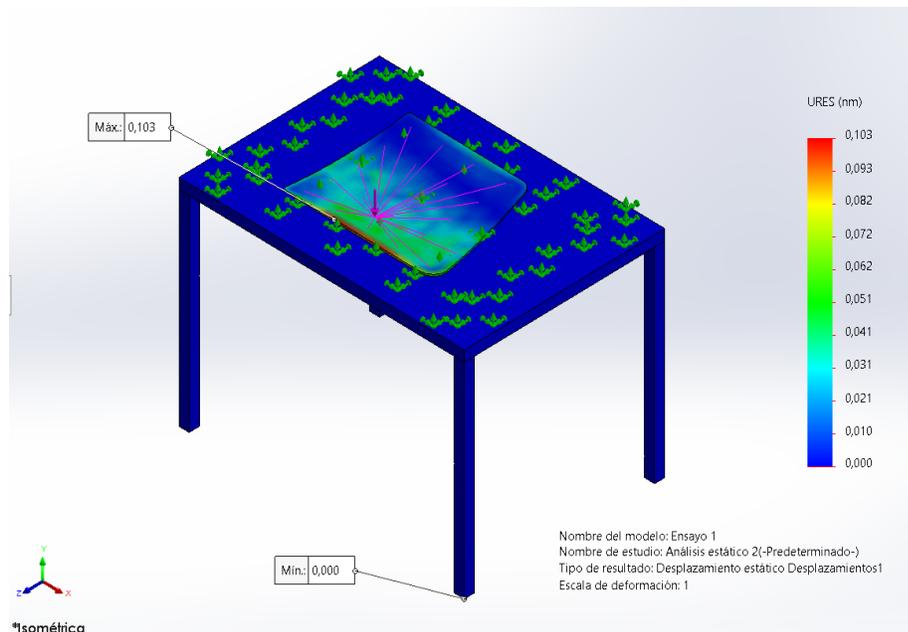
Nota. La figura denota el resultado de tensiones sobre la superficie de impacto de la probeta templada. La tensión máxima generada por la fuerza de aplicación es 0.0056 MPa.

- **Desplazamientos**

La figura 58, muestra el comportamiento de la probeta de ensayo en su desplazamiento frente a la carga puntual, interpretando que en la zona marcada de color rojo existe mayor desplazamiento y va disminuyendo el valor de desplazamiento hasta ser considerable en la zona marcada de color verde, posteriormente en las zonas marcadas por color celeste y azul no existe consideración de desplazamiento debido a la lejanía de la fuerza puntual. Por lo tanto las zonas marcadas de celeste y azul existe fracturas de mayor peso y dimensión.

Figura 58

Resultado de análisis de desplazamiento en el Software CAE



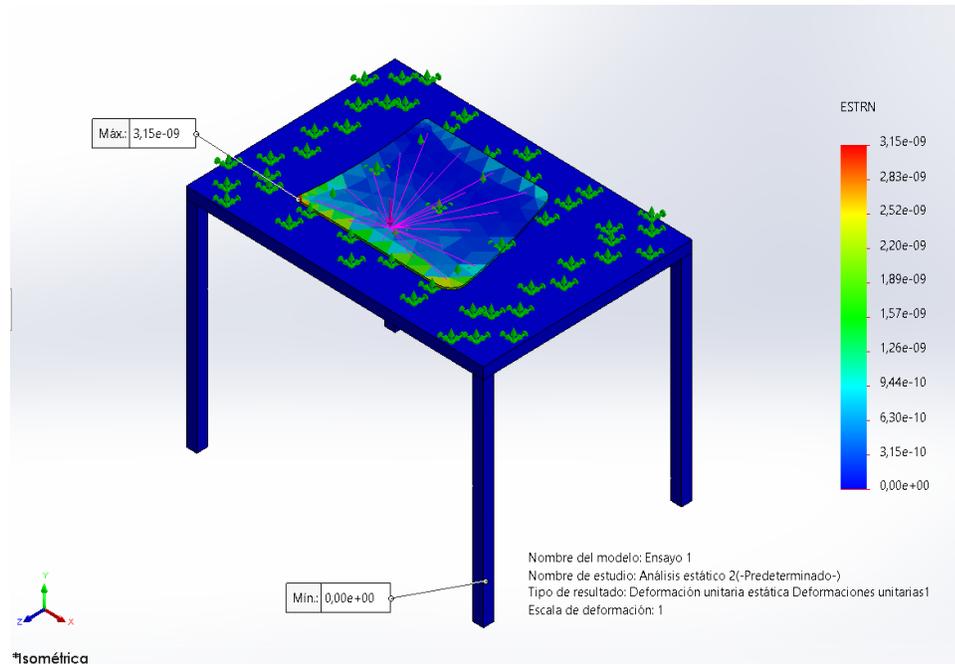
Nota. La figura muestra el resultado del desplazamiento que ha sufrido la probeta de ensayo templada, producto de la fuerza aplicada sobre el punto de impacto prescrito. Llegándose a desplazar una distancia superior a 0.103 mm.

- **Deformaciones unitarias**

En la figura 59, se observa la deformación existente en la probeta marcadas de color verde y amarillo, las cuales no volverán a recuperar su forma inicial. Por otro lado las zonas de color celeste y azul expresan unas deformaciones mínimas y no considerables.

Figura 59

Resultado del análisis de deformaciones unitarias en Software CAE



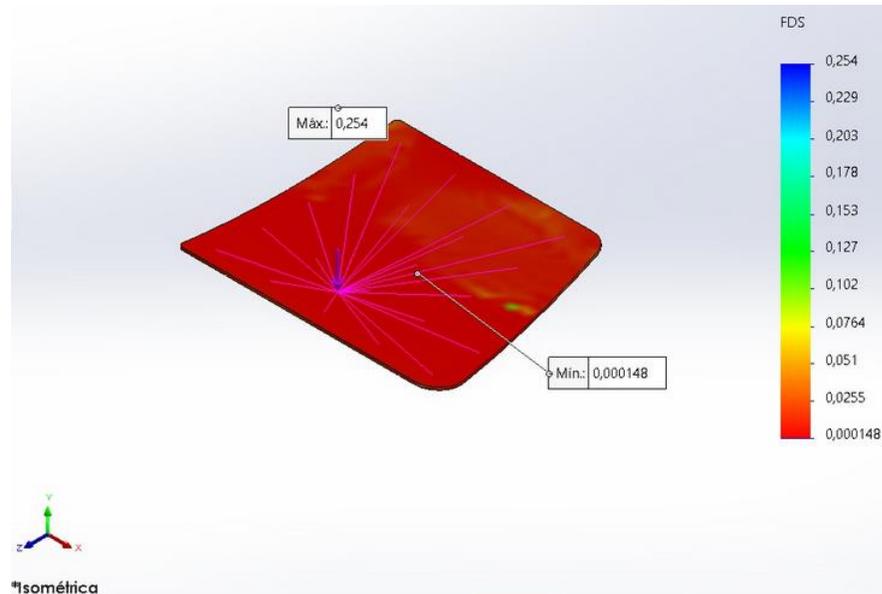
Nota. La figura muestra el resultado de la deformación unitaria que tiene la probeta de ensayo templada frente a la fuerza de impacto que ejerce sobre su superficie. La deformación máxima es 3.15×10^{-9} con respecto a la inicial.

- **Factor de seguridad**

Expresa el factor más seguro que resiste la probeta de ensayo debido a la fuerza puntual de acción en una escala de 0 a 1. En la figura 60, el color azul indica que la probeta de ensayo resiste en 1 a la fractura por la fuerza puntual de acción, el color rojo expresa que no habrá resistencia en la zona lo que quiere decir que existe deformación y fractura.

Figura 60

Resultado del análisis de Factor de Seguridad en el Software CAE



Nota. La figura muestra el resultado de análisis del factor de seguridad que soporta la probeta de ensayo frente a la fuerza de aplicación, generado por el impacto sobre la misma. Siendo el factor menos seguro de 0.254.

5.2.2. Análisis de resultados ensayo de la determinación NTE INEN 1723

Los resultados obtenidos de la simulación para la determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero muestran: tensiones, desplazamientos y factor de seguridad; las cuales son producto del análisis dinámico generado por la caída libre de la esfera de acero desde una altura determinada y su impacto sobre la probeta de ensayo laminada y templada.

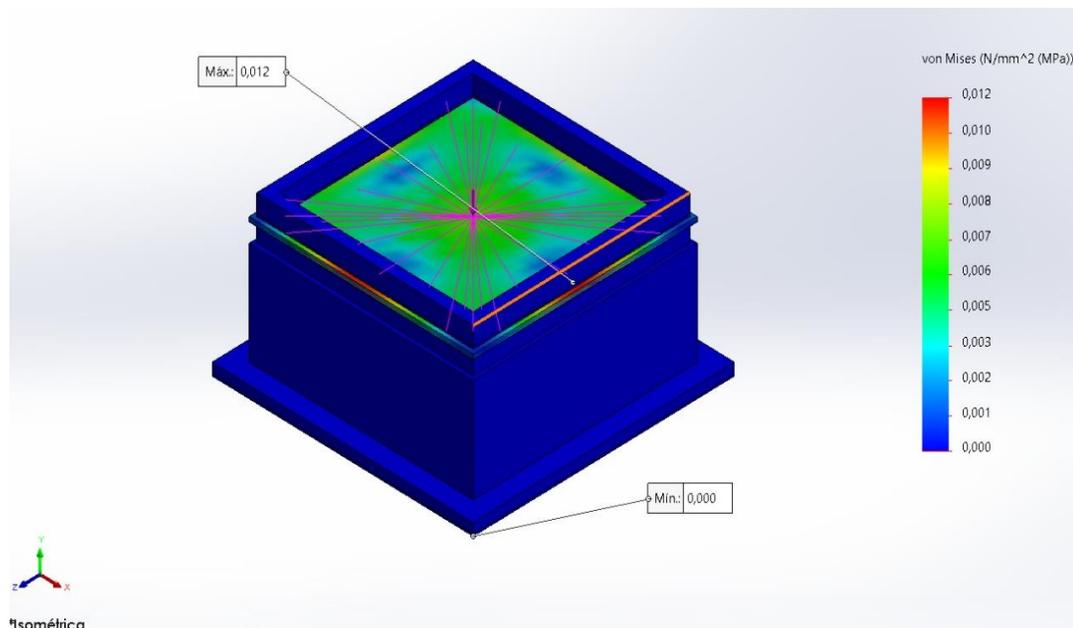
a. Análisis de resultados de la probeta de ensayo templada

- **Tensiones (deformación de la probeta de ensayo)**

En la figura 61 se muestra el comportamiento de las tensiones, el color rojo y amarillo expresan las zonas de la probeta de ensayo templada en la que ha sufrido mayor tensión por la acción del impacto de la esfera de acero. La zona marcada por color verde indica la rigidez que la probeta de ensayo templada soporta debido a su resistencia al impacto, llegándose a interpretar como una zona en la que se considera la deformación y fractura. Mientras que los colores celeste y azul indican que las tensiones en la zona no generan deformación o fractura.

Figura 61

Tensiones Von Mises - probeta templada



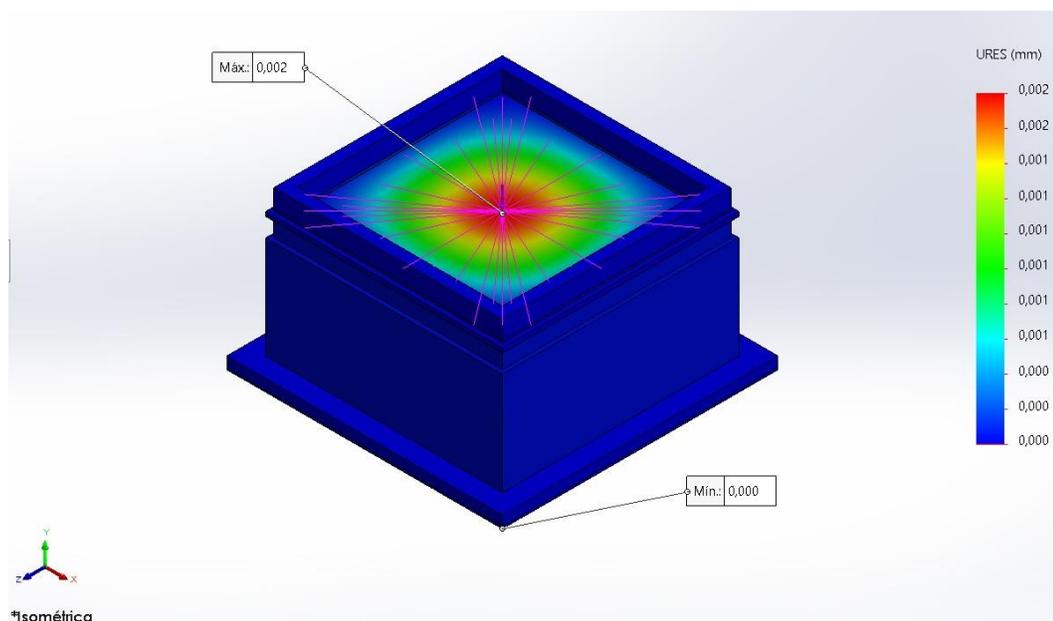
Nota. La figura muestra el resultado de tensión de la probeta templada, debido al impacto que recibe sobre su superficie de la esfera de acero de 225 g. Se visualiza una tensión máxima de 0.012 MPa.

- **Desplazamientos**

En la figura 62, se observa las zonas marcadas de color rojo como la existencia de mayor desplazamiento y considerándose como lugar en donde la probeta sufre fracturas considerables de mínimas dimensiones debido al impacto. Posteriormente las zonas amarillas y verde, poseen mayor resistencia al impacto y las zonas de color celeste y azul muestran gran resistencia al impacto

Figura 62

Resultado de desplazamiento - probeta templada



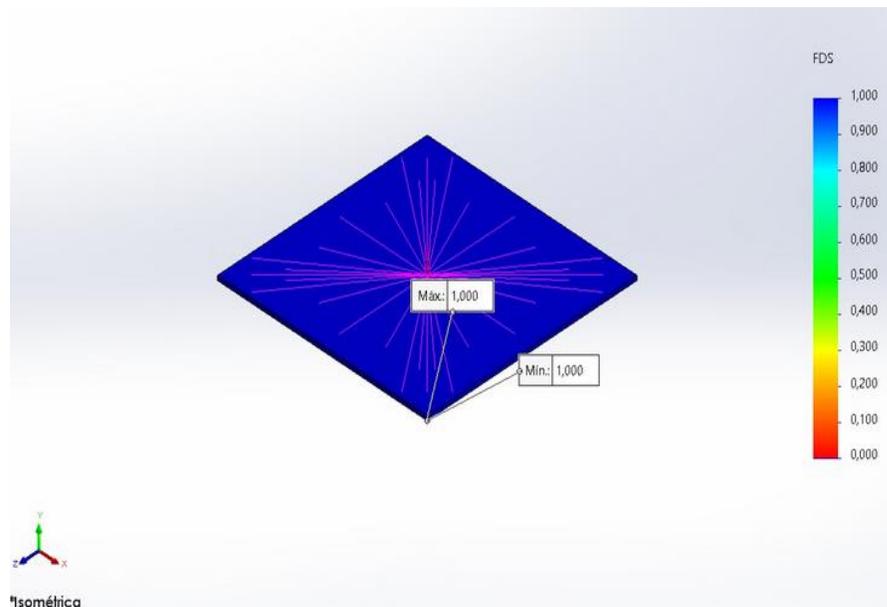
Nota. La figura muestra el resultado del desplazamiento que sufre la probeta templada debido al impacto de la esfera de acero de 225 g, con un valor de 0.002 mm

- **Factor de seguridad**

En la figura 63, la zona marcada por color verde indica que la probeta de ensayo ofrece resistencia al impacto en valor de 1 frente a un posible resultado de fractura, el color rojo expresa que no habrá resistencia en la zona, llegándose a interpretar como zona considerada de deformación y fractura debido a la resistencia que ofrece el marco al impacto de la esfera de acero.

Figura 63

Resultado de Factor de seguridad – probeta templada



Nota. La figura muestra el resultado de análisis del factor más seguro que soporta la probeta de ensayo templada, visualizando un factor seguro de 1.

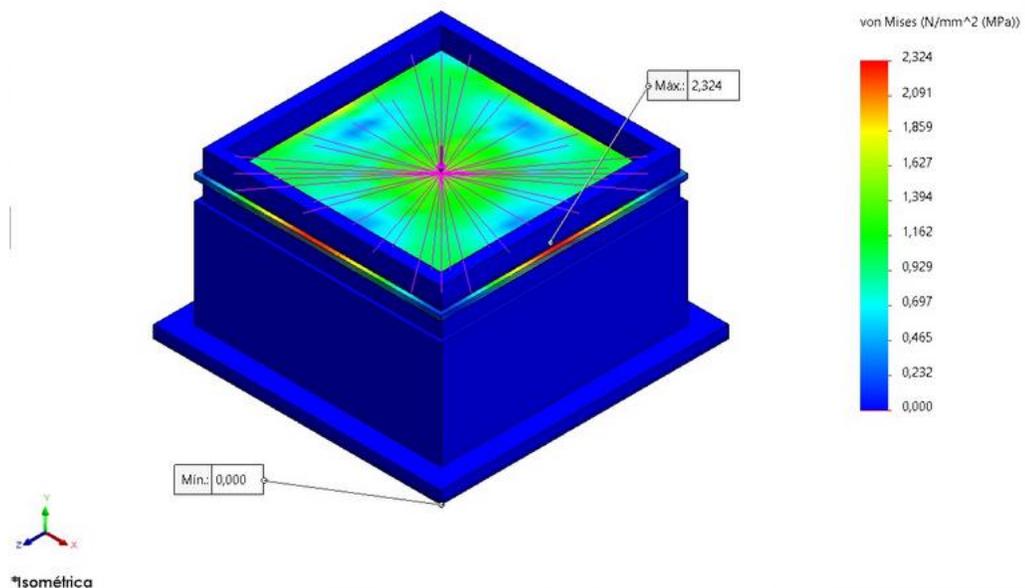
b. Análisis de resultados de la probeta de ensayo laminada

- **Tensiones (deformación de la probeta de ensayo)**

En la figura 64, el color rojo y amarillo indican las zonas de la probeta de ensayo laminada que han sufrido mayor tensión por el impacto. La zona marcada por color verde indica la rigidez que la probeta de ensayo templada soporta debido a su resistencia al impacto. Mientras que los colores celeste y azul indican que las tensiones pueden generar deformación y fractura de mayor dimensión y peso.

Figura 64

Resultado de tensiones Von Mises - probeta laminada



Nota. La figura muestra el resultado de tensión, producto del impacto que recibe la probeta laminada por la esfera de acero de 2,25 Kg. Con un valor de 2.324 MPa.

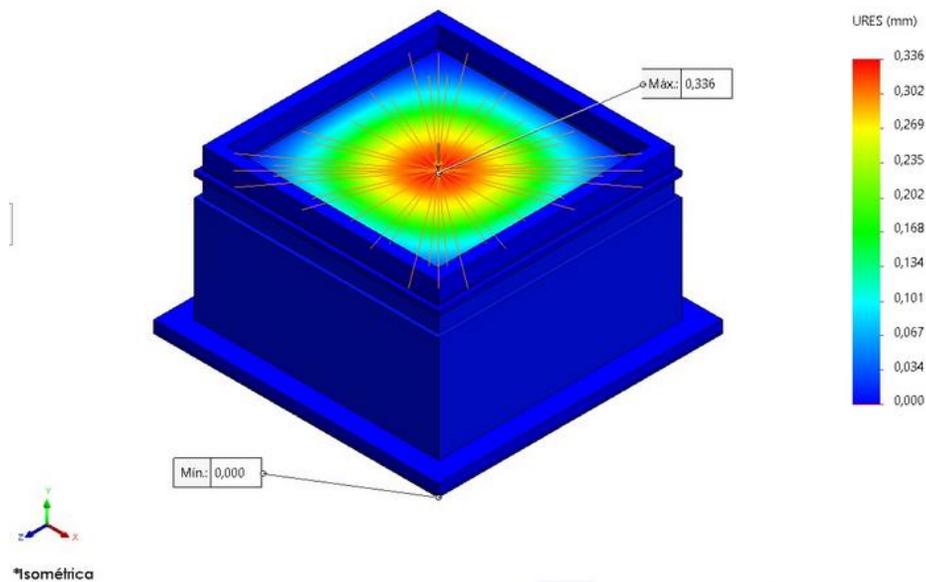
- **Desplazamientos**

En la figura 65, las zonas marcadas de color rojo muestran existencia de mayor desplazamiento y fracturas considerables de mínimas dimensiones debido al impacto. Posteriormente las zonas amarillas y verde, con una mayor resistencia al impacto, es decir, la

fractura de la probeta aumenta en dimensión y peso. Las zonas de color celeste y azul muestran gran resistencia al impacto.

Figura 65

Resultado de desplazamiento - probeta laminada



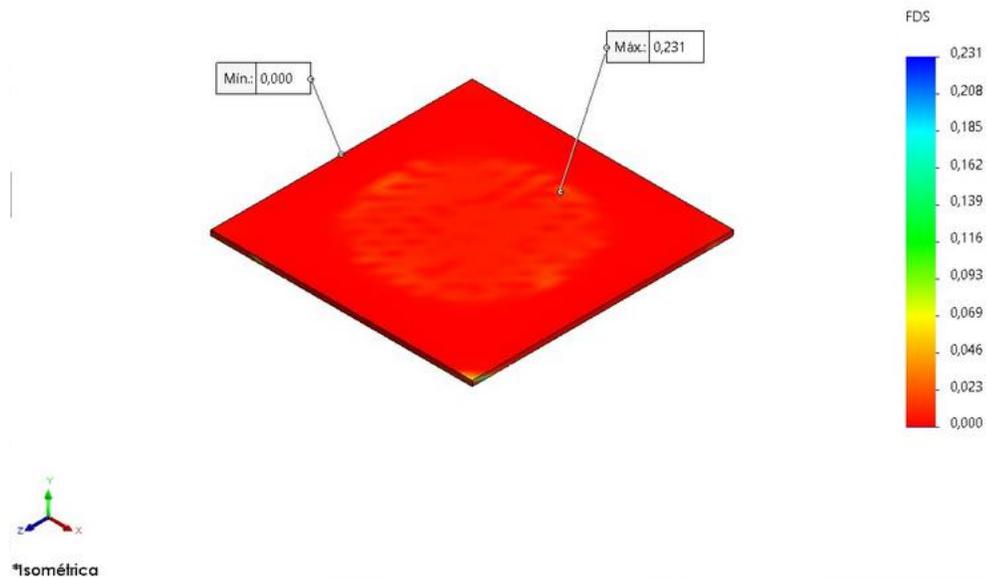
Nota. La figura muestra el resultado del análisis de desplazamiento que sufre la probeta de ensayo laminada frente al impacto de la esfera de 2,25 Kg, desplazándose más de 0.336 mm a lo largo de su superficie.

- **Factor de seguridad**

En la figura 66, la zona marcada por color verde amarillenta indica que la probeta de ensayo ofrece un factor de seguridad mínimo, el color rojo expresa que no habrá resistencia en la zona, llegándose a interpretar como zona de deformación y fractura

Figura 66

Resultado de Factor de seguridad – probeta laminada



Nota. La figura muestra el resultado del factor de seguridad del vidrio laminado, siendo cero y no soporta el impacto de la esfera de 2.25 Kg,

5.2.3. Análisis de resultados ensayo de la determinación NTE INEN 1724

Los resultados obtenidos de la simulación para la determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza (ensayo del maniquí) nos permitieron analizar las tensiones, desplazamientos y factor de seguridad; las cuales son producto del análisis dinámico generado por la caída libre del maniquí desde una altura determinada y su impacto sobre la probeta de ensayo laminada.

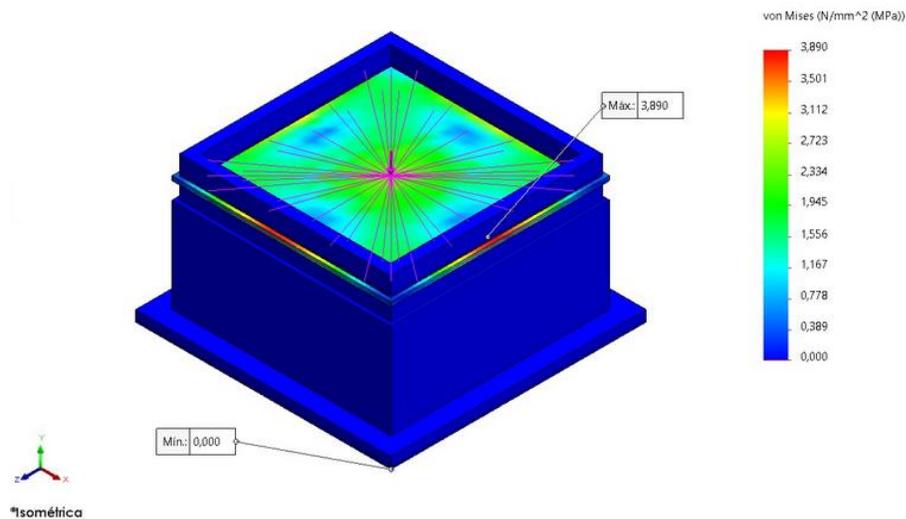
- **Tensiones (deformación de la probeta de ensayo)**

En la figura 67 se observa que en la zona verde la probeta de ensayo laminada soporta el impacto de la cabeza del maniquí sin presentar excesivas y notorias deformaciones de la misma.

Mientras que los colores celeste y azul indican que las tensiones no son expresivas a simple vista, llegándose a interpretar una deformación y fractura en la zona no considerable.

Figura 67

Resultado del análisis de tensión – Ensayo Maniquí



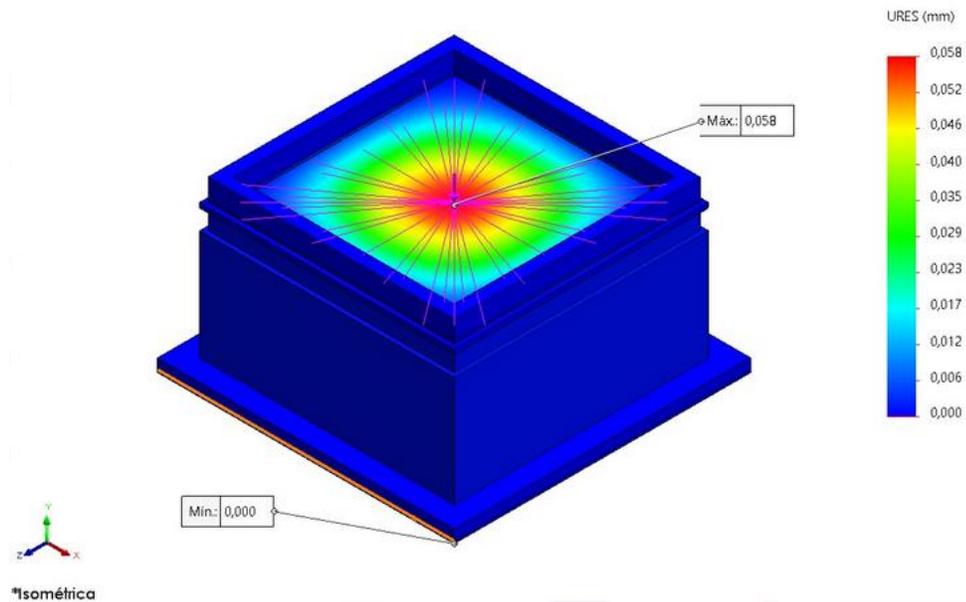
Nota. La figura muestra el resultado del análisis de tensión que sufre la probeta de ensayo, se destaca como tensión máxima aquella denotada de color rojo y supera 3,89 MPa.

- **Desplazamientos**

En la figura 68, existe un desplazamiento excesivo y magnitud que la probeta de ensayo laminada ha sufrido por el impacto del maniquí marcado por el color rojo, además la zona en color amarillo y verde nos muestra desplazamientos con posibles fracturas. Los colores celeste y azul expresan los mínimos y no considerables desplazamientos de la probeta.

Figura 68

Resultado del análisis de desplazamiento Ensayo Maniquí



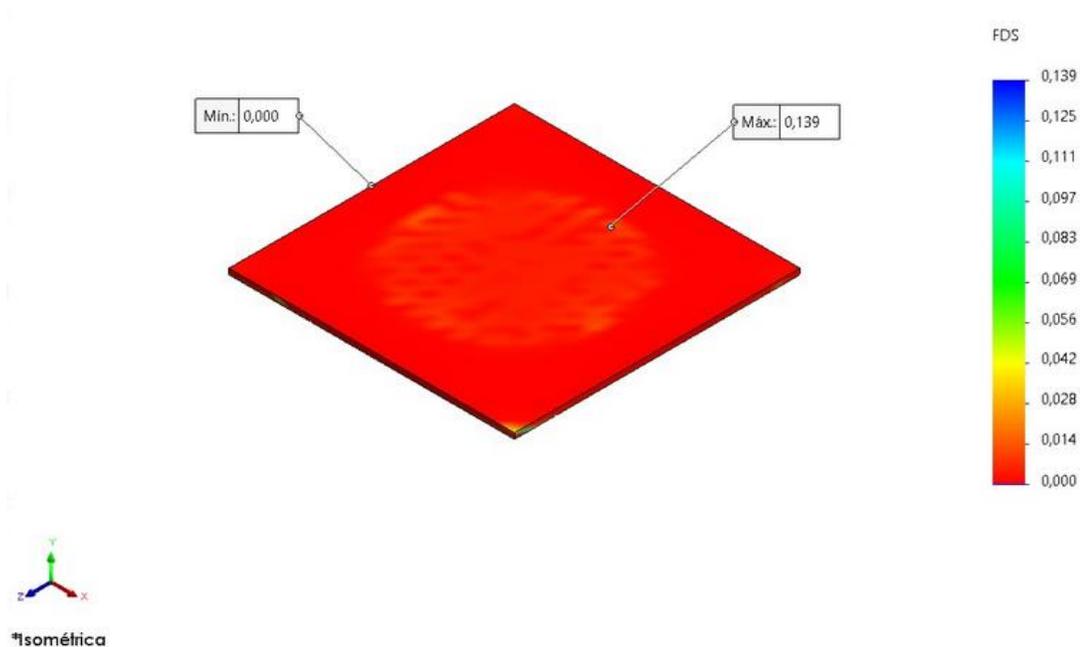
Nota. La figura el desplazamiento de 0.058mm que sufre la probeta de ensayo laminada debido al impacto del maniquí.

- **Factor de seguridad**

En la figura 69, el color rojo demuestra que la probeta de ensayo resiste en cero al impacto, donde uno es mostrado por el color azul. Dichas marcas interpretan que no existe resistencia en la zona, lo que significa que existe deformación y fractura de la probeta de ensayo laminada.

Figura 69

Resultado de Factor de seguridad Ensayo Maniquí



Nota. La figura muestra el factor de seguridad en la probeta laminada frente al impacto que recibe del maniquí cuyo valor es de 0.

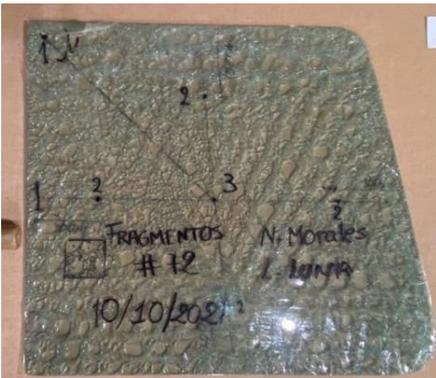
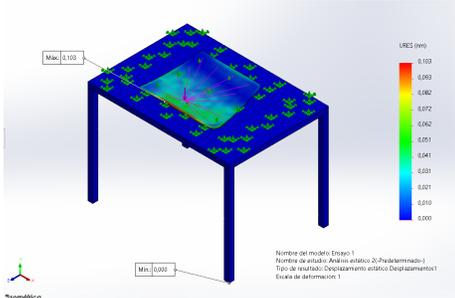
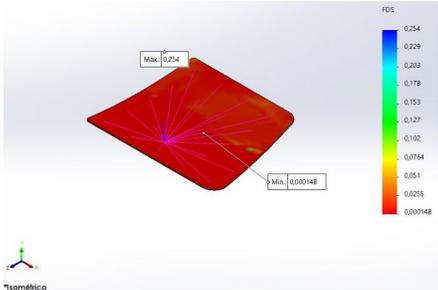
5.3. Comparativas resultados ensayos y CAE

5.3.1. Ensayo de la determinación de la fragmentación

La probeta de ensayo experimental sufrió la fragmentación, de la misma manera como se observa en la tabla 21 de análisis CAE, denotando la fragmentación como color rojo, lo que interpreta como un factor de seguridad de 0 en el vidrio de seguridad de uso automotriz templado frente a la fuerza aplicada en el punto prescrito de impacto.

Tabla 21

Determinación de la fragmentación ensayo experimental y virtual

Ensayo	Simulación
	
	

Nota. Esta tabla expresa el resultado visual del ensayo experimental y virtual de la determinación de la fragmentación en la primera probeta templada.

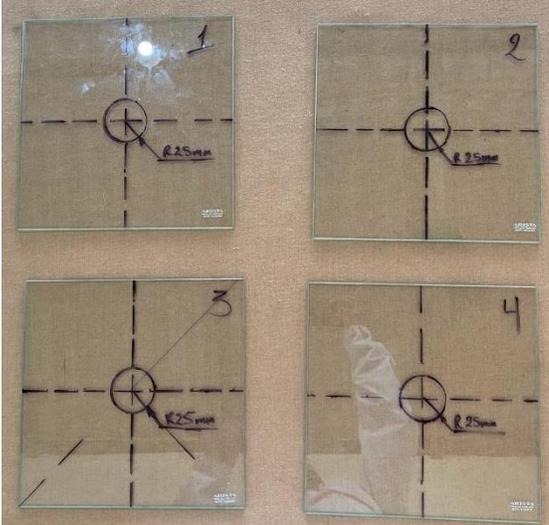
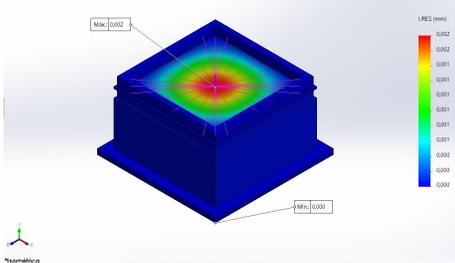
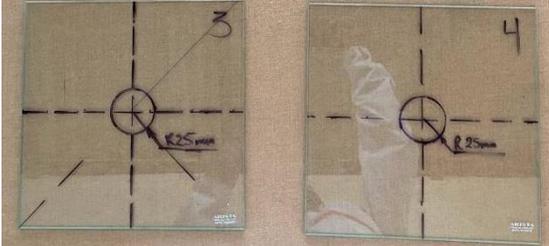
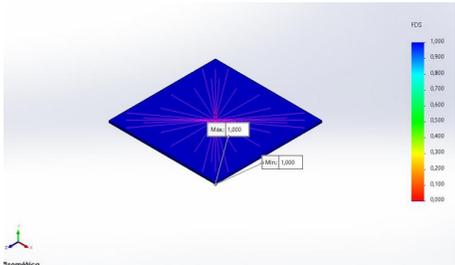
5.3.2. Ensayo determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero

Vidrio templado

En los ensayos de caída libre con la esfera de 225g se pudo apreciar que las probetas no sufren penetración, rotura o fragmentación, esto lo podemos corroborar con los resultados de las simulaciones en las cuales se aplicaron las mismas condiciones iniciales. Obteniendo los resultados en desplazamiento muy cercanos a 0 mm y un factor de seguridad de aproximadamente 1.

Tabla 22

Resistencia al impacto con esfera de acero experimental y virtual en probetas templadas

Ensayo	Simulación
	
	

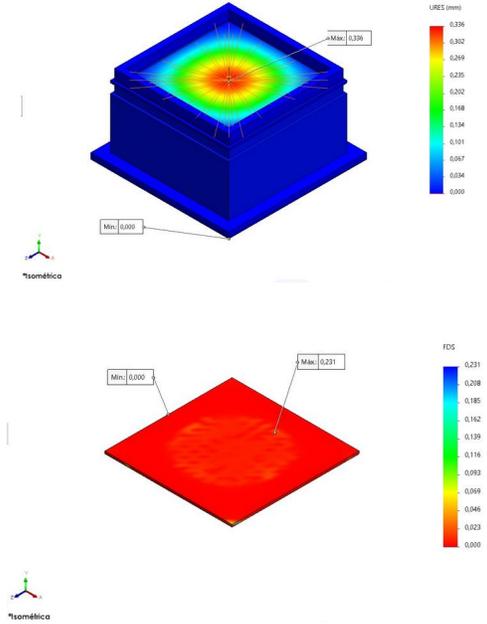
Nota. Esta tabla expresa el resultado visual obtenido del desarrollo de la determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero de 225 g en la probeta de ensayo templada.

Vidrio laminado

En los ensayos de caída libre con la esfera de 2.25Kg se pudo apreciar que las probetas sufren penetración total de la probeta esto lo podemos corroborar con los resultados de las simulaciones en las cuales se aplicaron las mismas condiciones iniciales como altura de caída, peso de la esfera, toma de tiempos. Es así que obtuvimos el resultado de factor de seguridad de aproximadamente 0. Esto nos indica que la probeta no va a resistir al impacto con la esfera y se va a romper

Tabla 23

Resistencia al impacto con esfera de acero experimental y virtual en probetas laminadas

Ensayo	Simulación
	

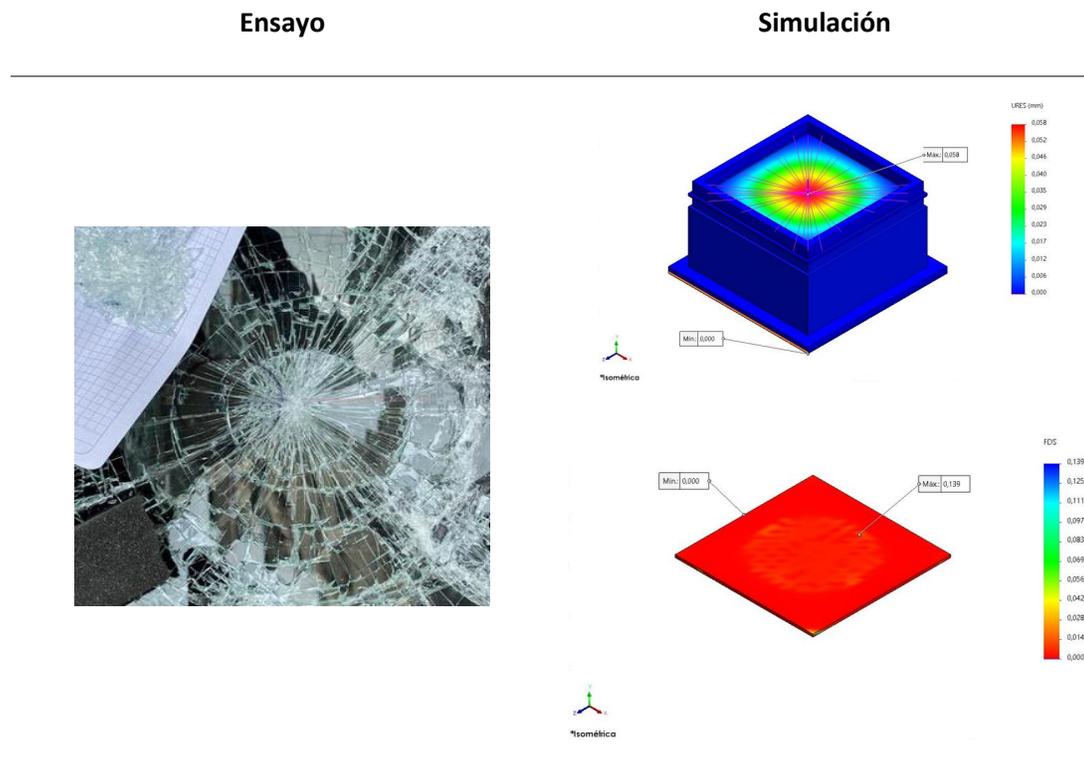
Nota. Esta tabla expresa el resultado visual obtenido del desarrollo de la determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero de 2.25 Kg en la probeta de ensayo laminada.

5.3.3. Ensayo de la determinación de la resistencia al impacto NTE INEN 1724

En los ensayos de caída libre con la esfera de 2.25Kg se pudo apreciar que las probetas sufren penetración total esto lo podemos corroborar con los resultados de las simulaciones en las cuales se aplicaron las mismas condiciones iniciales como altura de caída, peso de la esfera, toma de tiempos. Es así que obtuvimos el resultado de factor de seguridad de aproximadamente 0.

Tabla 24

Determinación de la resistencia al impacto con maniquí experimental y virtual



Nota. Esta tabla expresa el resultado visual obtenido del desarrollo de la determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza, ensayo maniquí de 10 Kg en probeta de ensayo laminada.

Capítulo VI

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- Se analizó las pruebas de impacto que permiten la identificación del vidrio de seguridad de uso automotriz, mismas que fueron investigadas en normativas técnicas nacionales e internacionales.
- Se investigó en fuentes y bases digitales tales como artículos técnicos, manuales de identificación y homologación como NTE INEN 1669, Normativa Armonizada MERCOSUR, Reglamento No. 43 CEPE y más. Fundamentos principales para el proyecto de investigación.
- La contabilización de los fragmentos en el grupo de seis probetas templadas sometidas al ensayo que determina la fragmentación del vidrio de seguridad de uso automotriz el 83.33% se encuentra sobre el rango permitidos de fragmentos encontrados en un área de 50 mm x 50 mm de acuerdo con la normativa NTE INEN 1721. El grupo de probetas templadas ingresa en la categoría III de 6mm de espesor como tolerancia admisible. En el 16.67% restante se contabiliza 14 fragmentos encontrados en el área cuadrada incumpliendo el requisito mínimo establecido en la normativa. El análisis CAE muestra 0.0056 MPa como tensión máxima, deformando a la probeta templada 0.103 mm por la fuerza de aplicación ejercida sobre el punto de impacto, misma que debilitará al factor de seguridad del material. Por tanto se concluye que el grupo de probetas

sometidas al ensayo cumple con los requisitos para identificarse como vidrio de seguridad de uso automotriz y su posterior homologación.

- e ejecutó el ensayo que determina la resistencia que tiene el vidrio de seguridad de uso automotriz al impacto con esfera de acero a dos diferentes grupos de probetas: laminadas y templadas. El grupo de cuatro probetas templadas sometidas a impacto con esfera de acero de 225 g, desde una altura de 2.5 m, concluye que tiene alta resistencia al impacto al no presentar rajaduras y fracturas. Se observa los resultados de la simulación CAE un valor máximo de tensión en la superficie de la probeta de 0.007 MPa, provocando el desplazamiento que no supera 0.002 mm y un factor de seguridad de 1. El grupo de cuatro probetas laminadas sometidas a impacto con esfera de acero de 2.25 Kg, concluye que tiene una baja resistencia al impacto al presentar fracturas, rajaduras y penetración de la esfera de acero. Los resultados de la simulación CAE detallan una tensión máxima de 2.324MPa, 0.336 mm de desplazamiento en la zona más crítica y un factor de 0. Finalizando, se menciona que el grupo de probetas templadas se logra identificar como vidrio de seguridad de uso automotriz dando paso a su homologación. El grupo de 4 probetas laminadas no cumple con los requisitos para ser identificados como vidrio de seguridad de uso automotriz por lo que no se permite su homologación.
- Mediante el desarrollo de la determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza (ensayo del maniquí), El pesaje de las astillas desprendidas en el punto de impacto tiene 18.5 g en promedio sobre el grupo de probetas impactadas, sin superar el requisito máximo de 20 g. así también las rajaduras circulares se presentan a 5.9 cm desde el centro de impacto, en ningún caso se supera los límites establecidos. En el análisis CAE detalla que la probeta laminada sufre una tensión superior a 3.112 MPa, un

desplazamiento de 0.058 mm y el factor de seguridad de 0. El grupo de probetas laminadas cumple con los requisitos establecidos en la Normativa INEN 1669, permitiéndose identificar al grupo como vidrio de seguridad de uso automotriz.

- A través de los resultados del análisis de los ensayos de impacto que determinan la identificación y homologación del vidrio de seguridad de uso automotriz el 83.2% correspondiente al grupo de 6 probetas templadas del ensayo de fragmentación encaminados al uso e instalación de ventanas en el vehículo; las 4 probetas templadas del ensayo de la determinación al impacto con esfera de 225 gramos dirigidas al uso e instalación de parabrisas posterior o lunetas y las 4 probetas laminadas del ensayo de resistencia al impacto simulado de la cabeza(ensayo del maniquí) orientados al uso e instalación de parabrisas cumplen con las especificaciones de cada normativa aplicada y se permite su homologación y comercialización. El 16.8% correspondiente a las 4 probetas laminadas del ensayo de resistencia al impacto con esfera de acero de 2.25 Kg no permite identificarse como vidrio de seguridad automotriz negando su homologación.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda la investigación de entidades que permitan el desarrollo y justifiquen la aplicación de normativas, artículos y fichas técnicas nacionales e internacionales, entidades que aprueben la identificación y homologación del vidrio de seguridad de uso automotriz.
- Desarrollar un protocolo detallado que permita la recopilación de resultados, parámetros y variables, que facilite el análisis de resultados y ayude con la identificación

y homologación de vidrios de seguridad de usos automotriz fabricados y comercializados en el país.

- Para la obtención de precisión y evaluación de los análisis de resultados, se recomienda desarrollar los ensayos que determinan la identificación del vidrio de seguridad de uso automotriz bajo las mismas condiciones de impacto, tales como: fuerza, peso, altura orientación, puntos prescritos, entre otras.
- Se aconseja investigar fuentes bibliográficas tales como: artículo, revistas, libros que detallen las propiedades y características físicas y mecánicas que poseen los polímeros. Debido a que el material aporta en la investigación siendo utilizado como intercapa en la fabricación y comercialización de vidrios laminados.
- La fabricación o el uso de un soporte que permita orientar al maniquí de manera vertical y perpendicular con el centro geométrico de la probeta, asistirá al impacto del maniquí en el punto prescrito para la precisión y evaluación de obtención de resultados
- Debido a la vanguardia y al crecimiento tecnológico del confort y la seguridad pasiva y activa del vehículo, la obtención del vidrio de seguridad de uso automotriz requiere de procedimientos que se encuentran en constante innovación, es por ello que se recomienda el uso de herramientas y equipos que permitan continuar con la línea tecnológica.

Bibliografía

- 3D CadPortal. (s.f.). *3D CadPortal*. Obtenido de <https://www.3dcadportal.com/ansys.html>
- *ABC Motor*. (10 de Septiembre de 2017). Obtenido de https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-descubre-como-eran-primeros-parabrisas-historia-201709081622_noticia.html?ref=https:%2F%2Fwww.google.com%2F
- ACERGLASS. (s.f.). *Vidrio de Seguridad Templado*.
- AUTO CRASH. (19 de Diciembre de 2016). Tecnología en vidrios panorámicos. *AUTO CRASH*, 1-2. Obtenido de <https://www.revistaautocrash.com/tecnologias-vidrios-panoramicos/>
- CAD. (8 de Marzo de 2018). *SOLIDWORKS*. Obtenido de 3D CAD Portal: <http://www.3dcadportal.com/solid-works.html>
- CAE. (08 de Marzo de 2018). *ANSYS*. Obtenido de 3D CAD Portal: <http://www.3dcadportal.com/ansys.html>
- CARGLASS. (14 de Febrero de 2018). *CARGLASS*. Obtenido de <https://www.carglass.es/blog/coche-a-punto/que-significan-los-caracteres-de-las-lunas-del-coche/>
- Carrera, S. F. (Diciembre de 2007). En la luna. *CESVIMAP*, 1. Obtenido de ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA: http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/8531/1/2741_tesis_Febrero_2011_1469520370

- *Centro Zaragoza*. (Abril de 2010). Obtenido de Tipos de Lunas en el automóvil:
http://www.centro-zaragoza.com:8080/web/sala_prensa/revista_tecnica/hemeroteca/articulos/R44_A2.pdf
- *CESVI*. (27 de Agosto de 2018). Obtenido de
<https://www.infoauto.com.ar/institucional/detalle/cesvi-el-pegado-del-parabrisas-es-clave-para-la-seguridad-automotriz>
- *CHIVAGUATE*. (24 de Julio de 2019). *Vidrio Laminado*. Obtenido de <https://vidrio-laminado.com/diferencias-entre-vidrio-templado-y-vidrio-laminado/>
- *DASSAULT SYSTEMES*. (1995). *SolidWorks Simulation*. Obtenido de Mallado:
http://help.solidworks.com/2016/spanish/solidworks/cworks/c_Background_on_Meshing.htm
- Driehaus, R. (05 de Mayo de 2021). *Motor Carriage*. Obtenido de
<https://www.chicagovintage.com/new-products-1/1939cadillac-h66tm-7wh4z-xl2gh-rbp9k-5h2hd-emh4s-df5tn-d9mbe-fsl5f-dgl5f-pdf2g>
- *Ecovidrio*. (31 de Marzo de 2021). *Hablando en vidrio*. Obtenido de
<https://hablandoenvidrio.com/historia-del-vidrio-i/>
- *El Diario*. (22 de Septiembre de 2017). Obtenido de
<https://eldiariony.com/2017/09/22/la-historia-secreta-del-parabrisas-te-sorprendera-por-muchas-cosas/>
- *ELETRRO MECCANICA INDUSTRIALE*. (s.f.). *E.M.I. Italia*. Obtenido de Equipos templado y curvado cristales: <https://www.emiitalia.com/es/prodotti/hornos-templado-cristal/>

- *Fierros clásicos*. (16 de Diciembre de 2012). Obtenido de <https://fierrosclasicos.com/la-historia-del-parabrisas/>
- García, I. G. (10 de Febrero de 2021). *El Universal*. Obtenido de <https://www.eluniversal.com.mx/autopistas/que-tipo-de-vidrios-tiene-un-auto>
- GLASSTECH. (2009). *Cristales Laminados*. Chile.
- Glasstek. (s.f.). *Glasstek*. Obtenido de Hornos de templado para el vidrio: <https://www.glasstek.es/project/recambios-hornos/>
- *Global System*. (12 de Mayo de 2021). Obtenido de <https://globalsystemca.com/laminados-para-cristales/>
- Gómez, F. L. (2002). *Estudio del proeso de curvado y de diseño geométrico del vidrio automotriz empleando herramientas CAD - CAE*. Atizapán de Zaragoza.
- González, F. (2010). *Interacción de ANSYS con entornos de ventanas a medida. Aplicación al campo de la INgeniería Mecánica*. Madrid - España.
- Heiler, M. (19 de Mayo de 2016). *Interempresas*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Vidrio-plano/Articulos/156829-La-industria-alemana-del-vidrio-en-2015-la-demanda-externa-salva-al-sector.html>
- KIMUA GROUP. (2019). Obtenido de <https://www.kimuagroup.com/es/noticias/ventajas-de-la-simulacion-con-ansys-para-el-diseno-de-utilidades/>
- Llantoy, R. (2014). *Estrategias para el incremento de ventas en los negocios de vidriería de la ciudad de huancayo*. Huancayo.

- *Luz de vidrio cerámica art deco*. (05 de Mayo de 2021). Obtenido de <http://www.artdecoceramicglasslight.com/makers-en-attente/benedictus-edouard/benedictus-edouard---biography>
- Mauricio, G. (02 de Septiembre de 2017). *Prueba de ruta*. Obtenido de <https://www.pruebaderuta.com/vidrios-en-el-automovil-tipos-caracteristicas-y-denominacion.php>
- MG ACEROS. (s.f.). *Hierro Negro*.
- *Montajes Soluciones Ingeniería*. (13 de Octubre de 2020). Obtenido de <https://www.ms-ingenieria.com.mx/dibujo/ventajas-y-desventajas-de-solidworks/>
- MORA, J. O. (JULIO de 2016). *REPOSITORIO DSPACE*. Obtenido de <http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/14043>
- *Motormanía*. (07 de Julio de 2003). Obtenido de <http://motormanía.info/MM/2003/07/07/ford-model-t-historia-y-ficha-tecnica/>
- Norma Armonizada MERCOSUR. (1992). *Vidrios de seguridad para vehículos automotres de vía pública*. Asunción - Paraguay.
- NTE INEN 1669. (2011). *Vidrios de seguridad para automotores. Requisitos*. Quito - Ecuador.
- NTE INEN 1722. (2015). *Vidrios de seguridad. Determinación de la fragmentación*. Quito - Ecuador.
- NTE INEN 1723. (2011). *Vidrios de seguridad. Determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero*. Quito - Ecuador.

- NTE INEN 1724. (2011). *Vidrios de seguridad. Determinación de la resistencia al impacto simulado de la cabeza (ensayo del maniquí)*. Quito - Ecuador.
- NTE INEN 1725. (2011). *Vidrios de seguridad. Determinación de la resistencia al impacto con dardo*. Quito - Ecuador.
- *Química*. (03 de 05 de 2021). Obtenido de <https://www.quimica.es/enciclopedia/Vidrio.html>
- Sacotto, E. (2020). *Metodología para el Análisis Dinámico del Mecanismo Utilizado en el Sistema de Cierre de una Máquina Inyectora TIANJIAN PL 1200 Mediante la Aplicación de un método numérico*. Latacunga.
- Salvador, F. C. (2007). *En la luna identificación y homologación de lunas del automóvil*.
- *SEGTEC VIDRIO*. (s.f.). Obtenido de Vidrio Templado: aprende cómo se fabrica: <https://www.segtecvidrio.com/vidrio-templado-conoce-se-fabrica/>
- Tecnológico Nacional de México en Celaya. (2019). *Aplicación de herramientas de simulación y análisis para diseño de un robot manipulador de dos grados de libertad con configuración manual del espacio de trabajo*. Celaya - México.
- UPCommons. (2008). *Propuesta de los proceso y equipos de producción para una fábrica de parabrisas de vidrio laminado*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4392/Memoria%20-%20BELART%20ESQUERRA%20-%20F%20C%20A1brica%20de%20parabrisas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- VIDRESIF. (14 de 06 de 2021). *Vidrio Templado - Vidrio Termoendurecido*. Barcelona - España. Obtenido de

https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/182034/1403864924_13_cn_vidre_trempat.pdf

- VIDRESIF. (s.f.). *Vidrio Laminado*. Barcelona - España.
- *Xunta*. (14 de 05 de 2003). Obtenido de http://www.vetrotech.com/images/cm/RIMG0040_250.jpg

Anexos