



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**Diseño y Construcción de un retrovisor utilizando un material
compuesto por resina epoxi y refuerzo de tejido plano de cabuya
mercerizada**

VICTOR PATRICIO PACHACAMA NASIMBA

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

MAGÍSTER EN DISEÑO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

NOVIEMBRE DE 2023

©2023, Victor Patricio Pachacama Nasimba

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

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Víctor Patricio Pachacama Nasimba, declaro que el presente **trabajo de titulación modalidad proyectos de investigación y desarrollo**, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, noviembre del 2023



Víctor Patricio Pachacama Nasimba

0104685284



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad **Proyectos de Investigación y Desarrollo**, titulado: **Diseño y construcción de un retrovisor utilizando un material compuesto por resina epoxi y refuerzo de tejido plano de cabuya mercerizada**, de responsabilidad del señor **Victor Patricio Pachacama Nasimba** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes Mgtr.
PRESIDENTE

Ing. Jose Omar Cabrera Escobar Mgtr.
DIRECTOR

Ing. Santiago Alejandro López Ortiz Mgtr.
MIEMBRO

Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos Mgtr.
MIEMBRO

Riobamba, noviembre 2023

DEDICATORIA

Para todas las personas que creyeron en mí y que comparten mis buenos y malos momentos de mi vida.

A mí familia, quienes son el pilar fundamental en mi vida, a mi esposa: Liliana Suatunce Vega por su infinito amor; a mi hijo Rey Victor, a mis padres: María Inés Nasimba y Alfredo Roberto Pachacama, quienes han sido mi ejemplo de superación y lucha, y quienes me han motivado a alcanzar mis ideales de una manera honesta y transparente.

A mis hermanos Jaime, Daniel y Marilú por estar siempre junto a mí brindándome su tiempo y su apoyo incondicional.

A mis amigos con quienes hemos compartido experiencias a lo largo de nuestra vida, quienes me han sabido demostrar lealtad y en especial a Carlos Ulcuango.

Victor Pachacama

AGRADECIMIENTOS

A mi director y tutores por su acertada dirección en el presente proyecto de investigación.

En especial al Ing. Omar Cabrera M.Sc. quien supo ver en mí todo el talento que se necesitaba para esta maestría; el eterno agradecimiento por su ayuda constante; gracias por ser más que un maestro un amigo, y eso es lo más valioso en este mundo. Sus enseñanzas han llegado hondo en mí y por ello siempre le voy a estar agradecido.

A las personas que trabajan en los laboratorios del Centro de Fomento Carrocero y la UTA, por la colaboración que me brindaron en el desarrollo de este proyecto.

A mí querida universidad por ser la fuente de mis conocimientos

A mis amigos quienes, al compartir tantas alegrías, triunfos, tristezas y derrotas, se van convirtiendo en una familia; en especial a todos quienes me ayudaron cuando más necesité en la ejecución de la parte experimental del proyecto.

Detrás de un gran profesionalista hay un gran maestro

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xv
SUMMARY	xvi
CAPÍTULO I	
1	INTRODUCCIÓN..... 1
1.1	Planteamiento del problema..... 1
<i>1.1.1</i>	<i>Situación problemática 1</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Formulación del problema..... 1</i>
1.2	Preguntas directrices o específicas de la investigación 1
1.3	Justificación de la investigación 2
1.4	Objetivos 2
<i>1.4.1</i>	<i>Objetivo general..... 2</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Objetivos específicos..... 2</i>
1.5	Hipótesis 2
<i>1.5.1</i>	<i>Hipótesis general..... 2</i>
<i>1.5.2</i>	<i>Hipótesis específicas..... 3</i>
CAPÍTULO II	
2	MARCO TEÓRICO 4
2.1	Antecedentes del problema..... 4
2.2	Bases teóricas..... 6
<i>2.2.1</i>	<i>Dispositivos de visión indirecta..... 6</i>
<i>2.2.1.1</i>	<i>Clasificación de retrovisores según la categoría del vehículo 7</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Normativas para espejos retrovisores 8</i>
<i>2.2.3</i>	<i>Materiales compuestos 10</i>
<i>2.2.3.1</i>	<i>Materiales compuestos sintéticos..... 11</i>
<i>2.2.3.2</i>	<i>Materiales compuestos naturales..... 11</i>
<i>2.2.3.3</i>	<i>Materiales compuestos híbridos..... 12</i>
<i>2.2.4</i>	<i>Componentes de un material compuesto natural..... 13</i>
<i>2.2.4.1</i>	<i>Matrices 14</i>
a)	Matriz Metálica 14
b)	Matriz cerámica..... 15
c)	Matriz Polimérica..... 17
d)	Matriz polimérica termoestable – Resina Epoxi 18

2.2.4.2	<i>Refuerzo</i>	21
a)	Fibras Naturales	22
b)	Microestructura de Fibras Naturales	24
c)	Polímeros reforzados con fibras naturales	24
d)	Cabuya	26
2.2.4.3	<i>Interfaz</i>	28
a)	Tratamiento de fibras - Mercerización	29
2.2.5	<i>Propiedades mecánicas de los materiales compuestos reforzados con fibras</i>	31
2.2.5.1	<i>Influencia del diámetro y longitud de fibra</i>	33
2.2.5.2	<i>Influencia de la orientación y concentración de fibra</i>	36
a)	Concentración	36
b)	Orientación de las fibras	36
2.2.6	<i>Ensayos destructivos y evaluación de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos</i>	39
2.2.6.1	<i>Ensayo de tracción</i>	40
a)	Esfuerzo máximo a tracción	41
b)	Porcentaje de deformación	41
c)	Módulo de elasticidad	42
2.2.6.2	<i>Ensayo de Flexión</i>	42
a)	Esfuerzo máximo a flexión	43
b)	Módulo de flexión	43
2.2.6.3	<i>Ensayo de impacto</i>	43
2.2.7	<i>Procesos de fabricación de compuestos termoestables</i>	45
2.2.7.1	<i>Proceso de colocación de pre impregnados</i>	45
2.2.7.2	<i>Proceso de Laminación en Húmedo</i>	46
2.2.7.3	<i>Proceso de rociado o aspersión</i>	47
2.2.7.4	<i>Proceso de bobinado de filamentos</i>	48
2.2.7.5	<i>Proceso de pultrusión</i>	49
2.2.7.6	<i>Proceso de moldeo por transferencia de resina</i>	49
2.2.7.7	<i>Proceso de moldeo por inyección de reacción estructural (SRIM)</i>	50
2.2.7.8	<i>Proceso de moldeo por compresión</i>	51
2.2.7.9	<i>Proceso de envoltura de rollos</i>	52
2.2.7.10	<i>Moldeo por inyección de compuestos termoestables</i>	53
2.2.8	<i>Ingeniería asistida por computador para el modelado del material compuesto</i> ..	54
2.2.9	<i>Método de elementos finitos – FEM</i>	54
2.3	<i>Marco conceptual</i>	55

2.4	Identificación de variables.....	56
2.5	Operacionalización de variables	57
2.6	Matriz de consistencia.....	58
CAPÍTULO III		
3	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	60
3.1	Tipo y diseño de investigación.....	60
3.2	Métodos de investigación.....	60
3.3	Enfoque de la investigación.....	60
3.4	Alcance de la investigación.....	61
3.5	Población de estudio.....	61
3.6	Unidad de análisis.	61
3.7	Selección de la muestra.....	61
3.8	Tamaño de la muestra.	61
3.9	Técnicas de recolección de datos primarios y secundarios.....	62
3.9.1	<i>Datos primarios:</i>	62
a)	Observación directa:.....	62
b)	Experimentos:	62
3.9.2	<i>Datos secundarios:</i>	62
a)	Investigación bibliográfica.....	62
b)	Bases de datos	62
c)	Informes y documentos industriales.....	63
3.10	Instrumentos para procesar datos recopilados.....	63
3.10.1	<i>Materia prima</i>	63
3.10.2	<i>Tratamiento del material de refuerzo</i>	63
3.10.3	<i>Elaboración de probetas</i>	64
3.10.4	<i>Curado</i>	65
3.10.5	<i>Caracterización del material compuesto</i>	65
3.10.5.1	<i>Tracción</i>	66
3.10.5.2	<i>Flexión</i>	74
3.10.5.3	<i>Impacto</i>	79
3.10.6	<i>Ingeniería asistida del retrovisor</i>	83
3.10.6.1	<i>Consideraciones para los estudios por elementos finitos</i>	83
3.10.6.2	<i>Modelo CAD 3D</i>	83
3.10.6.3	<i>Solucionador (Solver)</i>	84
3.10.6.4	<i>Discretización del modelo CAD 3D</i>	84
3.10.6.5	<i>Convergencia de malla</i>	85

3.10.6.6	<i>Métrica de malla.</i>	86
3.10.6.7	<i>Condiciones de contorno e iniciales.</i>	87
a)	Configuración del material.	87
b)	Configuración de simulación.	89
CAPÍTULO IV		
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	93
4.1	6.1.3.2. Ensayo de impacto.	93
4.1.1	<i>Deformación.</i>	93
4.1.2	<i>Esfuerzo equivalente de Von-Mises.</i>	95
4.1.3	<i>Energía de deformación.</i>	97
4.1.4	<i>Factor de seguridad.</i>	100
4.2	6.1.3.2.3. Ensayo de flexión de la carcasa de protección.	102
CAPÍTULO V		
5	PROPUESTA.	104
5.1	Manufactura del retrovisor	104
5.2	Costos de producción	105
CONCLUSIONES.		108
RECOMENDACIONES.		110
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2. Vehículos de subcategoría M1.....	7
Tabla 2-2. Clase de retrovisores segun la categoria del vehículo.	8
Tabla 3-2. Materiales de refuerzo comúnmente utilizados en los compuestos.	13
Tabla 4-2. Efecto de las fibras de refuerzo de SiC sobre las propiedades de algunos materiales cerámicos.	16
Tabla 5-2. Características generales de las diferentes resinas.	21
Tabla 6-2. Propiedades de las fibras naturales en relación con las de las fibras sintéticas.	23
Tabla 7-2. Matrices poliméricas utilizadas en compuestos poliméricos de fibras naturales.	25
Tabla 8-2. Características mecánicas de la fibra de cabuya.	27
Tabla 9-2. Compuesto con y sin tratamiento de mercerización.	31
Tabla 10-2. Propiedades mecánicas de algunas de las fibras naturales.	32
Tabla 11-2. Propiedades físicas y mecánicas de las fibras naturales y sintéticas.	32
Tabla 12-2. Operacionalización de la variable independiente.	57
Tabla 13-2. Operacionalización de la variable dependiente.	57
Tabla 14-2. Operacionalización de la variable interviniente.	58
Tabla 15-2. Matriz de consistencia del tema de investigación.	58
Tabla 16-3. Muestra de probetas para ensayo.	61
Tabla 17-3. Tabla de recolección de datos del informe de tracción.	66
Tabla 18-3. Tabla de recolección de datos del informe de flexión.	74
Tabla 19-3. Tabla de recopilación de datos del informe de impacto.	79
Tabla 20-4. Resumen de resultados de flexión.	103
Tabla 21-5. Costos involucrados para obtener el costo total.	105
Tabla 22-5. Detalle de costos.	105
Tabla 23-5. Detalle de valores en referencia al precio de comercialización actual.	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2. Materiales compuestos en autopartes.	5
Figura 2-2. Vista isométrica del vehículo que muestra el espejo (verde) y la base del espejo (rojo)	6
Figura 3-2. Dispositivo para ensayo de impacto de retrovisores.	9
Figura 4-2. Dispositivo para el ensayo de flexión en retrovisores	9
Figura 5-2. Sección transversal de un esquí de nieve de alto rendimiento.	10
Figura 6-2. Presentaciones comerciales de la fibra de vidrio (a) Fibra corta. (b) Mats. (c) Tejidos. (d) Hilados. (e) Mechas	11
Figura 7-2. Capó de matriz polimérica y fibra natural.	12
Figura 8-2. Aplicación de compuestos híbridos en la aeronáutica.	12
Figura 9-2. Material compuesto utilizando fibras y resina.	13
Figura 10-2. Componentes los materiales compuestos.	14
Figura 11-2. Matriz metálica tipo Panel - Sándwich.	15
Figura 12-2. Composite de matriz polimérica con refuerzo de fibras sintéticas.	17
Figura 13-2. Estructura química de la resina epoxi.	20
Figura 14-2. Tipos de refuerzo en materiales compuestos.	21
Figura 15-2. Clasificación de las fibras naturales.	22
Figura 16-2. Laminados epoxis reforzados con tela de algodón.	23
Figura 17-2. Partes de una fibra natural.	24
Figura 18-2. Planta de cabuya.	26
Figura 19-2. Tipos de tejido de cabuya: (a) grueso, (b) normal y (c) fino.	28
Figura 20-2. Yute de fibra natural en proceso de mercerización (NaOH) y peróxido alcalino (H ₂ O ₂).	31
Figura 21-2. Relación entre longitud de fibra y la resistencia del compuesto.	33
Figura 22-2. Perfiles de Esfuerzo-Posición cuando la longitud de la fibra l (a) es igual a la longitud crítica l _c , (b) es mayor que la longitud crítica y (c) es menor que la longitud crítica.	35
Figura 23-2. El patrón de deformación en la matriz que rodea una fibra que está sujeta a una carga de tracción aplicada.	36
Figura 24-2. Tipos de orientación de fibras.	37
Figura 25-2. Efecto de la orientación de las fibras sobre la resistencia a la tracción.	37
Figura 26-2. Orientación de capas en compuestos laminados.	38
Figura 27-2. Varios estilos de tejido para fibras.	39

Figura 28-2. Metrotec Serie MTE50. Máquina de ensayos universales de hasta 50 KN para materiales poliméricos, cerámicos, compuestos y metales ligeros.	40
Figura 29-2. Principales dimensiones de la probeta de ensayo de tracción utilizada en materiales compuestos, según norma ASTM D3039-17.....	41
Figura 30-2. Configuración de carga a flexión en tres puntos.	43
Figura 31-2. Probador de impacto de caída de dardo.....	44
Figura 32-2. Curva típica de tiempo de carga para pruebas de impacto de peso de caída en materiales compuestos.....	45
Figura 33-2. Pieza aeroespacial envasada al vacío lista para entrar en autoclave.....	46
Figura 34-2. Proceso de laminación en húmedo.	47
Figura 35-2. Proceso de rociado robótico para hacer una bañera.	48
Figura 36-2. Demostración del tendido de fibras en un mandril.....	48
Figura 37-2. Proceso de pultrusión para producir materiales compuestos de plástico.....	49
Figura 38-2. Un molde RTM típico que muestra características de diseño estándar, como conexiones de aceite, sistema de inyección y dispositivos de autosujeción/carga. ...	50
Figura 39-2. Esquema del proceso SRIM.	51
Figura 40-2. Esquema del proceso por compresión.	52
Figura 41-2. Mesa rodante para pre impregnados.....	53
Figura 42-2. Esquema del proceso de moldeo por inyección.	54
Figura 43-3. Fibra sumergida en solución al 0.5% de hidróxido de sodio por 4 horas.....	64
Figura 44-3. Distribución de probetas para ensayos de tracción, flexión impacto.....	64
Figura 45-3. Planchas de madera en disposición tipo sánduche para estratificación manual.	65
Figura 46-3. Modelo CAD 3D de un retrovisor.....	83
Figura 47-3. Discretización del retrovisor.....	85
Figura 48-3. Criterio de convergencia de malla.....	86
Figura 49-3. Métrica y calidad de malla del retrovisor.....	87
Figura 50-3. Configuración del material compuesto ortotrópico.....	89
Figura 51-3. Diagrama de ensayo de impacto 1 según el reglamento N° 46.	90
Figura 52-3. Configuración del análisis dinámico para el ensayo de impacto 1.....	91
Figura 53-4. Deformación según el apartado 6.1.3.2.2.6.2. - Ensayo 1.....	93
Figura 54-4. Deformación según el apartado 6.1.3.2.2.6.2. - Ensayo 2.....	94
Figura 55-4. Esfuerzo producido por la carga según el apartado 6.1.3.2.2.6.2. - Ensayo 1.....	96
Figura 56-4. Esfuerzo producido por la carga según el apartado 6.1.3.2.2.6.2. - Ensayo 2.....	97
Figura 57-4. Energía de deformación - Impacto 1.....	98
Figura 58-4. Energía de deformación - Impacto 2.....	99
Figura 59-4. Resumen de energías de los ensayos de impacto.	100

Figura 60-4. Factor de seguridad del ensayo de impacto 1.....	101
Figura 61-4. Factor de seguridad del ensayo de impacto 2.....	101
Figura 62-4. a) Deformación b) Esfuerzo debida a flexión.....	102
Figura 63-5. Diagrama de flujo del proceso de manufactura del retrovisor.....	104
Figura 64-5. Prototipo de retrovisor manufacturado con materiales compuestos.	105

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Ficha técnica de la resina
- ANEXO B:** Ficha técnica de la fibra natural - ANSYS GRANTA.
- ANEXO C:** Informe de tracción
- ANEXO D:** Informe de flexión.
- ANEXO E:** Informe de impacto.
- ANEXO F:** Proforma de un retrovisor marca Chevrolet Spark Lt 2008
- ANEXO G:** Reglamento n°46.
- ANEXO H:** Normativa ASTM de tracción.
- ANEXO I:** Normativa ASTM de flexión.
- ANEXO J:** Normativa ASTM de impacto.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue diseñar y construir un retrovisor utilizando un material compuesto por resina epoxi y refuerzo de tejido plano de cabuya mercerizada, para lo cual se caracterizó el material compuesto bajo las directrices de las normativas ASTM de polímeros de matriz polimérica. La configuración de material compuesto fue constituida por matriz polimérica epoxi reforzado con fibra natural de cabuya mercerizada tejida. Se realizaron dos muestras distribuidas por 15 probetas cada grupo y dispuestas en cinco probetas para los ensayos de tracción, 5 probetas para flexión y 5 probetas para impacto. Los grupos de ensayo analizados en laboratorios acreditados se realizaron por estratificación manual a compresión conformado por resina epoxi con dos y tres capas respectivamente de refuerzo natural mercerizado. Para el análisis estadístico se utilizó el método experimental donde se recogió la información de los informes de ensayos destructivos. Los resultados de los ensayos demostraron que el compuesto caracterizado alcanzo una resistencia estructural promedio de 44,54 MPa, un módulo de elasticidad de 879 MPa con un coeficiente de variación CV igual a 5.4% y 8% respectivamente. En impacto, los resultados de la energía media de impacto obtuvieron un máximo de 1.9708 Joules; en tal motivo se considera en base a los resultados la mejor configuración del composite la muestra M1 de tres capas. Con los resultados se realizó el análisis por método de elementos finitos en un software especializado del modelo CAD del retrovisor para vehículos de categoría M1 (Vehículos motorizados con capacidad no mayor a ocho plazas, sin contar el asiento del conductor), la simulación se parametrizo en concordancia a los apartados 6.1.3.2 y 6.1.3.2.3 del Reglamento N° 46 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas: “Prescripciones uniformes sobre la homologación de los dispositivos de visión indirecta y los vehículos de motor en lo referente a la instalación de dichos dispositivos”. Para al final concluir que las fuerzas de carga configuradas por el reglamento n°46 no sobrepasan los valores de resistencia última del material compuesto del que está constituido el retrovisor.

Palabras clave: <DISEÑO>, <FABRICACIÓN>, <MATERIALES COMPUESTOS>
<RETROVISOR>, <MERCERIZACIÓN>



Firmado electrónicamente por:
LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS



0131-DBRA-UPT-IPEC-2023

23-10-2023

SUMMARY

The aim of this study was to design and construct a rear-view mirror using an epoxy resin composite material and mercerised cabuya flat woven reinforcement. The composite material was characterised under the guidelines of ASTM polymer matrix polymer standards. The composite material configuration was constituted by epoxy polymeric matrix reinforced with natural woven mercerised cabuya fibre. Two samples were made with 15 specimens in each group and arranged in five specimens for tensile tests, five specimens for flexural tests and five specimens for impact tests. The test groups analysed in accredited laboratories were carried out by manual compression layering using epoxy resin with two and three layers respectively of mercerised natural reinforcement. For the statistical analysis, the experimental method was used where the information from the destructive test reports was collected. The test results showed that the characterised composite achieved an average structural strength of 44.54 MPa, a modulus of elasticity of 879 MPa with a coefficient of variation CV equal to 5.4% and 8% respectively. In impact, the results of the average impact energy obtained a maximum of 1.9708 Joules; therefore, based on the results, the best configuration of the composite is considered to be the three-layer M1 sample. Based on the results, a finite element method analysis of the CAD model of the rear-view mirror for vehicles of category M1 (motor vehicles with a seating capacity not exceeding eight seats, excluding the driver's seat) was carried out in specialised software, the simulation was parameterised in accordance with paragraphs 6. 1.3.2 and 6.1.3.2.3 of the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) Regulation No. 46: "Uniform provisions concerning the approval of devices for indirect vision and motor vehicles with regard to the installation of such devices". The final conclusion is that the load forces set by Regulation No 46 do not exceed the ultimate strength values of the composite material of which the mirror is made.

Keywords: <DESIGN>, <FABRICATION>, <COMPOSITE MATERIALS> <REARVIEW MIRROR>, <MERCERISATION>.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Situación problemática

La presente investigación nace de la necesidad de buscar alternativas de materiales en la fabricación de autopartes que cumplan con los parámetros requeridos y que presenten un menor impacto ambiental después de cumplir su vida útil. La utilización de materiales compuestos en la construcción de retrovisores tiene un gran impacto en la reducción de peso, aumento de resistencia mecánica, mejora de diseño personalizado, mayor durabilidad, y ahorro de costos por lo que establecer la proporción volumétrica ideal entre la matriz y el material de refuerzo para definir el número de capas ideal que permita una correcta adhesión entre matriz y refuerzo es necesario para cumplir con los objetivos y características mecánicas que solicita la industria debido al aumento de la demanda de vehículos más ligeros y eficientes, los avances en la tecnología de los materiales compuestos, la competencia cada vez mayor en el mercado automotriz y las mejoras en la seguridad del vehículo.

1.1.2 Formulación del problema

¿Es posible diseñar y construir un retrovisor utilizando un material compuesto por resina epoxi y refuerzo de tejido plano de cabuya mercerizada que cumpla con los estándares de los elementos de estructurales de carrocería?

1.2 Preguntas directrices o específicas de la investigación

¿El tratamiento químico de mercerización al refuerzo natural aumenta la adhesión con la matriz y por ende también aumenta la resistencia mecánica del producto final?

¿Cuál será el grado de la capacidad de absorción de energía de impacto del retrovisor caracterizado por un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra tejida plana de cabuya mercerizada?

¿Cuáles son los posibles ahorros de costos de la fabricación de retrovisores con materiales compuestos en comparación con los materiales tradicionales?

¿Tiene el retrovisor fabricado con el material compuesto la misma resistencia o superior al que tiene uno fabricado con un material tradicional?

1.3 Justificación de la investigación

A través de esta investigación se pretende mejorar las propiedades de los materiales de los retrovisores, teniendo en cuenta las propiedades absorbentes de energía de los materiales compuestos con matriz polimérica reforzada con fibras naturales, sometidos a un proceso químico denominado “mercerización”, para obtener información sobre la producción de retrovisores de vehículos categorizados por la NTE INEN 2656, M1 “Vehículos motorizados con capacidad no mayor a ocho plazas, sin contar el asiento del conductor” con propiedades mecánicas de iguales o superiores características ya que este trabajo es fuente de información para empresas de materiales y fabricantes de componentes de carrocería que en el período de enero a julio del 2023 han alcanzado ventas sobre los 9467 vehículos en Ecuador (AEADE 2023), así como para institutos tecnológicos, universidades y escuelas de posgrado con experiencia en investigación relacionadas al área de estudio.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar y construir un retrovisor utilizando un material compuesto por resina epoxi y refuerzo de tejido plano de cabuya mercerizada.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar la composición del número de capas del material de refuerzo que influyen en las propiedades mecánicas del material compuesto, mediante la revisión del estado del arte.
- Caracterizar las propiedades mecánicas de dos configuraciones de capas de refuerzo del material compuesto resina epoxi – fibra natural tejida plana de cabuya mercerizada.
- Simular en software especializado el comportamiento mecánico del material compuesto aplicado al retrovisor en un escenario estático y dinámico aplicando el reglamento N° 46 CEPE.
- Realizar un análisis costo-beneficio para determinar la rentabilidad de la fabricación de retrovisores para vehículos de categoría M1 con materiales compuestos.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

Los retrovisores construidos con materiales compuestos tienen propiedades mecánicas superiores a los retrovisores construidos con materiales tradicionales.

1.5.2 Hipótesis específicas

La simulación de la resistencia estructural de los retrovisores caracterizados con el material compuesto de matriz polimérica epoxi y reforzada con fibra natural de cabuya tejida plana en un software especializado FEM permitirá realizar los ensayos de impacto y flexión del Reglamento N° 46 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas: Prescripciones uniformes sobre la homologación de los dispositivos de visión indirecta y los vehículos de motor en lo referente a la instalación de dichos dispositivos.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

En la provincia de Imbabura, las fibras naturales son diversas. Por esta razón, en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra, específicamente en el Centro Nacional de Fibras Naturales “CENFIN”, se han realizado varios estudios y análisis con respecto al desarrollo de materiales compuestos, donde son muy usadas las fibras de abacá y cabuya, buscando reciclar residuos agrícolas para que formen parte del refuerzo de composites. En este centro se han elaborado materiales con matrices poliméricas y diferentes tipos de fibra vegetal, en donde se destaca la elaboración de tableros compuestos a partir de urea formaldehído (UF), reforzados con residuos agrícolas de café y cabuya. (Guerrero 2011)

La fibra lignocelulósica de origen vegetal, compuesta principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina, se puede utilizar como medio de refuerzo en una matriz basada en polímeros con la alteración adecuada. Un tratamiento químico denominado mercerización ha sido objeto de estudio de varios artículos científicos entre los que denotan; fibras lignocelulósicas químicamente compatibles para materiales compuestos (Hasan, Rabbi, Maruf Billah 2022). La investigación explora varias modificaciones químicas de la fibra lignocelulósica para hacerla más compatible para su uso como refuerzo en materiales compuestos. Las propiedades mecánicas del compuesto de fibra natural dependen de la relación de aspecto, la morfología de la superficie, la adhesión entre los constituyentes, etc. La modificación química de la fibra reduce el contenido de humedad, la inestabilidad dimensional, reduce el diámetro de la fibra, lo que a su vez mejora la relación de aspecto por lo tanto producen más espacio de reacción para reaccionar con la matriz hidrofóbica (Hasan, Rabbi, Maruf Billah 2022).

De igual manera, un estudio llevado a cabo por (Prem Kumar et al. 2022) “Effect of mercerization on the chemical characteristics of plant-based natural fibers”; que tubo por objetivo comprender la efectividad de la mercerización sobre las características de las fibras naturales de origen vegetal donde primero, las fibras crudas sin tratar se sometieron a tratamiento en una solución de NaOH al 5% para eliminar las impurezas de la superficie y mejorar así la naturaleza hidrofóbica de las fibras. Después del tratamiento con NaOH, las fibras se lavaron 3 o 4 veces con agua destilada para eliminar los sedimentos de hidróxido de sodio durante la mercerización. La investigación contemplo el análisis de la microestructura de las fibras no tratadas y tratadas utilizando un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM), revelando que el tratamiento alcalino de las fibras crudas con NaOH ayudó a eliminar las impurezas superficiales, la lignina y

la hemicelulosa. Además, la composición elemental obtenida del análisis EDS mostró una mayor cantidad de contenido de carbono en las fibras no tratadas.

Experimentaciones del uso de materiales compuestos en la industria de autopartes son significativas y tienen por objetivo reducir la masa muerta del automóvil, practica que en los últimos años ha introducido un número cada vez mayor de piezas fabricadas con fibras de vidrio/matrices orgánicas en los elementos estructurales y no estructurales de la industria automotriz y sus derivados, alcanzando así también la industria aeroespacial.

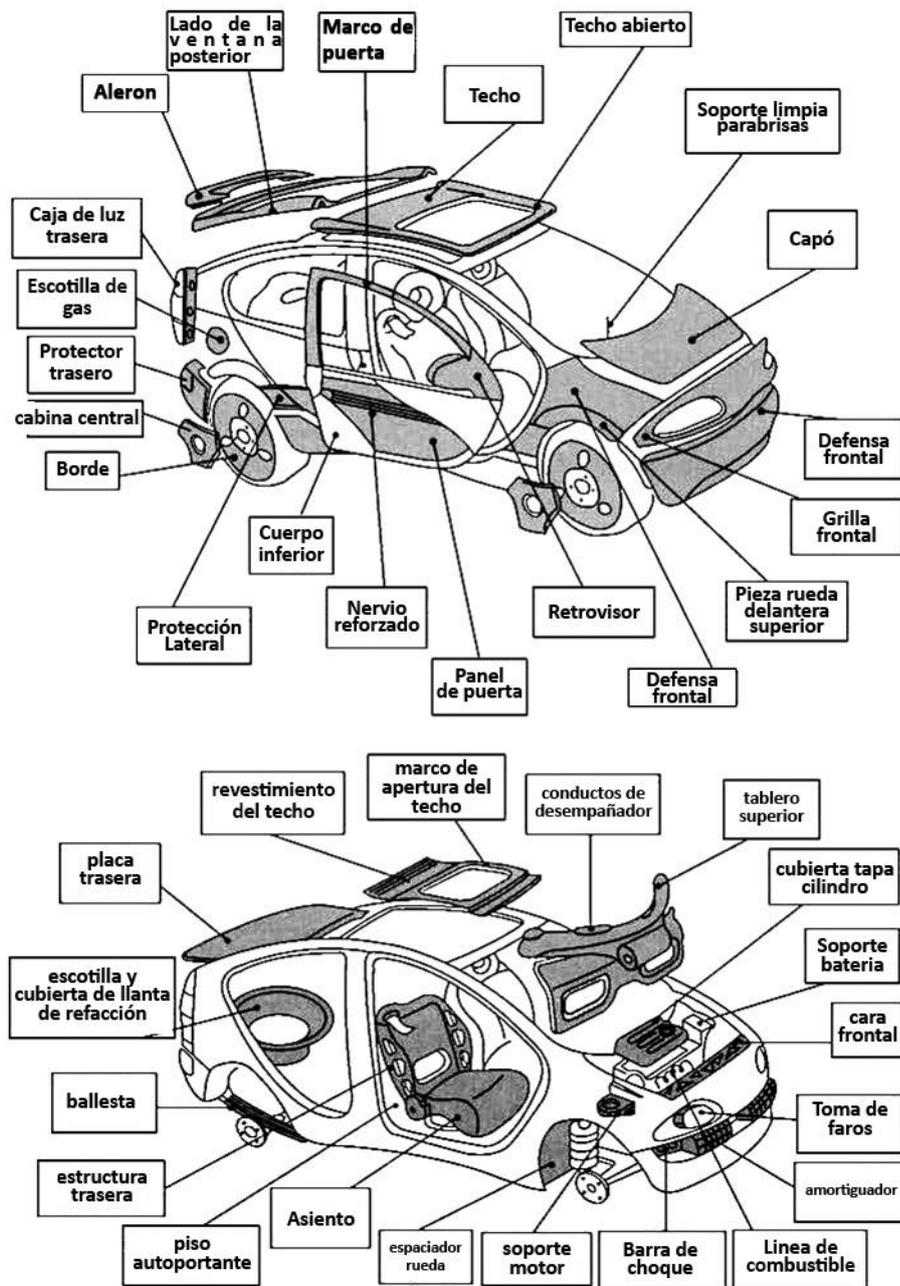


Figura 1-2. Materiales compuestos en autopartes.

Fuente: (Gay, Hoa, Tsai 2002)

Muchas de las piezas moldeadas hechas de compuestos de vidrio/resina, como se muestra en la figura 1-2, ahora son comúnmente utilizadas por los fabricantes de automóviles. La imagen señala en particular los elementos cuya importancia y gran volumen de producción (tasa de producción de más de 1000 piezas por día), indican una importante penetración de los composites en la fabricación de automóviles (Gay, Hoa, Tsai 2002).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Dispositivos de visión indirecta

Según el Reglamento n° 46 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas: Prescripciones uniformes sobre la homologación de los dispositivos de visión indirecta y los vehículos de motor en lo referente a la instalación de dichos dispositivos, define como, «Dispositivos de visión indirecta», los dispositivos para observar el área de circulación adyacente al vehículo que no se puede observar de forma directa. Puede tratarse de espejos retrovisores convencionales, cámaras con monitores u otros dispositivos que puedan dar información sobre el campo de visión indirecto del conductor (CEPE 2014a).

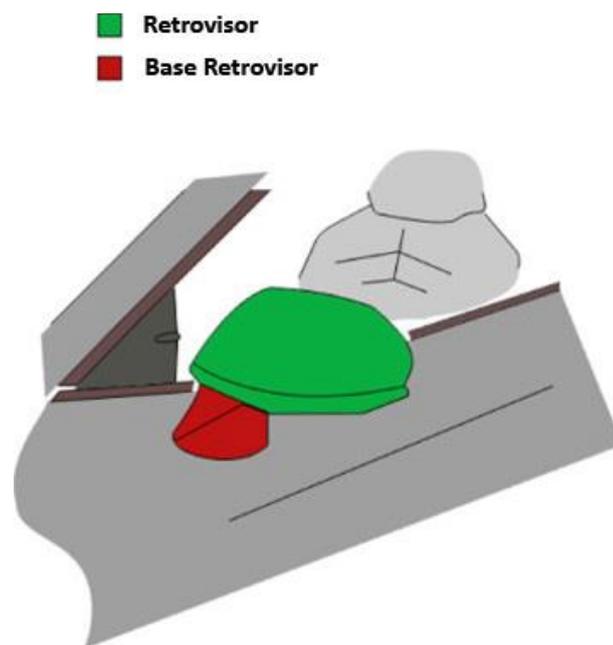


Figura 2-2. Vista isométrica del vehículo que muestra el espejo (verde) y la base del espejo (rojo)

Fuente: (Zaareer et al. 2023)

El reglamento también define al «Retrovisor», como un dispositivo, exceptuándose dispositivos tales como los periscopios, cuyo fin es garantizar una visibilidad clara hacia atrás, hacia el lateral o hacia delante del vehículo, en los campos de visión definidos en el apartado 15.2.4 del reglamento en mención.

2.2.1.1 Clasificación de retrovisores según la categoría del vehículo

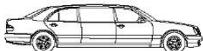
La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656 - Clasificación Vehicular, establece la clasificación de los vehículos motorizados y no motorizados, identificados mediante características generales de diseño y uso. Esta norma se aplica a todos los vehículos diseñados para circulación terrestre (vehículos motorizados y unidades de carga) (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN 2016).

Nuestra investigación centra su campo de estudio en la **Categoría M** “Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y contruidos para el transporte de pasajeros”. A continuación, el detalle específico.

Subcategoría M1

Vehículos motorizados con capacidad no mayor a ocho plazas, sin contar el asiento del conductor.

Tabla 1-2. Vehículos de subcategoría M1

CÓDIGO	TIPO	ESQUEMA	DESCRIPCIÓN
SED	SEDÁN		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.1.1
SWG	STATION WAGON		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.1.4
HBK	HATCHBACK		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.1.9
CPE	COUPÉ		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.1.5
CNV	CONVERTIBLE		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.1.2 y 3.1.1.6
SUV	VEHÍCULO DEPORTIVO UTILITARIO		Vehículo utilitario fabricado con carrocería cerrada o abierta, con techo fijo o desmontable y rígido o flexible. Para cuatro o más asientos en por lo menos dos filas. Los asientos pueden tener respaldos abatibles o removibles para proveer mayor espacio de carga. Con dos o cuatro puertas laterales y apertura posterior. Por su configuración (altura libre del piso, ángulos de ataque, ventral y de salida) generalmente puede ser utilizado en carreteras en mal estado o fuera de ellas. La tracción puede estar en las cuatro ruedas o en dos. Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.1.9.
LIM	LIMUSINA		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.1.3

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN 2016)

El Reglamento n° 46 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas: Prescripciones uniformes sobre la homologación de los dispositivos de visión indirecta y los vehículos de motor en lo referente a la instalación de dichos dispositivos. La tabla 2-2, muestra el apartado 15.2.1.1.1, donde se establece la clase del retrovisor según la categoría del vehículo.

Tabla 2-2. Clase de retrovisores según la categoría del vehículo.

Categoría de vehículo	Retrovisor interior	Retrovisores exteriores				
	Retrovisor interior Clase I	Retrovisor principal (grande) Clase II	Retrovisor principal (pequeño) Clase III	Retrovisor de gran angular Clase IV	Retrovisor de proximidad Clase V	Retrovisor frontal Clase VI
M1	Obligatorio A menos que el vehículo tenga instalado un material distinto del acristalamiento de seguridad O en el campo de visión prescrito en el apartado 15.2.4.1.	Optativo	Obligatorio Uno en el lado del conductor y uno en el / lado del pasajero. Como alternativa, pueden instalarse retrovisores de clase II.	Optativo Uno en el lado del conductor y/o uno en el lado del pasajero.	Optativo Uno en el lado del conductor y uno en el lado del pasajero, (ambos deben estar instalados, como mínimo, 2 m por encima del suelo).	Optativo (ambos deben estar instalados, como mínimo, 2m por encima del suelo).

Fuente: (CEPE 2014a)

2.2.2 Normativas para espejos retrovisores

La Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en Carreteras (NHTSA, por sus siglas en inglés) PROCEDIMIENTO DE PRUEBA DE LABORATORIO PARA FMVSS 111—Espejos retrovisores (NHTSA 1999), el Reglamento n° 81 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) — Prescripciones uniformes sobre la homologación de retrovisores de los vehículos de motor de dos ruedas, con o sin sidecar, respecto a la instalación de dichos retrovisores en el manillar (CEPE 2014b) y el Reglamento n° 46 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas: Prescripciones uniformes sobre la homologación de los dispositivos de visión indirecta y los vehículos de motor en lo referente a la instalación de dichos dispositivos (CEPE 2014a); establecen ciertos requisitos de resistencia estructural para los espejos retrovisores de los vehículos. Estos requisitos están diseñados para garantizar que los espejos sean lo suficientemente fuertes como para resistir las fuerzas que actúan sobre ellos durante el uso normal del vehículo, así como en caso de colisión.

Es importante que los espejos retrovisores cumplan con los requisitos del literal 6.1.3.2 Ensayo de impacto y el literal 6.1.3.2.3 Ensayo de flexión de la carcasa de protección unida al brazo (clase VII) establecidos en el reglamento n° 46 de la CEPE para garantizar la seguridad en las carreteras. Un espejo que no cumpla con estos requisitos podría romperse o desprenderse durante una colisión, lo que aumentaría el riesgo de lesiones graves para los ocupantes del vehículo y otros usuarios de la carretera.

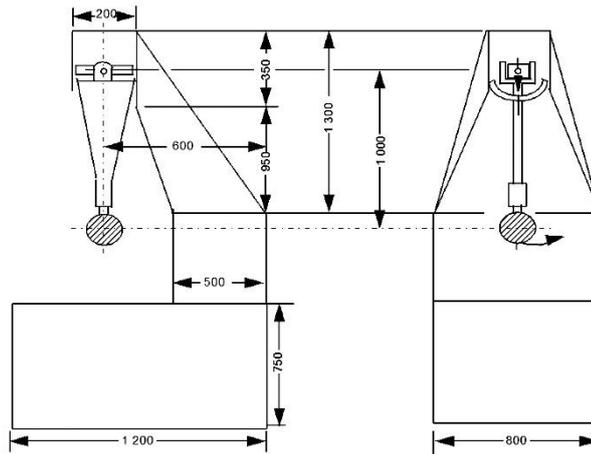


Figura 3-2. Dispositivo para ensayo de impacto de retrovisores.

Fuente: (CEPE 2014a)

El dispositivo de ensayo estará formado por un péndulo que pueda oscilar alrededor de dos ejes horizontales perpendiculares entre sí, uno de los cuales será perpendicular al plano que contenga la trayectoria de lanzamiento del péndulo. El extremo del péndulo llevará un martillo formado por una esfera rígida de un diámetro de 165 ± 1 mm y recubierta por una capa de 5 mm de espesor de caucho de dureza Shore A 50. Deberá haber un dispositivo que permita determinar el ángulo máximo trazado por el brazo en el plano de lanzamiento. Un soporte fijado rígidamente al armazón del péndulo servirá para fijar las muestras en las condiciones de impacto precisadas en el apartado 6.1.3.2.2.6 del reglamento n°46.

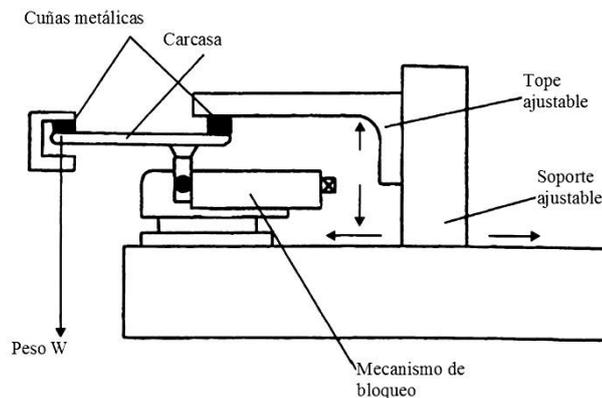


Figura 4-2. Dispositivo para el ensayo de flexión en retrovisores

Fuente: (CEPE 2014a)

Para el ensayo de flexión, la carcasa de protección se colocará horizontalmente en un dispositivo de manera que sea posible bloquear completamente los elementos de ajuste del soporte de fijación. Se inmovilizará el extremo más cercano al punto de fijación en el elemento de ajuste del soporte mediante un tope rígido de 15 mm de ancho que cubra toda la anchura de la carcasa en el sentido

de la dimensión mayor de la carcasa. En el otro extremo, se colocará en la carcasa otro tope idéntico al anteriormente descrito para aplicar sobre este la carga de ensayo prevista (figura 4-2). Se podrá fijar el extremo de la carcasa opuesto a aquel sobre el que se ejerce la fuerza en vez de mantenerlo en su posición, como muestra la figura 4-2 y la carga de ensayo será de 25 kilogramos durante un minuto (CEPE 2014a).

2.2.3 Materiales compuestos

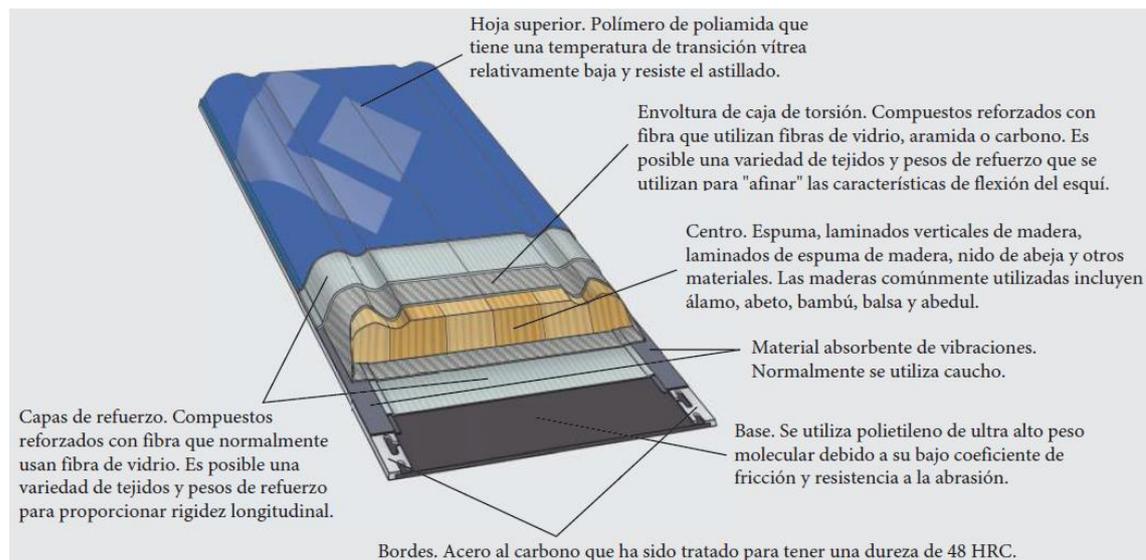


Figura 5-2. Sección transversal de un esquí de nieve de alto rendimiento.

Fuente: (Callister Jr, Rethwisch 2018)

Los composites en idioma inglés o materiales compuestos traducidos al español consisten en dos o más materiales constituyentes, principalmente refuerzos de fibra y matrices, unidos entre sí, como resultado se obtienen mejores propiedades en los composites finales en comparación con los materiales constituyentes. Sin embargo, los materiales constituyentes conservaron sus atributos únicos. Los materiales compuestos son los materiales de elección en muchas aplicaciones de ingeniería. Se utilizan en diversas industrias, como la automotriz, la edificación y la construcción, la aeroespacial, las telecomunicaciones, la industria de los inmuebles y la marina (Mansor, Sapuan 2018).

Entre los materiales compuestos se pueden identificar tres grandes grupos:

- Materiales compuestos sintéticos
- Materiales compuestos naturales
- Materiales compuestos híbridos

2.2.3.1 Materiales compuestos sintéticos

Los compuestos sintéticos se pueden definir como compuestos hechos artificialmente. Las fibras/bigotes/partículas/láminas sintetizadas químicamente se clasifican como inorgánicas u orgánicas según su contenido y se denominan refuerzos sintéticos. Los compuestos sintéticos fueron nombrados usando estos refuerzos sintéticos como compuestos (Anish Khan et al. 2020).

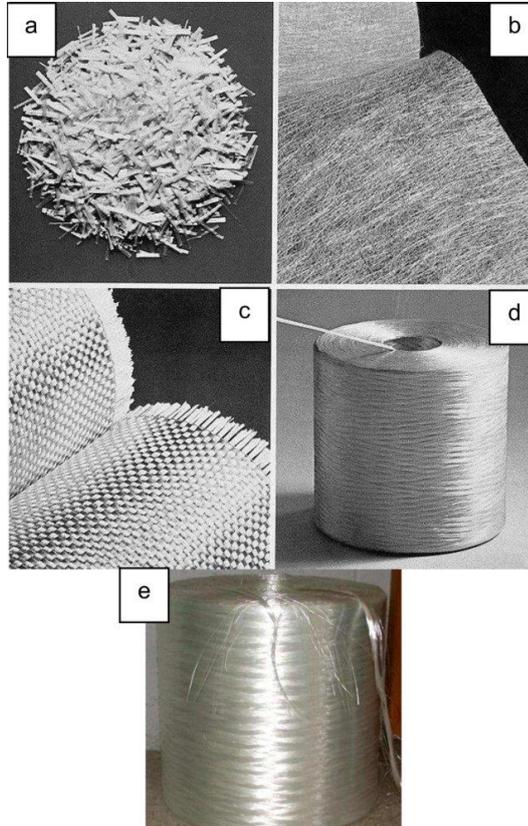


Figura 6-2. Presentaciones comerciales de la fibra de vidrio (a) Fibra corta. (b) Mats. (c) Tejidos. (d) Hilados. (e) Mechas

Fuente: (Villacis 2011)

Por ejemplo, las telas de fibra de vidrio, que son materiales de refuerzo sintéticos en las primeras aplicaciones de los materiales compuestos, se utilizaron en aplicaciones secundarias como los radomos en la industria aeronáutica. Además, el método de bobinado de filamentos con fibra de vidrio se utilizó por primera vez en la producción de recipientes a presión para motores de misiles "Polaris" como aplicación principal (Halpin, Finlayson 2017).

2.2.3.2 Materiales compuestos naturales

Los compuestos naturales se pueden denominar un tipo de compuestos cuyo material de refuerzo está hecho de ingredientes naturales. Especialmente estos compuestos se han utilizado desde antes de la era común. Por ejemplo, los israelitas utilizaron paja picada y otras materias vegetales para mejorar el rendimiento estructural de los muros de adobe en el año 1200 a. C. (Balasubramanian

2013). Se puede afirmar que la madera se forma por la dispersión de fibras de celulosa fuertes y flexibles en la matriz de lignina (Halpin 1992) - (Gay, Gay 2014).



Figura 7-2. Capó de matriz polimérica y fibra natural.

Fuente: (Pachacama 2015)

Cuando se analizan las áreas de aplicación de los compuestos naturales, se documenta su uso en los sectores aeroespacial y automotriz. Se destacan por el desarrollo de materiales biodegradables y respetuosos con el medio ambiente, que en ambos sectores se denominan materiales verdes. Como se puede observar en estas aplicaciones, en composites naturales; se pueden utilizar adhesivos en lugar de compuestos termoestables (Khan, Hameed Sultan, Ariffin 2018).

2.2.3.3 Materiales compuestos híbridos



Figura 8-2. Aplicación de compuestos híbridos en la aeronáutica.

Fuente: (Anish Khan et al. 2020)

Híbrido significa una estructura formada por la combinación de dos o más elementos diferentes. Los compuestos híbridos se pueden definir como materiales compuestos que consisten en al menos dos materiales de refuerzo diferentes incrustados en el material de la matriz. El material de refuerzo natural o sintético se puede utilizar en compuestos híbridos. Por ejemplo, las fibras de vidrio combinadas con fibras naturales se pueden obtener a bajo costo, alta resistencia específica y buen material de aislamiento eléctrico (Anish Khan et al. 2020).

Otro ejemplo, los refuerzos a base de vidrio (fibras) son económicos y carecen de altas propiedades mecánicas. Mediante el uso de un compuesto híbrido de refuerzo de vidrio y carbono (fibras), se puede producir un material mecánicamente más fuerte y robusto a un costo menor (Callister Jr, Rethwisch 2018).

Tabla 3-2. Materiales de refuerzo comúnmente utilizados en los compuestos.

Natural			Sintético	
Animal	Mineral	Celulosa Lignocelulosa	Orgánico	Inorgánico
Seda Lana Cabello	Amianto	Estopa Hoja Semillas Frutas Madera Tallo Hierba/Caña	Aramida/Kevlar Poliétilenos Poliéster Aromático	Vidrio Carbón Boro Carburos de silicio

Fuente: (Khan, Hameed Sultan, Ariffin 2018), (George et al. 2004)

2.2.4 Componentes de un material compuesto natural

Un material compuesto es básicamente un sistema de materiales formado por dos o más fases distintas, cuya combinación proporciona propiedades que son diferentes y mejores a las de sus constituyentes. De manera general se considera a un material compuesto como un material multifásico, lo que refleja la importancia de cada una de las fases constituyentes. Es decir, la combinación de propiedades debe ser adecuada, para que el resultado obtenido sea un material con propiedades mejoradas de manera significativa (Mazumdar 2001).

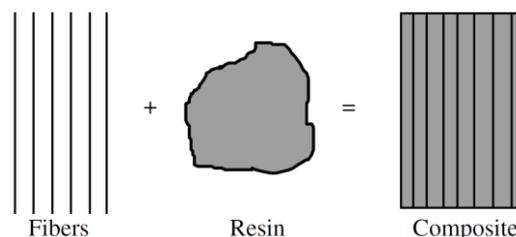


Figura 9-2. Material compuesto utilizando fibras y resina.

Fuente: (Mazumdar 2001)

De manera más específica, los componentes de un material compuesto se denominan: matriz y refuerzo, mientras que la superficie de conexión entre estos se denomina interfaz. Además, existe la posibilidad de que se adicionen agentes de acoplamiento, rellenos y revestimientos, siendo su principal objetivo mejorar la superficie de la interfaz del composite, de tal forma que las propiedades del material se magnifiquen en lugar de verse afectadas (Guerrero 2011).

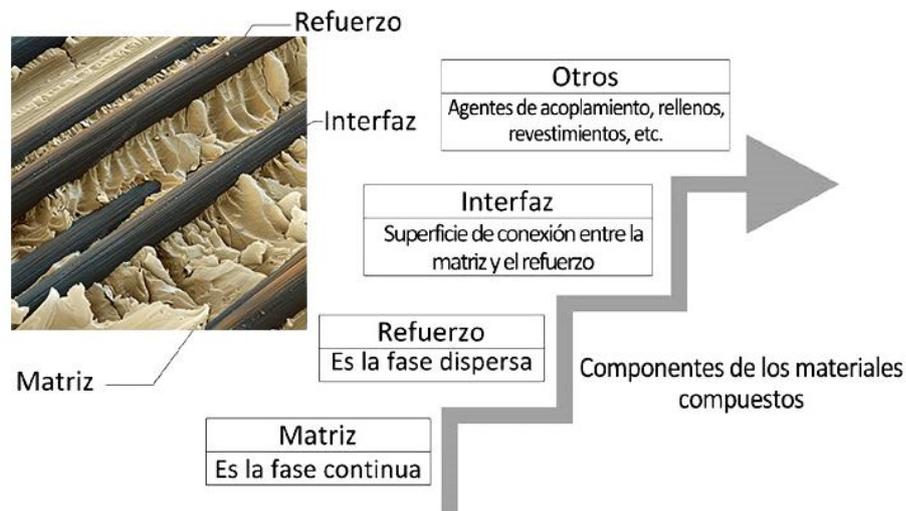


Figura 10-2. Componentes los materiales compuestos.

Fuente: (Lybray. sin fecha)

2.2.4.1 Matrices

Existen tres tipos de matriz: (i) metálica, (ii) cerámica y (iii) polimérica. De manera general, del tipo de matriz que se utilice, dependerá el control principal de las propiedades eléctricas, el comportamiento químico y el uso a temperaturas elevadas del material compuesto (Askeland, Wright 2016).

a) Matriz Metálica

Entre las matrices metálicas más comunes se encuentran materiales como el aluminio, magnesio, cobre, níquel y aleaciones de compuestos inter metálicos. Estos materiales comúnmente son reforzados con fibras cerámicas y metálicas. El uso de este tipo de compuestos es muy común en las industrias aeroespacial y automotriz, ya que este tipo de matrices permiten que el material compuesto trabaje a altas temperaturas. Por otro lado, la producción de este tipo de compuestos suele resultar costosa debido a la complejidad de los procesos y la tecnología de los equipos necesarios para su producción (Askeland, Wright 2016).

Las matrices metálicas pueden contener entre 20 y 50% de volumen de refuerzo y generalmente se usan cuando se va a trabajar con aplicaciones que requieren dureza, rigidez, resistencia a altas

temperaturas, alta resistencia mecánica y módulo específico alto. Las superaleaciones reforzadas con fibras metálicas (como el tungsteno) o fibras cerámicas (como el SiC o el B₄N) conservan su resistencia a temperaturas altas, lo que permite que los motores a chorro funcionen con mayor eficiencia. De igual forma, el titanio y los aluminuros de titanio reforzados con fibras de SiC se usan en la fabricación de álabes y discos para turbinas (Askeland, Wright 2016).

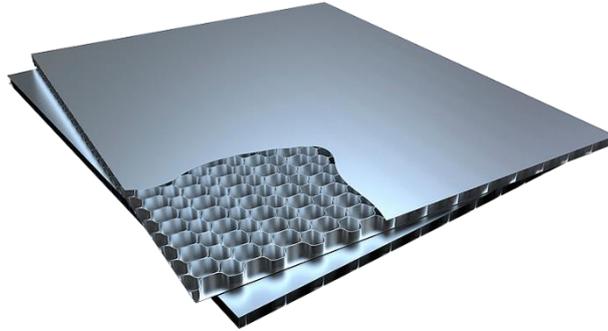


Figura 11-2. Matriz metálica tipo Panel - Sándwich.

Fuente: (freepng.es 2015)

De manera particular, los compuestos reforzados con partículas y los materiales metálicos convencionales son isotrópicos, mientras que los materiales reforzados con fibras son generalmente anisotrópicos. Los composites de matriz metálica reforzados con partículas presentan mayor ductilidad y su naturaleza isotrópica los convierte en una alternativa atractiva (Yung C. Shin, Chinmaya Dandekar (auth.) 2016).

Los refuerzos utilizados con matrices metálicas deben cumplir con los siguientes requerimientos:

- Baja densidad.
- Compatibilidad mecánica (un coeficiente de expansión térmica bajo, pero que se adapte a las características de la matriz).
- Compatibilidad química.
- Estabilidad térmica.
- Alto módulo de elasticidad.
- Alta resistencia a la tracción y a la compresión.
- Buena capacidad de procesamiento
- Eficiencia económica.

b) Matriz cerámica

Las matrices cerámicas tienen buenas propiedades a temperaturas elevadas y son menos densas en comparación con los compuestos de matriz metálica. Con este tipo de matrices es muy común que también se usen fibras cerámicas como refuerzo. De esta manera se ha logrado obtener mejor

resistencia y tenacidad a la fractura en comparación con los materiales cerámicos convencionales, los mismos que se caracterizan por ser muy frágiles (Guerrero 2011).

Tabla 4-2. Efecto de las fibras de refuerzo de SiC sobre las propiedades de algunos materiales cerámicos.

Material	Resistencia a la flexión (MPa)	Tenacidad a la fractura (MPa \sqrt{m})
Al ₂ O ₃	550	5.5
Al ₂ O ₃ /SiC	790	8.8
SiC	500	4.4
SiC/SiC	760	25.3
ZrO ₂	210	5.5
ZrO ₂ /SiC	450	22.2
Si ₃ N ₄	470	4.4
Si ₃ N ₄ /SiC	790	56.0
Vidrio	60	1.1
Vidrio/SiC	830	18.7
Vidrio cerámico	210	2.2
Vidrio cerámico/SiC	830	17.6

Fuente: (Askeland, Wright 2016)

Los materiales compuestos de matriz cerámica reforzada con fibras están recibiendo gran atención porque son materiales que presentan buena resistencia a la oxidación debido al cerámico que conforma la matriz. Las fibras incorporadas como refuerzo permiten aumentar la tenacidad y la resistencia (tracción y flexión) del compuesto debido a la tendencia a ser arrancadas durante la deformación. Este arranque absorbe energía, de este modo, aumenta la tenacidad del material. A pesar de que el arranque de fibras durante la deformación es ventajoso, la adhesión entre las fibras y la matriz debe ser suficientemente fuerte para que las fibras de refuerzo fortalezcan el material compuesto de manera efectiva. De esta forma, el control sobre la adhesión entre las fibras y la matriz es un factor importante para el desarrollo de estos materiales (L Chung 2010).

Además de exhibir alta resistencia a la oxidación, los cerámicos también presentan alta resistencia al deterioro por temperaturas elevadas, por lo que se usan en componentes de automóviles y motores de turbinas a gas de aeronaves. Los compuestos de matriz cerámica reforzados con fibra cerámica han obtenido una mejor resistencia y tenacidad a la fractura en comparación con productos cerámicos convencionales. Los refuerzos de fibra mejoran de varias maneras la tenacidad de la matriz cerámica (Guerrero 2011).

c) Matriz Polimérica

Las matrices poliméricas se utilizan ampliamente en diversas aplicaciones debido a su baja densidad, excelentes propiedades a temperatura ambiente, facilidad de moldeo y costo relativamente bajo. Estas matrices se pueden reforzar con fibras naturales y sintéticas. Las matrices poliméricas se pueden clasificar en tres tipos: termoplásticas, termoestables y elastoméricas.

La **matriz termoplástica** se vuelve líquida cuando se calienta. Este ciclo reversible de ablandamiento y endurecimiento es lo que lo hace apto para el reciclaje. Algunos ejemplos de matrices termoplásticas son el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el cloruro de polivinilo (PVC) y el tereftalato de polietileno (PET). Además, existen polímeros termoplásticos de origen natural, como el ácido poliláctico (PLA) o el polihidroxibutirato (PHB), cuyas propiedades son muy similares a las del PE, PP y otros polímeros termoplásticos derivados del petróleo.

La **matriz termoestable** tiene múltiples enlaces cruzados en una estructura de red tridimensional. Se polimerizan por reacciones químicas que suelen ser irreversibles. No se reprocesan fácilmente después de las reacciones de reticulación y, por lo tanto, son difíciles de reciclar. Los termoestables no se derriten cuando se calientan, pero comienzan a degradarse. Algunos ejemplos son: resinas de poliéster, resinas epoxi y baquelita.

La **matriz elastomérica** tiene grandes regiones elásticas que se pueden estirar de cinco a seis veces su longitud original. Sin embargo, su módulo de elasticidad es bajo. Tienen menos enlaces cruzados entre cadenas que los termoestables. El caucho natural es una de esas matrices.

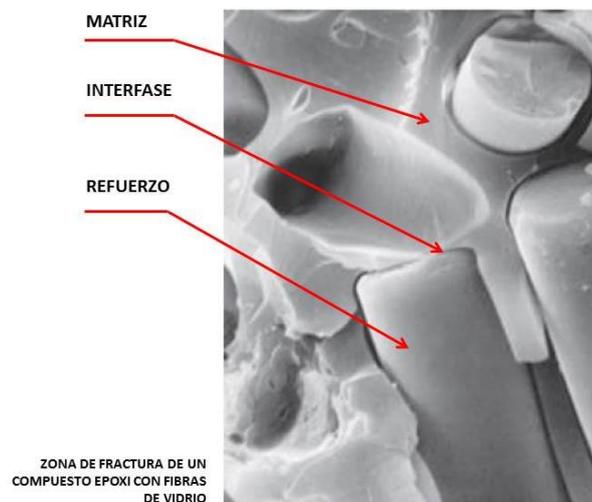


Figura 12-2. Composite de matriz polimérica con refuerzo de fibras sintéticas.

Fuente: (3B Tecnología 2015)

d) Matriz polimérica termoestable – Resina Epoxi

En un material compuesto la matriz desempeña varias funciones, fundamentalmente es la fase continua, la cual engloba y sostiene los elementos de refuerzo, otorgando consistencia y continuidad al material. Entre las funciones básicas se tienen las siguientes:

- Aglutinar los refuerzos
- Transferir las cargas aplicadas sobre la matriz hacia los refuerzos
- Proteger la superficie de los refuerzos de la abrasión mecánica
- Proveer al refuerzo de una barrera contra los efectos del medio ambiente tales como la humedad
- En caso de que el material esté reforzado con fibras, la matriz debe proveer soporte lateral contra la posibilidad de pandeo de estas bajo cargas de compresión.

El material utilizado como matriz influye en las propiedades físicas, químicas, eléctricas y mecánicas del compuesto, por ejemplo: en el caso de las propiedades mecánicas, la resistencia a la tracción, la ductilidad, la resistencia al impacto, entre otras, dependerán del tipo de matriz y a su vez del tipo de refuerzo y la configuración utilizada.

El modo de falla del compuesto está afectado en gran medida por el tipo de matriz y por su compatibilidad con el refuerzo. Por otro lado, en el caso de las propiedades eléctricas, la matriz puede dotar al material de una capacidad aislante o conductora. En lo referente a las propiedades químicas, estas son determinantes en la resistencia de un compuesto expuesto a la acción del medio ambiente. Para nuestro estudio se usará resina epoxi CRETONBOND 52YN que es una matriz polimérica termoplástica que tiene como características: baja densidad, excelentes propiedades a temperatura ambiente, facilidad de conformado y costos relativamente bajos. ANEXO A.

La resina epoxi en su estructura cuenta con un monómero reactivo, generalmente estireno, que formará entrecruzamientos entre las cadenas poliméricas durante el proceso de curado, además de proporcionar la viscosidad adecuada a la resina. Para que ocurra la reticulación (curado) se adiciona un iniciador, que es el encargado de desencadenar la reacción y posteriormente un catalizador o promotor para acelerar dicha reacción (Goodman, Dodiuk-Kenig 2014).

Las resinas epóxicas son una familia de materiales poliméricos termofijos, ya que estos no generan productos de reacción cuando son endurecidos (enlace cruzado) y, por tanto, poseen baja contracción al curar. Este tipo de resinas también tienen una buena adhesión a otros materiales,

buena resistencia química y al medio ambiente, buenas propiedades como aislantes eléctricos y buenas propiedades mecánicas (Smith, Hashemi 2006).

Los compuestos epoxi son un grupo de éteres cíclicos u óxidos de alqueno (alquileo) en los que un átomo de oxígeno está unido a dos átomos de carbono adyacentes (estructura de oxirano). Estos éteres reaccionan con grupos amino, hidroxilo y carboxilo (endurecedores) y ácidos minerales para formar compuestos relativamente estables. Actualmente, existen muchos tipos de resinas base, y el sistema de aplicación se mejora constantemente, y es difícil imaginar algún campo técnico en el que no se utilicen resinas epoxi. Un endurecedor o endurecedor es un producto que, cuando se añade a una sustancia macromolecular en una cantidad superior a la cantidad catalítica, reacciona con ella y la convierte en un polímero irreversible con un conjunto de propiedades completamente definidas que antes no existían.

Entre los varios sistemas de importancia industrial que utilizan endurecedores se encuentran los sistemas de resinas epoxídicas. La tensión del enlace del anillo oxirano es muy elevada, siendo por esto de una alta reactividad tanto química como bioquímica, por lo que es fácilmente atacado por la mayoría de los compuestos de adición. Según el origen de los grupos oxiranos, la familia de las resinas epoxicas se dividen en cinco grupos principales:

- Éteres glicéricos
- Ésteres glicéricos
- Aminas glicéricos
- Alifáticas lineales
- Ciclo alifáticas

Comercialmente los éteres son más importantes, ya que el 95% de las resinas utilizadas son glicidil-éteres obtenidos por reacción de la epiclorhidrina con el bisfenol A (2-2- bis(p-hidroxifenil) propano) con formación de una molécula de diglicil éter de bisfenol. La razón del uso de estas materias primas es por una parte la alta reactividad de la epiclorhidrina que permite su combinación con cualquier molécula portadora de hidrógenos activos, así como su fácil obtención por petroquímica. El bisfenol A es comparativamente barato al serlo los productos de partida para su síntesis: acetona y fenol. Variando las reacciones estequiométricas entre la epiclorhidrina y el bisfenol A, se obtiene una molécula del siguiente tipo:

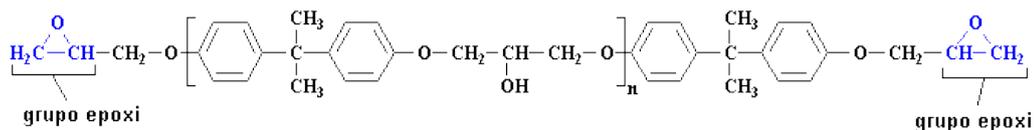


Figura 13-2. Estructura química de la resina epoxi.

Fuente: (Mariano 2011)

Siendo n el grado de polimerización y que puede llegar a variar desde $n=1$ hasta $n=12$, según la proporción de los reaccionantes, se conforman mezclas variables de resinas de alto y bajo peso molecular. La parte repetida de la molécula tiene un peso molecular de 284. Los pesos de las moléculas sucesivas serán: $n = 0$; P.M. = 340, $n = 1$; P.M. = 624, $n = 2$; P.M. = 908, etc., lo que confiere a cada una de las resinas distintas características. Cuando el peso molecular es superior a 908, son sólidas, mientras que resinas con menor peso molecular son líquidas o semisólidas (Goodman, Dodiuk-Kenig 2014).

Las resinas comerciales son mezclas de distintos pesos, de manera que suele conocerse el peso molecular promedio, pero no la distribución de los oligómeros en la muestra. Además del peso molecular, existen otros parámetros que caracterizan las resinas epoxi:

- **Equivalente epoxi:** Es el peso de resina que contiene un equivalente gramo de epoxi. Se considera como la mitad del peso molecular medio.
- **Índice de hidroxilo:** Es el peso de la resina que contiene un equivalente gramo de hidroxilo.
- **Contenido de cloro reactivo:** Es el cloro presente en forma de cloruro hidrolizable, como producto de la presencia de trazas clorhídricas en el proceso de síntesis.
- **Color de la resina:** Es el producto de los grupos fenólicos libres y que por oxidación forman quinonas coloreadas.
- **Punto de fusión:** Que al ser de una mezcla no se presenta en un intervalo muy estrecho, adoptándose la temperatura a la cual la resina le da un grado de fluidez arbitrario.
- **Viscosidad y contenido en volátiles.**

Las resinas epóxicas se utilizan en una amplia variedad de recubrimientos protectores y decorativos gracias a su buena adhesión y resistencia mecánica y química. Este tipo de resinas se usan principalmente en revestimientos de latas y tambores, recubrimientos para pintura de automóviles y artefactos, y recubrimientos de cables. Dentro de la industria eléctrica y electrónica, las resinas epóxicas se usan debido a su resistencia dieléctrica, baja contracción durante el curado, buena adhesión y su capacidad de conservar sus propiedades bajo distintas condiciones ambientales, como sitios mojados y con una alta humedad. Las aplicaciones típicas de este tipo de resinas incluyen aislantes de alto voltaje, conmutadores y encapsulados de transistores.

Las resinas epóxicas se utilizan también para la fabricación de laminados y materiales de matriz de fibra reforzada. Este tipo de resinas son el material matriz predominante en la mayoría de los componentes de alto desempeño, como en los fabricados con fibras de módulos altos (Smith, Hashemi 2006). A continuación, se detallan varias características que presentan los diferentes tipos de resinas.

Tabla 5-2. Características generales de las diferentes resinas.

Propiedad	Matriz				
	Poliéster insaturado UP	Resina Epoxi	Resina Fenólica	Resina Vinilester	Resina Poliamida
Densidad(gr/cm ³)	1.17-1.26	1.17-1.25	1.25-1.3	1.17-1.25	1.27-1.42
Alargamiento a la rotura (%)	<3	6-8	<3	3.5-7	6-10
Fluencia	Muy baja				
Temperatura de moldeo (°C)	Temperatura ambiente hasta 180	Temperatura ambiente hasta 170	150-190	Temperatura ambiente hasta 175	350
Temperatura de reblandecimiento	80-160	80-130	100-150	100-150	260 en periodos cortos hasta 500
Propiedades Teológicas	Muy Buenas				Depende del fabricante
Calor de reacción	Reacción exotérmica dependiente de la geometría pieza				
Contracción del fraguado (%)	6-10 lineal entre 1.8 y 2.4	1-3	0.5-1.5	0.1-1	0.5-0.7
Contracción posterior (%)	Hasta 3	Prácticamente ninguna	Hasta 0.4	Hasta 1	Prácticamente ninguna
Tiempo de almacenamiento	Temp. Amb. 6 meses	Bajas Temp. 6 meses	Temp. Amb. 6 meses	Temp. Amb. 6 meses	Temp. Amb. 6 meses

Fuente: (Smith, Hashemi 2006)

2.2.4.2 Refuerzo.

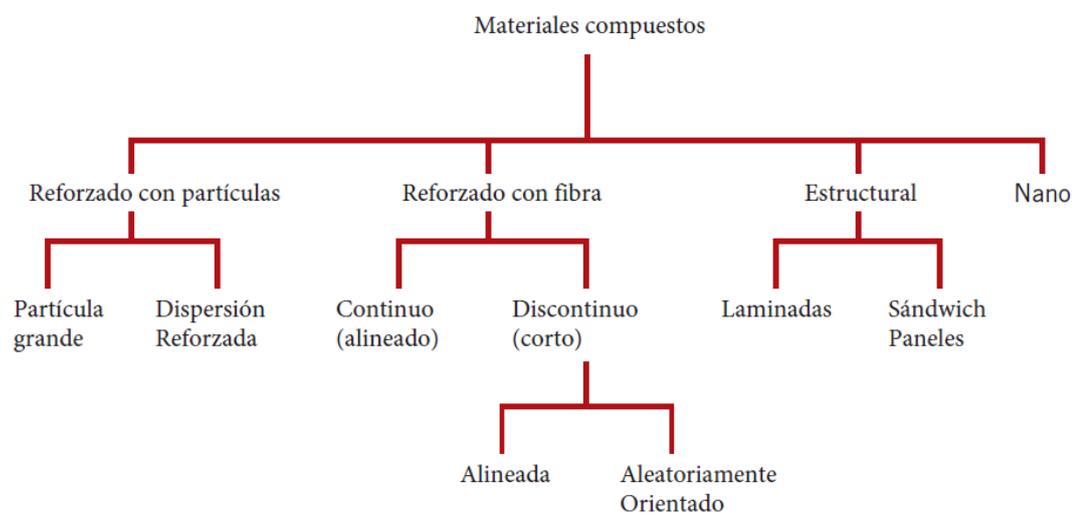


Figura 14-2. Tipos de refuerzo en materiales compuestos.

Fuente: (Callister Jr, Rethwisch 2018)

En la Figura 14-2 se muestra un esquema simple para la clasificación de los materiales compuestos, que consta de cuatro divisiones principales: reforzados con partículas, reforzados con fibras, estructurales y nanocompuestos.

La fase dispersa para compuestos reforzados con partículas es equiaxial (es decir, las dimensiones de las partículas son aproximadamente las mismas en todas las direcciones); para compuestos reforzados con fibra, la fase dispersa tiene la geometría de una fibra (es decir, una gran relación longitud-diámetro). Los compuestos estructurales son multicapa y están diseñados para tener bajas densidades y altos grados de integridad estructural. Para los nanocompuestos, las dimensiones de las partículas de la fase dispersa son del orden de nanómetros (Callister Jr, Rethwisch 2018).

a) Fibras Naturales

La preferencia por las fibras sintéticas sobre los compuestos poliméricos está perdiendo impulso debido a los precios más altos, la no biodegradabilidad y las preocupaciones sobre el reciclaje. Estos problemas se pueden abordar fácilmente mediante el desarrollo de fibras naturales en el campo de los compuestos poliméricos. La fibra natural, como su nombre indica, es una sustancia especial no artificial que se produce de forma natural. Como material renovable, las fibras naturales se consideran una buena alternativa a los materiales convencionales. Las fibras naturales están ganando popularidad en las aplicaciones estructurales automotrices debido a su relación de aspecto más alta y su alta resistencia (Anish Khan et al. 2020).

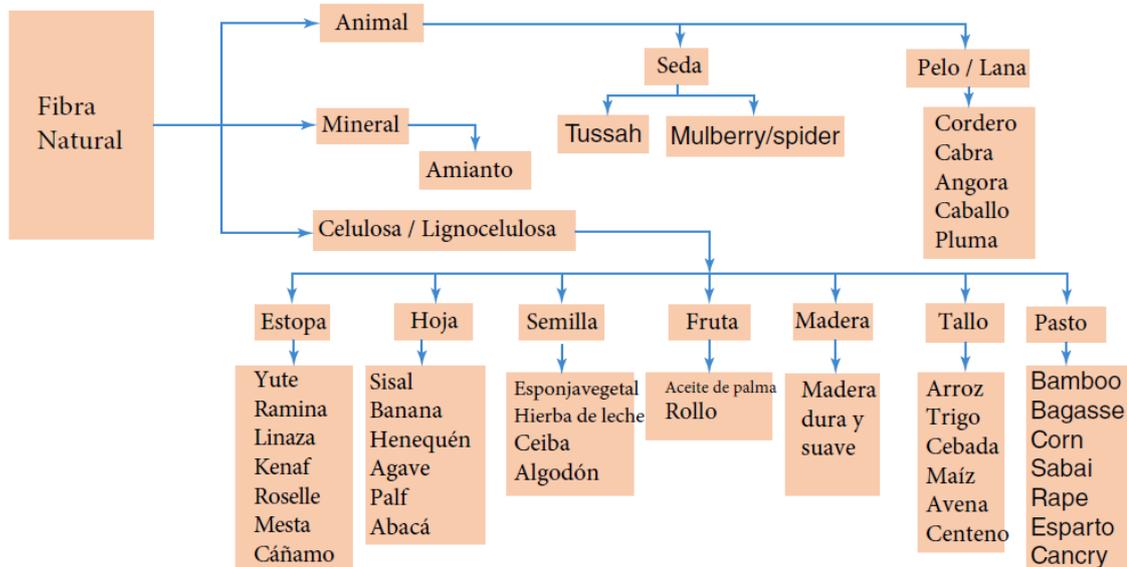


Figura 15-2. Clasificación de las fibras naturales.

Fuente: (Anish Khan et al. 2020).

Además, las fibras naturales también están atrayendo la atención en áreas como los textiles, los implantes médicos, las estructuras de construcción y la aviación. Los investigadores están analizando nuevas fibras vegetales a la luz de su interés en desarrollar fibras ligeras, renovables, económica y socialmente beneficiosas para reemplazar los materiales tradicionales. Se ha demostrado que los materiales compuestos que utilizan fibras naturales tienen buena resistencia eléctrica, mejores propiedades mecánicas, buen aislamiento térmico y acústico y, en algunos casos, mejor resistencia a la fractura (Srinivasan et al. 2014). Las fibras se pueden fabricar en diversas formas, como alfombras, tapetes, telas e hilos, que luego se pueden usar como refuerzos en materiales compuestos. (Anish Khan et al. 2020).

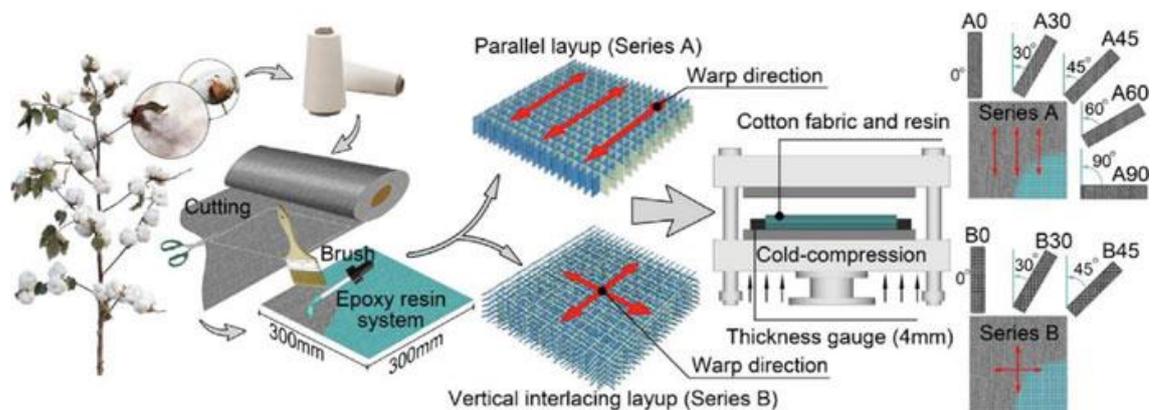


Figura 16-2. Laminados epoxi reforzados con tela de algodón.

Fuente: (Sanjay Mavinkere et al. 2022)

Las propiedades físicas y mecánicas de las fibras naturales son menos atractivas que las fibras sintéticas. Sin embargo, cuando se comparan estas propiedades, se puede decir que las fibras sintéticas se pueden sustituir en algunas, pero no en todas, las áreas de los compuestos poliméricos. Estas áreas pueden ser interiores de automóviles, paneles, techos, tejas, etc., donde los requisitos de soporte de carga son menores.

Tabla 6-2. Propiedades de las fibras naturales en relación con las de las fibras sintéticas.

Fibra	Densidad (g/cm ³)	Longitud (mm)	Diámetro (μm)	Tensión de rotura (%)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Resistencia específica a la tracción (MPa/(g/cm ³))	Módulo de Young específico (GPa/(g/cm ³))
Ramie	1.5	900–1200	25–50	2.0–3.8	400–938	44–128	270–620	29–85
Silk	1.3	Continuous	10–13	15–60	100–1500	5–25	100–1500	4–20
Cotton	1.5–1.6	10–60	11–22	3.0–10	287–800	5.5–13	190–530	3.7–8.4
Pineapple leaf fiber	1.07	3–9	100–280	2.2	120–130	4405	112.15–121.5	0.68–2.04
Flax	1.5	5–900	12–16	1.2–2.2	345–1830	27–80	230–1220	18–53
Hemp	1.4–1.5	5–55	16–50	1.6	550–1110	58–70	370–740	39–47
Jute	1.3–1.5	1.5–120	17–20	1.5–1.8	393–800	10–55	300–610	7.1–39
Harakeke	1.3	4–5	6–30	4.2–5.8	440–990	14–33	338–761	11–25
Sisal	1.33–1.5	900–1000	200–400	2.0–2.5	507–855	9.4–28	362–610	6.7–20
Alfa	1.4	350	—	15	300–900	18–25	214–643	13–18
Coir	1.15–1.46	20–150	10–460	15–30	131–200	4–6	110–180	3.3–5

Oil palm	0.7–1.55	248	50–500	3–4	200–250	3.20	129–357	2.06–4.57
Abaca	1.5	1800–3700	40	1.0–7.0	100–900	6–32	70–600	4–21.3
Bagasse	1.25	1.2	15	1.1	170–290	17–28	136–232	13.6–22.4
Bamboo	0.6–1.1	1–5	14–27	1–3	450–800	5–25	409–1333	4.54–42
Banana	0.91	2.5–13	80–250	1.4–2.9	53.7	3–15	59.01	3–16
Curaua	1.3–1.5	150–1500	40–320	3.7–4.3	500–1150	63.7	333.33–885	7.87–9.08
Date palm	0.9–1.2	20–250	100–1000	2.5–5.4	393–773	13–26.5	327.5–858.89	10.83–29.44
Isora	1.39	6–14	10–20	5, 6	550	—	395.68	—
Kenaf	0.6–1.5	3000	20–80	1, 2	400–800	12	266.67–1333.33	8–20
Piassava	1.40	134–143	400–2400	5–10	138.5	—	98.9	—
E glass	2.5	Continuous	0.55–0.77	2.5	2000–3000	70	800–1400	29
Carbon	1.65–1.75	Continuous	5–10	1.7	3790	—	2165–2400	—
Kevlar-49	1467	Continuous	12	2.8	2900–3620	151.7	1977–2468	103.4

Fuente: (Anish Khan et al. 2020)

b) Microestructura de Fibras Naturales

Las fibras naturales consisten en estructuras complejas con lignina amorfa como refuerzo y/o hemicelulosa como matriz. Además del algodón, las fibras naturales suelen contener celulosa, lignina, hemicelulosa, pectina, compuestos solubles en agua y componentes de cera. La lignina, la hemicelulosa y la pectina funcionan juntas como matriz y aglutinante para mantener la columna vertebral de celulosa en las fibras naturales.

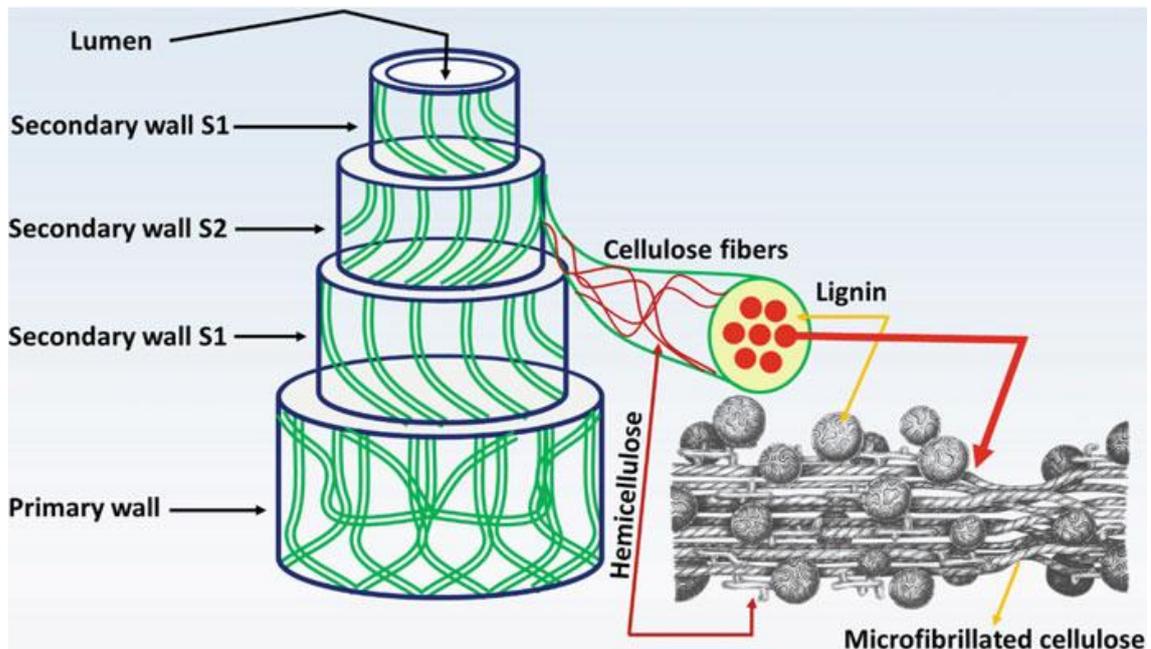


Figura 17-2. Partes de una fibra natural.

Fuente: (Sanjay Mavinkere et al. 2022)

c) Polímeros reforzados con fibras naturales

Un compuesto es una combinación de dos o más componentes con diferentes fases que se pueden observar macroscópicamente. Los materiales compuestos tienen dos partes principales: una es la

matriz y la otra es el refuerzo. La matriz tiene propiedades constantes en toda la sección transversal y es flexible. Por lo tanto, se agrega otra fase en la matriz para mejorar el rendimiento en la dirección deseada, que se denomina refuerzo. La matriz brinda soporte y textura, y los refuerzos brindan fuerza a la matriz. Dependiendo de los materiales utilizados, la matriz se divide en tres tipos: polímero, matriz metálica y materiales compuestos de metal-cerámica. Los polímeros son la mejor opción para su uso en diversas industrias debido a su facilidad de procesamiento, mayor productividad y menores costos (Nabi Saheb, Jog 1999).

El polímero reforzado con fibra natural (NFRP) es un material compuesto que consiste en una matriz de polímero incrustada con fibras de alta resistencia como yute, algodón, seda, cáñamo, etc. Los posibles biopolímeros incluyen configuraciones de procesamiento específicas para mejorar propiedades específicas. PLA (ácido poliláctico), PHA (polihidroxialcanoato), PHB (polihidroxibutirato), PBS (succinato de polibutileno), TPS (almidón termoplástico) y PEF (furanato de etilenglicol) son biopolímeros con una tendencia común en los materiales compuestos. Entre todos los biopolímeros, se encontró que el PLA es el más económico y asequible (Markl, Grünbichler, Lackner 2018). El rendimiento de los compuestos depende no solo del porcentaje de fibra, la orientación y la forma, sino que también depende en gran medida de la adhesión de la interfaz/superficie (Anish Khan et al. 2020).

Tabla 7-2. Matrices poliméricas utilizadas en compuestos poliméricos de fibras naturales.

Fibras naturales termoestables	Termoplásticos		Polímeros biodegradables
Celulosa	Epoxy	Polipropileno Poliétileno Poliamida 66 (Pa66) Poliestireno Cloruro De Polivinilo	Polihidroxibutirato, mater-bi, un ácido poliláctico, ésteres de celulosa, plásticos de almidón, policaprolactona y poliésteres/copolíesteres alifáticos
Lino	Epoxy Melamina- Formaldehído	Polipropileno Poliétileno	
Yute	Epoxy Poliéster Éster De Vinilo Fenólico	Polipropileno Poliétileno	
Cabuya	Epoxy Poliéster Novolaca	Polipropileno Poliétileno Poliestireno	
Kenaf	Epoxy Fenólico	Polipropileno	
Cáñamo	Fenólico Epoxy Poliéster Éster De Vinilo	-	
Algodón	Poliéster Fenólico	-	
Fibra de coco	Poliéster	-	

Plátano	Poliéster Fenólico	-	
Bagazo	Fenólico	Polipropileno	
Bambú	Epoxy Poliéster	Polipropileno	
Piña	Poliéster Fenólico	Polietileno	
Harina/fibra de madera	Poliéster	Polipropileno Polietileno Poliestireno Cloruro De Polivinilo	
Ramina	-	Polipropileno	
Abacá	-	Valeratos de polihidroxibutirato	
Aceite de palma	Poliéster fenólico	-	

Fuente: (Chand, Fahim 2020)

d) Cabuya



Figura 18-2. Planta de cabuya.

Fuente: (Mishky 2020)

Esta fibra es extraída de la hoja de la cabuya (*Furcraea Andina*), la misma que es una planta que crece en forma silvestre o cultivada en los valles y laderas de los andes y pertenece a la familia de las agaváceas. En el Ecuador la fibra natural cabuya “agave”, en el idioma quechua es conocida como “Chahuar” o “Chuchau”, desde épocas precolombinas ha sido utilizada en la elaboración de varios objetos de uso cotidiano (Jurado, Checa 2014).

Varias investigaciones han permitido obtener datos pertinentes sobre las características de la fibra natural de cabuya y aunque en la actualidad, se la considera como una fibra áspera y dura, su resistencia y durabilidad han dado aportes de suma importancia para cubrir las necesidades de los artesanos que elaboran objetos como son las shigras y tapetes (Cruz Bermeo 2010). Países como Colombia, Bolivia, Perú, Chile, Brasil y Costa Rica, han dado uso a la fibra natural cabuya en objetos similares, la serranía ecuatoriana como alpargatas, shigras, tapetes y alfombras; en Colombia, se utiliza la fibra cabuya en bolsos (shigra) para la cosecha y almacenamiento de café

(Betancourt Chávez, Salazar Garces 2017); En Bolivia, la fibra de cabuya es utilizada para elaboración de saquillos para la recolección de la hoja de coca y luego ser secada al sol sobre tapetes tejidos también con fibra cabuya, ese es el uso rústico que le dan a la fibra; Perú utiliza la fibra cabuya en la elaboración de alpargatas con sencillos diseño a diferencia del Ecuador; en Chile se elaboran cortinas, que se utilizan para cubrir las ventanas o puertas por las condiciones climáticas propias de la serranía; en Brasil y Costa Rica, se utiliza la fibra cabuya a modo de tapetes o alfombras, se utiliza al ingreso de las viviendas para la limpieza del calzado (Blanco, Muñoz 1991).

El género agave, abarca unas 166 especies, de las cuales en el Ecuador, se ha generado información sobre el cultivo y producción del agave furcraea utilizado para la extracción de la fibra, y en otros países como México, se cultiva el agave tequilana utilizado en la elaboración de tequila (Jurado, Sarzosa 2009). En el Ecuador la fibra natural cabuya, se encuentra en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Chimborazo, Azuay, Cañar, Loja, Guayas y Manabí. El proceso de elaboración de esta fibra actualmente es empírico, elaborado por artesanos de estas comunidades. Por lo general, se utiliza como cerco vivo para establecer linderos entre propiedades rurales, y como planta ornamental, no obstante, es una especie que ser incorporada en sistemas agroforestales.

Las fibras naturales de cabuya poseen una buena capacidad de refuerzo cuando se combinan adecuadamente con polímeros. Estas fibras son relativamente económicas, se originan a partir de recursos renovables y poseen valores favorables de resistencia y módulo específicos. Los polímeros termoplásticos tienen un tiempo de ciclo más corto, así como re-procesabilidad a pesar de los problemas con las altas viscosidades y la mala humectación de la fibra. La capacidad de renovación de las fibras naturales y la capacidad de reciclaje de los polímeros termoplásticos proporcionan una calidad ecológica atractiva a los materiales compuestos termoplásticos reforzados con fibras naturales resultantes (Jayaraman 2003).

Tabla 8-2. Características mecánicas de la fibra de cabuya.

Resistencia a la tracción	305 (MPa)
Resistencia al corte	112 (MPa)
Módulo de elasticidad	7.5 (MPa)
Elongación a la fractura	5%
Densidad	1.3 g/cm ³

Fuente: (Neto, Pardini 2006)

Tomando en cuenta que la resistencia a la tracción de la resina poliéster oscila entre 40 y 90 MPa, la fibra de cabuya constituye una buena opción para la elaboración de materiales compuestos.

Además, en nuestro país se encuentran disponibles diferentes tipos de fibras y tejidos elaborados con fibra de cabuya, los cuales son utilizados principalmente en aplicaciones artesanales y podrían usarse en la elaboración de materiales compuestos. Básicamente existen dos tipos de hilos de cabuya, el hilo fino y el hilo grueso. Los diámetros aproximados de estos hilos son 0,9mm y 1,5mm.

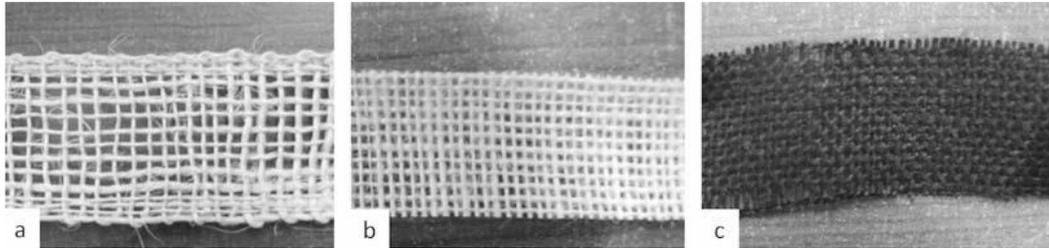


Figura 19-2. Tipos de tejido de cabuya: (a) grueso, (b) normal y (c) fino.

Fuente: (Guerrero 2011)

2.2.4.3 Interfaz

La superficie existente entre la matriz y el refuerzo, más conocida como interfaz, debe garantizar la unión entre los constituyentes del material. La superficie de la interfaz es buena cuando el refuerzo está fuertemente unido a la matriz. Cuando el material está reforzado con fibras, el papel de la interfaz es todavía más importante, ya que de la unión entre los constituyentes dependerán las propiedades mecánicas del compuesto. Si la unión es buena, la carga aplicada sobre el material compuesto se transmitirá desde la matriz hacia los refuerzos. Si la unión es deficiente, las fibras no cumplirán el papel de refuerzo y tendrán tendencia a salir de la matriz (Guerrero 2011).

Para que la matriz impregne correctamente el refuerzo, es útil que se encuentre en estado líquido. La impregnación o humectación es la capacidad que tiene una matriz líquida de extenderse sobre una superficie sólida, que en este caso sería el material de refuerzo. Dependiendo de la humectabilidad del sustrato, la interfaz creará propiedades materiales. Por otro lado, la unión entre materiales compuestos puede ser de cuatro tipos: (i) unión mecánica, (ii) unión electrostática, (iii) unión química y (iv) unión mediante interdifusión (Guerrero 2011).

Según (Guerrero 2011), las conexiones **mecánicas** dependen principalmente de la rugosidad de la composición del material. Cuanto mayor es la rugosidad, mayor es el efecto de la superficie de interfaz bajo esfuerzo cortante. Sin embargo, debido a la fuerza axial, el montaje es ineficaz.

La unión **electrostática** ocurre cuando una superficie tiene carga positiva y la otra tiene carga negativa.

En el caso del **enlace químico**, hay grupos químicos en la superficie del material de refuerzo que son compatibles con los de la matriz. De esta forma, la resistencia de la unión dependerá del número de uniones por unidad de área.

Finalmente, la unión mediante **interdifusión** se genera en elementos poliméricos. En este caso, la superficie del refuerzo y de la matriz tienen cadenas poliméricas, las mismas que se difunden entre ellas. Es así como la resistencia de esta unión dependerá de la cantidad de entrelazamientos entre las cadenas poliméricas. Esta resistencia puede incrementarse con la utilización de disolventes o plastificantes.

a) Tratamiento de fibras - Mercerización

Es posible modificar la superficie de las fibras, por medio de métodos físicos o químicos; estos tratamientos permiten mejorar las propiedades mecánicas de los compuestos. Entre los métodos físicos comúnmente usados están el tratamiento corona, el tratamiento plasma, mercerización y el tratamiento térmico. Los métodos químicos usualmente usados son el método basado en esterificación y la inclusión de agentes de acoplamiento de silano. Debido a que se ha demostrado que la mejoría en las propiedades mecánicas de materiales compuestos reforzados con fibras naturales (Kozłowski, Mackiewicz-Talarczyk 2020).

TRATAMIENTOS QUÍMICOS

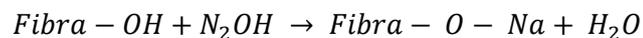
- Tratamiento con silano
- Acetilación
- Tratamiento con isocianato
- Tratamiento con ácido esteárico
- Copolimerización de injerto
- Tratamiento con duralina
- Tratamiento con permanganato
- Tratamiento con peróxido
- Tratamiento de benzoilación
- Agente de acoplamiento maleado

TRATAMIENTO FÍSICO

- Mercerización (Alcalino)
- Corona, tratamiento con plasma frío

El tratamiento alcalino o mercerización (ASTM D1695) se define como el proceso de someter una fibra vegetal a la acción de una solución acuosa bastante concentrada de una base fuerte para producir un gran hinchamiento con los cambios resultantes en la estructura fina, la dimensión, la morfología y las propiedades mecánicas. El hidróxido de sodio (NaOH) es el químico más utilizado para blanquear y/o limpiar la superficie de las fibras vegetales y también cambia la estructura fina de la celulosa nativa I a la celulosa III, con despolimerización y producción de cristalitas de longitud corta. Las propiedades básicas de la fibra, como la resistencia y el alargamiento a la rotura, se pueden cambiar mediante una elección adecuada de los parámetros de mercerización. La mercerización es uno de los tratamientos químicos de fibras naturales más utilizados para reforzar termoplásticos y termoestables. La modificación importante que resulta del tratamiento alcalino es la interrupción de los enlaces de hidrógeno en la estructura de la red, lo que aumenta la rugosidad de la superficie. Este tratamiento elimina una cierta cantidad de lignina, cera y aceites que cubren la superficie externa de la pared celular de la fibra, despolimeriza la celulosa y expone los cristalitas de longitud corta (Mohanty A.K, Misra, Drzal 2012).

La adición de hidróxido de sodio acuoso (NaOH) a la fibra natural promueve la ionización del grupo hidroxilo al alcóxido (Godara 2019):



Por lo tanto, el procesamiento alcalino influye directamente en la fibrilla celulósica, el grado de polimerización y la extracción de lignina y compuestos hemicelulósicos. En el tratamiento alcalino, las fibras se sumergen en una solución de NaOH durante un período de tiempo determinado. El tratamiento alcalino no solo aumenta la rugosidad de la superficie, lo que resulta en un mejor enclavamiento mecánico, sino que también aumenta la cantidad de celulosa expuesta en la superficie de la fibra, lo que aumenta el número de posibles sitios de reacción. En consecuencia, el tratamiento alcalino mejora en gran medida el comportamiento mecánico de las fibras naturales, especialmente la resistencia y rigidez de las fibras y, por lo tanto, las propiedades mecánicas del material compuesto resultante (Chand, Fahim 2020).

En el trabajo “Influencia de la modificación de las fibras sobre las características a fractura de un poliestireno reforzado con fibras de yute”, realizado por (Llop et al. 2005) en la Universidad de Girona, el tratamiento dado a la fibra fue el de mercerización con hidróxido sódico al 0.5% durante cuatro horas.

Tabla 9-2. Compuesto con y sin tratamiento de mercerización.

Muestra	Tenacidad a la fractura [MPa. m ^{1/2}]	Porcentaje de diferencia
Poliestireno	1,23	-
Poliestireno / Yute	2,35	91
Poliestireno / Yute Tratado	2,89	135

Fuente: (Villacís 2011)

En la tabla 9-2, se resumen los resultados obtenidos del material compuesto reforzado con una fracción volumétrica del 0,3 con fibra de yute con y sin tratamiento, además de muestras de poliestireno.

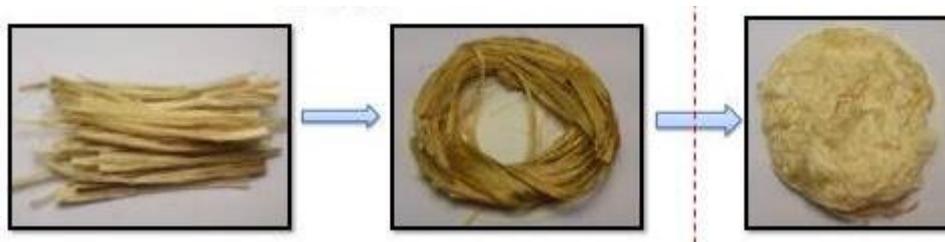


Figura 20-2. Yute de fibra natural en proceso de mercerización (NaOH) y peróxido alcalino (H₂O₂)

Fuente: (Silva et al. 2020)

Se sabe que el tratamiento del yute con solución de sosa cáustica (Roy 1953; Macmillan, Sen Gupta, Majumdar 1954; Roy et al. 1982), produce diferentes tipos y grados de modificación tanto en su naturaleza física como química dependiendo principalmente de la concentración del álcali (NaOH) utilizado y del tiempo y temperatura de tratamiento. El tratamiento con álcali del yute se asocia comúnmente con una pérdida medible de hemicelulosa y alguna pérdida marginal de fracciones de lignina (Macmillan, Sen Gupta, Majumdar 1954; Roy et al. 1982). En el tratamiento con NaOH al 18 % (p/p), la fibra de yute se vuelve más fina y ondulada y el tejido de yute se vuelve considerablemente menos rígido, es decir, más suave con encogimiento medible tanto en la dirección de la urdimbre como en la de la trama, mostrando una capacidad de drapeado mejorada.

2.2.5 Propiedades mecánicas de los materiales compuestos reforzados con fibras

Se deben considerar muchos factores en el diseño de compuestos reforzados con fibra, incluida la longitud, el diámetro, la orientación, la cantidad y las propiedades de la fibra, así como las propiedades de la matriz y la unión fibra-matriz.

Las propiedades mecánicas dependen de la calidad de las fibras, su composición y propiedades, así como de la edad de la planta de la que se extraen las fibras. Por lo tanto, es muy difícil obtener las mismas propiedades mecánicas después de repetir las pruebas. Sin embargo, se puede sacar una conclusión inmediata de que, aunque las fibras naturales pueden no ser tan fuertes como el grafito o las aramidas, las fibras de lino, yute, bambú y cáñamo tienen módulos (rigidez) más altos que las fibras de vidrio E. Algunas fibras también tienen resistencias comparables a las fibras de vidrio E. En general, la fuerza y la rigidez de las fibras vegetales dependen del contenido de celulosa y del ángulo espiral que forman las bandas de microfibrillas en la pared celular secundaria interna con el eje de la fibra. La cantidad de celulosa está íntimamente relacionada con el índice de cristalinidad de la fibra y el ángulo de las microfibrillas con respecto al eje principal de la fibra. Se ha encontrado que las fibras con alto índice de cristalinidad y/o contenido de celulosa poseen propiedades mecánicas superiores. Las fibras de cabuya con un contenido de celulosa del 67% y un ángulo de microfibrillas de 10-22 tienen una resistencia a la tracción y un módulo de elasticidad de 530 MPa y 9-22 GPa, respectivamente (Chand, Fahim 2020).

Tabla 10-2. Propiedades mecánicas de algunas de las fibras naturales.

Fibra	Diametro (µm)	Ultimate tensile strength (MPa)	Modulus (GPa)	Elongation (%)	Ángulo de microfibrillas (Φ), (grado)
Algodón	-	500-800	0.05	-	-
Yute	25-200	460-533	2.5-13	1.16	8.1
Fibra de coco	100-450	131-175	4-6	15-40	39-49
Banana	80-250	529-754	7.7-20.8	1-3.5	11
Cabuya	50-200	468-640	9.4-15.8	3-7	10-22
Linaza	-	1100	100	-	-
Fibra kraft de madera blanda	-	1000	40	-	-
Mesta	200	157.3	12.62	1.56	9.6
Piña	20-80	413-1627	34.5-82.51	1.6	14.8
Fibra de hierba kusha	390	150.5	5.69	2.12	-
Fibra de palma	240	98.14	2.22	30.8	-
	80-800	143-263	9.8-13.3	3.6-5.1	-
	70-1300	180-215	4.4-6.1	2.0-2.8	-
Bambu (<i>Dendrocalamus strictus</i>)		43-113		13-20	

Fuente:(Chand, Fahim 2020)

Tabla 11-2. Propiedades físicas y mecánicas de las fibras naturales y sintéticas.

Fibra	Density (g/cm ³)	Diameter (μm)	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)	Elongation at break (%)
Linaza	1.5	40–600	345–1500	27.6	2.7–3.2
Cáñamo	1.47	25–500	690	70	1.6
Yute	1.3–1.49	25–200	393–800	13–26.5	1.16–1.5
Ramina	1.55	–	400–938	61.4–128	1.2–3.8
Cabuya	1.45	50–200	468–700	9.4–22	3–7
Abacá	–	–	430–760	–	–
Algodón	1.5–1.6	12–38	287–800	5.5–12.6	7–8
Fibra de coco	1.15–1.46	100–460	131–220	4–6	15–40
Vidrio	2.55–17	–	3400	73	2.5
Kevlar	1.44	–	3000	60	2.5–3.7
Carbón	1.78	5–7	3400 ^b –4800 ^c	240 ^c –425 ^b	1.4–1.8

Fuente: (Chand, Fahim 2020)

2.2.5.1 Influencia del diámetro y longitud de fibra.

Las fibras pueden ser cortas, largas o incluso continuas. Sus dimensiones a menudo se caracterizan por la relación de aspecto l/d , donde l es la longitud de la fibra y d es el diámetro. Las fibras típicas tienen diámetros que varían de $10\ \mu\text{m}$ ($10 \times 10^{-4}\text{cm}$) a $150\ \mu\text{m}$ ($150 \times 10^{-4}\text{cm}$). La resistencia de un compuesto mejora cuando la relación de aspecto es grande. Las fibras a menudo se fracturan debido a las imperfecciones de la superficie. Hacer que el diámetro sea lo más pequeño posible le da a la fibra menos área de superficie y, en consecuencia, menos defectos que puedan propagarse durante el procesamiento o bajo una carga.

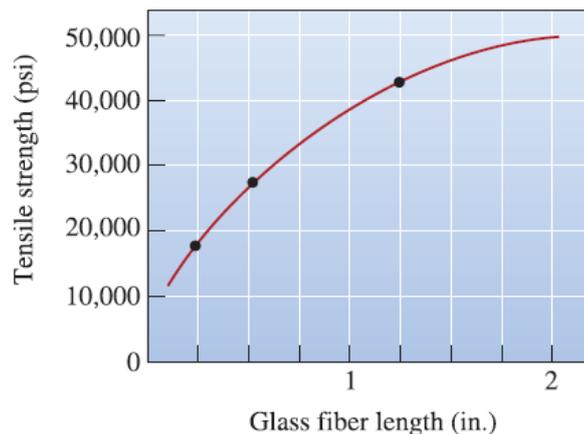


Figura 21-2. Relación entre longitud de fibra y la resistencia del compuesto.

Fuente: (Askeland, Wright 2016)

Los extremos de una fibra larga soportan menos carga que el resto de la fibra; en consecuencia, cuantos menos extremos haya, mayor será la capacidad de carga de las fibras. En muchos sistemas

reforzados con fibra, se utilizan fibras discontinuas con una relación de aspecto superior a algún valor crítico para proporcionar un compromiso aceptable entre la facilidad de procesamiento y las propiedades. Una longitud de fibra crítica l_c para cualquier diámetro de fibra dado d se puede determinar de acuerdo con:

$$l_c = \frac{TS_f d}{2\tau_i}$$

donde TS_f es la resistencia a la tracción de la fibra y τ_i está relacionado con la fuerza de unión entre la fibra y la matriz, o la tensión a la que la matriz comienza a deformarse. Si la longitud de fibra l es menor que l_c , se observa poco efecto de refuerzo; si l es superior a unos $15 l_c$, la fibra se comporta casi como si fuera continua. Para fibras discontinuas de longitudes significativamente menores que l_c , la matriz se deforma alrededor de la fibra de manera que prácticamente no hay transferencia de tensión y hay poco refuerzo por parte de la fibra.

Para varias combinaciones de matriz de fibra de vidrio y carbono, esta longitud crítica es del orden de 1 mm, que oscila entre 20 y 150 veces el diámetro de la fibra. Cuando se aplica una tensión igual a TS_f a una fibra que tiene exactamente esta longitud crítica, se obtiene el perfil tensión-posición que se muestra en la figura 22-2a, es decir, la carga máxima de la fibra se logra solo en el centro axial de la fibra. A medida que aumenta la longitud de fibra l , el refuerzo de fibra se vuelve más eficaz; esto se demuestra en la figura 22-2b, un perfil de tensión-posición axial para $l > l_c$ cuando la tensión aplicada es igual a la resistencia de la fibra. La figura 22-2c muestra el perfil tensión-posición para $l < l_c$.

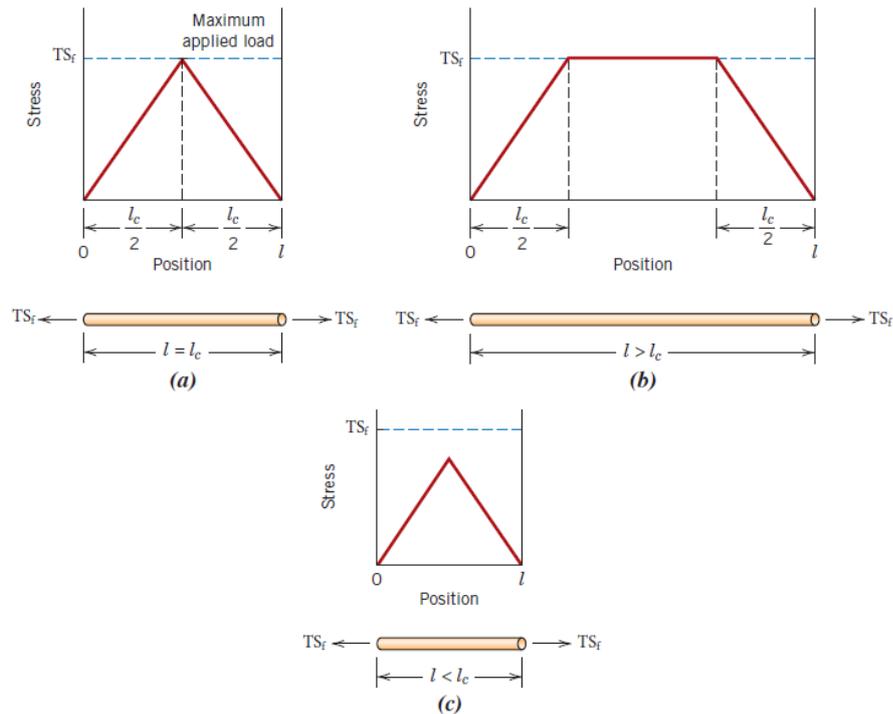


Figura 22-2. Perfiles de Esfuerzo-Posición cuando la longitud de la fibra l (a) es igual a la longitud crítica l_c , (b) es mayor que la longitud crítica y (c) es menor que la longitud crítica.

Fuente: (Callister Jr, Rethwisch 2018)

La resistencia del compuesto se puede estimar a partir de:

$$\sigma_c = f_f \cdot TS_f \left(1 - \frac{l_c}{2l}\right) + f_m \cdot \sigma_m$$

Donde σ_m es la tensión sobre la matriz cuando las fibras se rompen (Askeland, Wright 2016).

Según (Callister Jr, Rethwisch 2018), las características mecánicas de un material compuesto reforzado con fibra dependen no solo de las propiedades de la fibra, sino también del grado en que la fase de la matriz transmite una carga aplicada a las fibras. Importante en la extensión de esta transmisión de carga es la magnitud del enlace interfacial entre las fases de fibra y matriz. Bajo una fuerza aplicada, esta unión fibra-matriz termina en los extremos de la fibra, produciendo un patrón de deformación de la matriz como se muestra en la figura 22-2; en otras palabras, no hay transmisión de carga desde la matriz en cada extremo de la fibra.

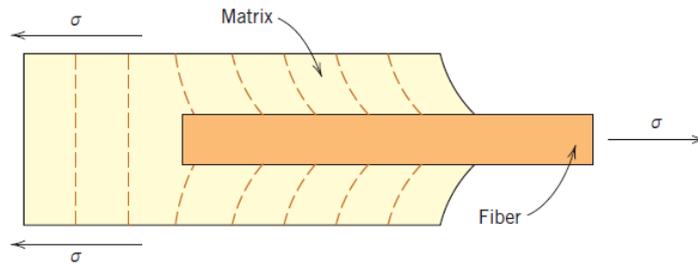


Figura 23-2. El patrón de deformación en la matriz que rodea una fibra que está sujeta a una carga de tracción aplicada.

Fuente: (Callister Jr, Rethwisch 2018)

2.2.5.2 Influencia de la orientación y concentración de fibra.

a) Concentración

La cantidad de fibra añadida a un compuesto impacta su costo y su desempeño. Debido a que las fibras son responsables del manejo de la carga aplicada, el uso de más fibra resulta en compuestos más fuertes (Newell 2010).

Una mayor fracción de volumen de fibras aumenta la resistencia y la rigidez del material compuesto, como cabría esperar de la regla de las mezclas. La fracción de volumen máxima es de aproximadamente el 80%, más allá de la cual las fibras ya no pueden estar completamente rodeadas por la matriz (Askeland, Wright 2016).

(Newell 2010) coincide en que, cuando la fracción de fibra excede alrededor de 80%, no existe material de matriz suficiente como para rodear y enlazarse completamente con la fibra y transferir con eficiencia la carga. En la mayoría de los casos, las fibras reforzantes son mucho más caras que el material que rodea a la matriz, haciendo deseable la reducción de la fracción de fibra en el compuesto. Aunque la fracción exacta de fibra varía según la clase de material y su aplicación, la mayoría de los compuestos reforzados con fibras contienen de 35% a 50% de fibras por volumen.

b) Orientación de las fibras.

Las fibras de refuerzo pueden introducirse en la matriz en varias orientaciones. Las fibras cortas, orientadas al azar y con una relación de aspecto pequeña, típica de la fibra de vidrio, se introducen fácilmente en la matriz y dan un comportamiento relativamente isotrópico en el material compuesto. Las disposiciones unidireccionales largas, o incluso continuas, de fibras producen propiedades anisotrópicas, con una resistencia y rigidez particularmente buenas paralelas a las fibras. Estas fibras a menudo se designan como capas de 0° , lo que indica que todas las fibras están alineadas con la dirección de la fuerza aplicada (Askeland, Wright 2016).

Con respecto a la orientación, son posibles dos opciones: (1) una alineación paralela del eje longitudinal de las fibras en una sola dirección, y (2) una alineación totalmente aleatoria.

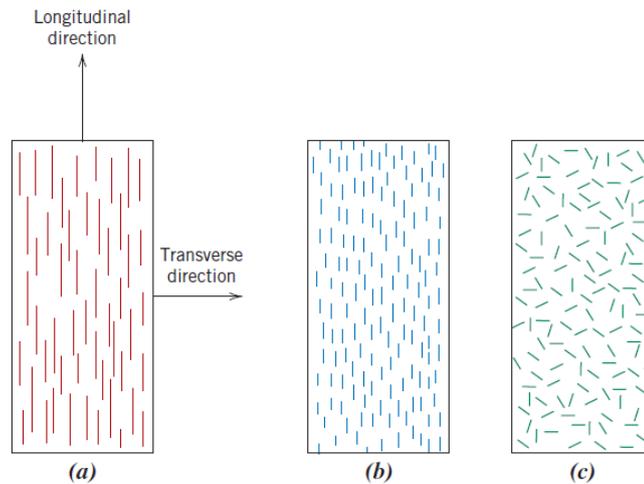


Figura 24-2. Tipos de orientación de fibras.

Fuente: (Callister Jr, Rethwisch 2018)

Las fibras continuas normalmente están alineadas (Figura 24-2a), mientras que las fibras discontinuas pueden estar alineadas (Figura 24-2b), orientadas al azar (Figura 24-2c) o parcialmente orientadas. Se obtienen mejores propiedades generales del compuesto cuando la distribución de fibras es uniforme. Las orientaciones unidireccionales proporcionan malas propiedades si la carga es perpendicular a las fibras como lo demuestra la figura 25-2.

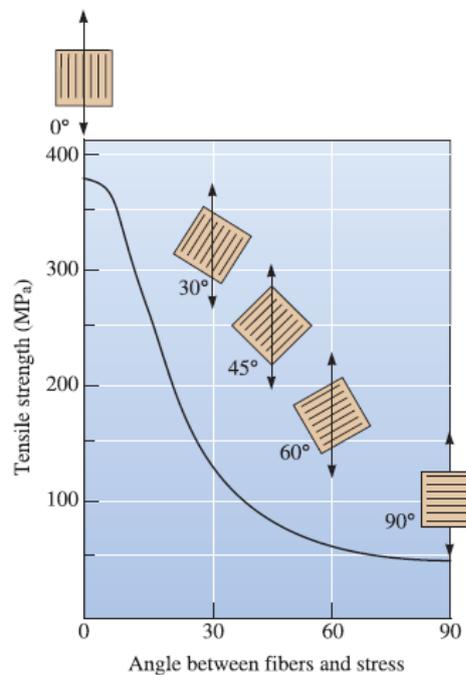


Figura 25-2. Efecto de la orientación de las fibras sobre la resistencia a la tracción.

Fuente: (Askeland, Wright 2016)

Una de las características únicas de los compuestos reforzados con fibra es que sus propiedades se pueden adaptar para cumplir con diferentes tipos de condiciones de carga. Las fibras largas y continuas se pueden introducir en varias direcciones dentro de la matriz; en disposiciones ortogonales (capas de $0^\circ/90^\circ$), se obtiene una buena resistencia en dos direcciones perpendiculares. Los arreglos más complicados (capas de $0^\circ / \mp 45^\circ / 90^\circ$) brindan refuerzo en múltiples direcciones.

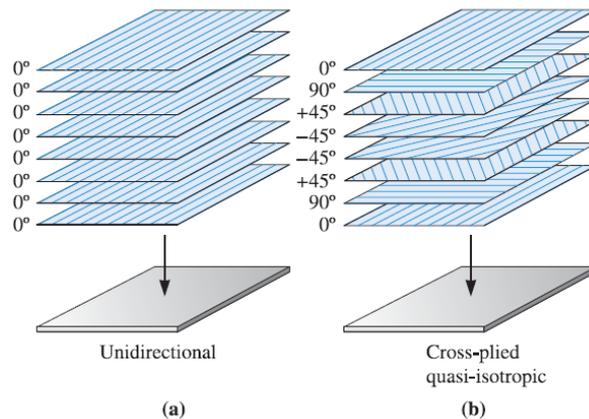


Figura 26-2. Orientación de capas en compuestos laminados.

Fuente: (Askeland, Wright 2016)

Las fibras también se pueden disponer en patrones tridimensionales. Incluso en los tejidos de tela más simples, las fibras en cada capa individual de tela tienen un pequeño grado de orientación en una tercera dirección. Se produce un mejor refuerzo tridimensional cuando las capas de tela se tejen o cosen juntas.

Estas telas son hilos tejidos, mechas o estopas en forma de estera en una sola capa. La cantidad de fibra en diferentes direcciones está controlada por el patrón de tejido. Por ejemplo, en las telas tejidas unidireccionales, las fibras se tejen de tal manera que las fibras en 0° son hasta el 95% del peso total de la tela. En un patrón de ligamento tafetán, las fibras en las direcciones de 0° y 90° se distribuyen por igual. También están disponibles tejidos híbridos en varias combinaciones. Las telas tejidas tienen la ventaja de ser económicas (Mazumdar 2001).

Los laminados siempre deben ser simétricos respecto de su plano medio y equilibrados, para evitar distorsiones anómalas de la estructura, tales como alabeamientos inducidos por cambios térmicos. Por simétricos se entiende que las dos mitades en que el plano medio del laminado divide a éste, deben ser imágenes especulares respecto al plano medio y por equilibrados se entiende que por

cada lámina orientada con un ángulo + 0, haya otra orientada a - 0 (Guemes Gordo, Martin Piris 2012).

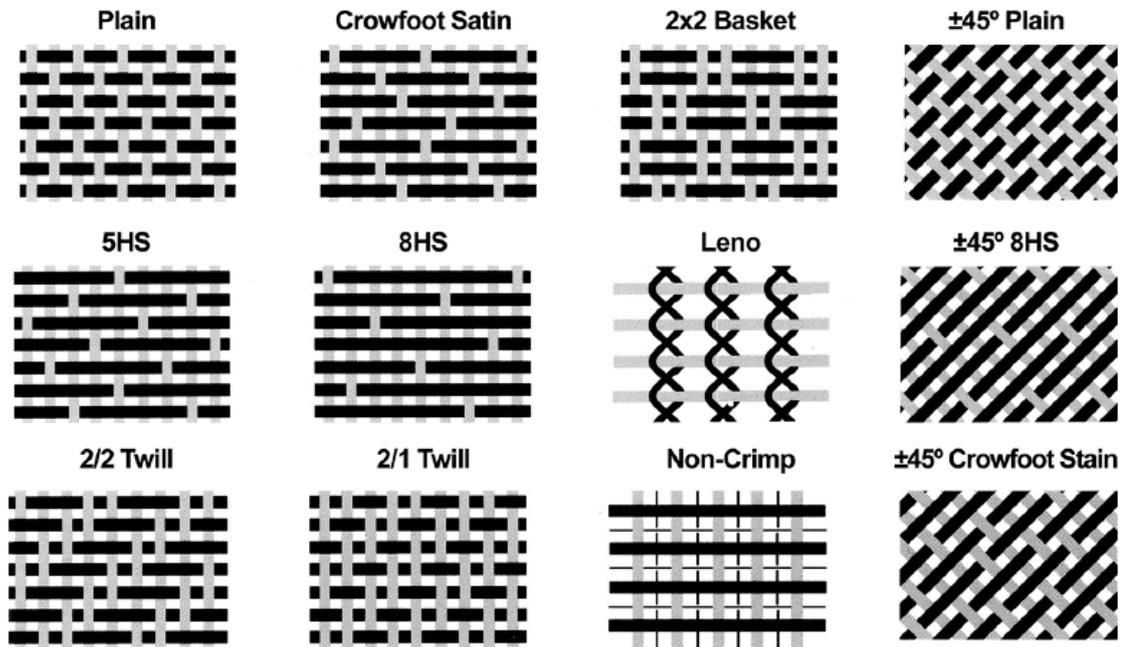


Figura 27-2. Varios estilos de tejido para fibras.

Fuente: (Mazumdar 2001)

2.2.6 Ensayos destructivos y evaluación de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos.

La evaluación de las propiedades mecánicas utilizadas para caracterizar los materiales, incluidos los compuestos, se realiza básicamente mediante ensayos destructivos. El proceso de prueba de materiales implica tomar una serie de muestras del material y realizar una serie de pruebas para caracterizar su comportamiento. Las pruebas mecánicas se realizan en condiciones simuladas y con el equipo adecuado, y los resultados son válidos. También existen normas para los procedimientos de caracterización mecánica. Las reglas disponibles en todo el mundo son muy amplias. De esta forma, organismos de normalización como ASTM, ASME, ISO, UNE, ICONTEC, INEN, etc. generan una amplia gama de normas para diversos fines, entre ellos la caracterización mecánica.

La Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM) ha desarrollado estándares de prueba de materiales, incluidos estándares para la caracterización de compuestos de matriz polimérica. Por lo tanto, el análisis de las propiedades de los compuestos en este estudio se basa básicamente en ensayos de tracción, flexión e impacto de acuerdo con los procedimientos de la ASTM.

2.2.6.1 Ensayo de tracción

El ensayo de tracción es uno de los ensayos mecánicos más comúnmente realizado y requiere de al menos 5 muestras según la normativa ASTM D3039. El material ensayado se deforma hasta la rotura de la probeta, mediante la aplicación de una fuerza uniaxial a lo largo del eje principal, y que aumenta de manera gradual. En cuanto a materiales compuestos reforzados con fibras y de matriz polimérica, el ensayo de tracción se lleva a cabo bajo las regulaciones de la norma D3039/D3039M-17 “Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica” y se lo realiza utilizando una máquina universal de ensayos.

Como implemento para la realización del ensayo debe utilizarse algún elemento mecánico que garantice que la sujeción de la probeta sea adecuada, de tal forma que el deslizamiento sea mínimo. Para esto pueden usarse mordazas. Asimismo, puede o no utilizarse un extensómetro. Cabe indicar que el uso del extensómetro durante la realización del ensayo generará resultados con un menor margen de error (ASTM International 2017).



Figura 28-2. Metrotec Serie MTE50. Máquina de ensayos universales de hasta 50 KN para materiales poliméricos, cerámicos, compuestos y metales ligeros.

Fuente: (Resistencia de materiales – Centro Carrocero sin fecha)

Las probetas para ensayar deben presentar dimensiones específicas indicadas en la norma mencionada anteriormente. Además, dichas probetas requieren mostrar superficies libres de defectos visibles, fisuras o imperfecciones. Las marcas ocasionadas por operaciones de mecanizado de la probeta serán cuidadosamente eliminadas con una lima fina o un abrasivo y las superficies limadas serán “suavizadas” con papel abrasivo. El acabado final se hará en una dirección paralela al eje largo de la probeta. Si es necesario hacer marcas para las mordazas, estas se harán con pinturas o tinta, las cuales no modifican el material.

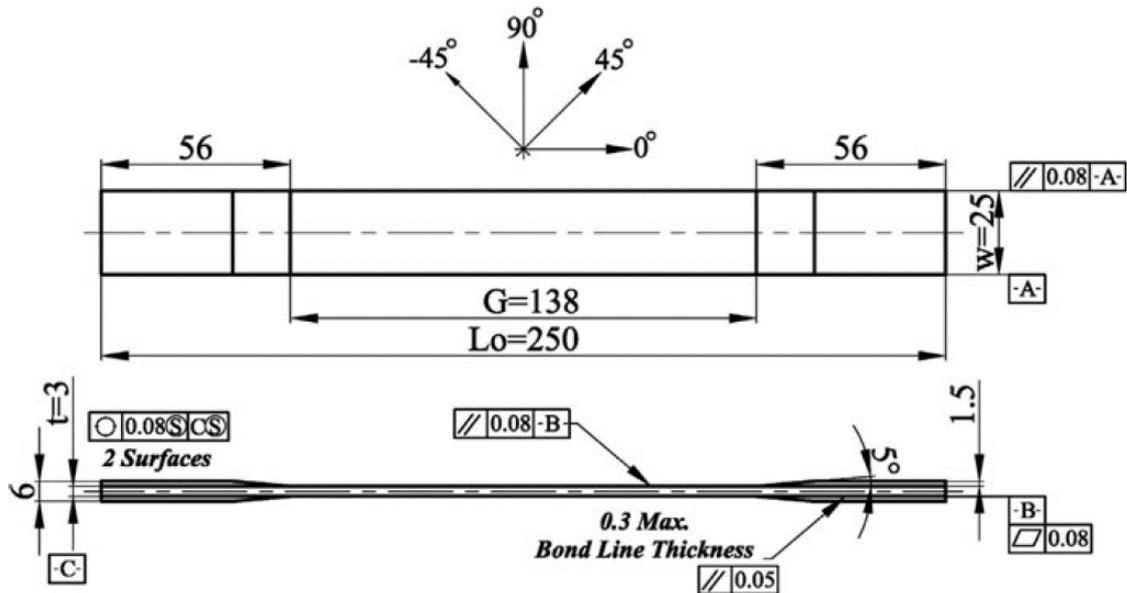


Figura 29-2. Principales dimensiones de la probeta de ensayo de tracción utilizada en materiales compuestos, según norma ASTM D3039-17

Fuente: (Sanjay Mavinkere et al. 2022)

a) Esfuerzo máximo a tracción.

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A}$$

Dónde:

σ_{max} = Esfuerzo máximo (MPa).

F = Carga máxima o fuerza necesaria para producir la fractura (N).

A = Área de la sección transversal de la probeta (mm^2).

b) Porcentaje de deformación.

$$\varepsilon(\text{elongacion}) = \frac{l_f - l_i}{l_i}$$

$$\% \text{ de deformación} = \frac{l_f - l_i}{l_i} \cdot 100$$

Dónde:

l_f = Longitud final (*mm*).

l_i = Longitud inicial (*mm*).

c) Módulo de elasticidad.

$$\epsilon = \frac{\sigma_{max}}{E}$$

Dónde:

σ_{max} = Esfuerzo máximo.

ϵ = Elongación.

2.2.6.2 Ensayo de Flexión.

Este ensayo es realizado mediante la norma ASTM D7264/D7264M-21 “Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz polimérica”. Este método de ensayo determina la rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un compuesto de matriz polimérica. El procedimiento aplicado corresponde a un sistema de carga en tres puntos utilizando una carga central en una viga con apoyos simples. Las propiedades a flexión pueden variar dependiendo de la superficie de la probeta, pues ningún laminado es perfectamente simétrico. Estas diferencias desviarán el eje neutral y los resultados se verán afectados incluso por la mínima asimetría presente en el laminado. Las propiedades a flexión también pueden variar de acuerdo con el espesor de la probeta, ambientes condicionantes o de ensayo en el que se ejecutan las pruebas, velocidad de aplicación de esfuerzo (ASTM International 2021).

Para realización de este ensayo, se requieren al menos 5 probetas por cada condición de ensayo según la normativa ASTM D7264, a menos que se puedan obtener resultados válidos mediante el ensayo de menos probetas, como en el caso de un diseño experimental. Las dimensiones de las probetas requeridas para los ensayos se encuentran indicadas en la norma ASTM, y de igual manera, las respectivas ecuaciones que permiten calcular valores para las propiedades a flexión analizadas. Al igual que en los ensayos de tracción y de impacto, las probetas deben respetar características solicitadas de aspecto superficial, como es la ausencia de fisuras o defectos que influyan erradamente en los resultados del ensayo. Al igual que en el ensayo de tracción, las marcas ocasionadas por operaciones de corte deben ser cuidadosamente eliminadas con una lima

fina o un abrasivo. De esta manera se alcanza una pre-selección y preparación de probetas que serán aptas para la realización del ensayo (ASTM International 2021).

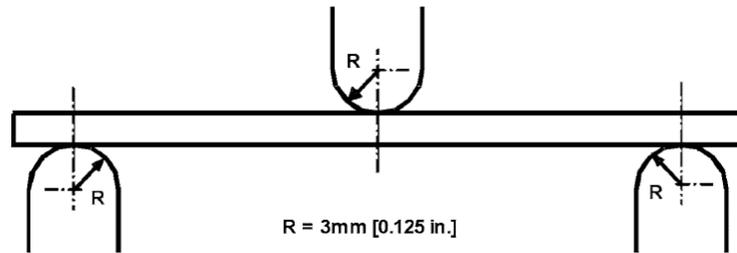


Figura 30-2. Configuración de carga a flexión en tres puntos.

Fuente: (ASTM International 2021)

a) Esfuerzo máximo a flexión.

$$\sigma_{max} = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot w \cdot h^2}$$

Dónde:

σ_{max} = Esfuerzo máximo producido en la superficie exterior (MPa).

F = es la carga a la fractura (N).

L = la distancia entre los dos puntos de apoyos (mm).

w = es el ancho de la probeta ensayada (mm)

h = espesor de la probeta (mm).

b) Módulo de flexión.

$$E_f = \frac{L^3 \cdot F}{4 \cdot w \cdot h^3 \cdot \delta}$$

Dónde:

E_f = Módulo de flexión.

δ = es la deflexión de la probeta al aplicarse una fuerza F (mm).

L = longitud entre los apoyos (mm).

F = fuerza aplicada (N).

w = es el ancho de la probeta (mm).

h = es el espesor de la probeta (mm).

2.2.6.3 Ensayo de impacto

El principal inconveniente de las pruebas de impacto Izod y Charpy es que estas pruebas solo proporcionan información sobre la energía absorbida durante el impacto, pero no sobre el

comportamiento del impacto. En los últimos tiempos, el método de prueba de impacto de caída de dardo se ha vuelto más prominente debido a una gama más amplia de parámetros de prueba, y los resultados se investigan más fácilmente. La prueba de impacto de caída de dardo es una prueba de impacto de baja velocidad, y el estándar más común utilizado para la prueba de impacto de caída de dardo es ASTM D5628-18 “Método de prueba estándar para la resistencia al impacto de especímenes de plástico rígido y plano por medio de un dardo que cae (Tup o masa que cae)”. El probador de impacto de caída de peso consta principalmente de tres unidades: 1. Celda de carga dinámica (tup). 2. Sistema de visualización de datos 3. Unidad de acondicionamiento de señales.

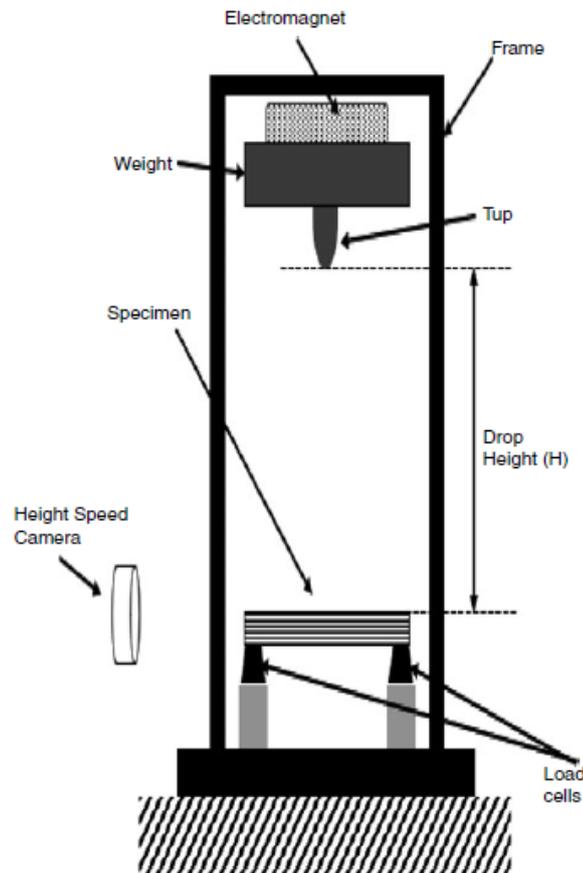


Figura 31-2. Probador de impacto de caída de dardo.

Fuente: (Sanjay Mavinkere et al. 2022)

En la prueba de impacto de caída de dardo, un peso metálico específico se mantiene a una altura predeterminada con la ayuda de un electroimán. Se utiliza un tup, en forma de impactador hemisférico, unido al peso, para medir la tensión total durante el impacto. La muestra utilizada en la prueba tiene la forma de una placa rectangular o cuadrada en forma de laminado compuesto. Las celdas de carga (dispositivos de medición de carga) se utilizan en las plataformas de soporte de muestras o en el tup para medir el impacto. Se utilizan cámaras de alta velocidad para registrar la propagación de fallas y los eventos de impacto. Después de ajustar el aparato a su configuración

correcta, se libera el peso y se deja que impacte la placa, y los datos se registran con la ayuda del sistema de adquisición de datos. Se dibuja una curva entre la carga y el tiempo para analizar el comportamiento de impacto del compuesto, cuyo esquema se muestra en la Figura 32-2.

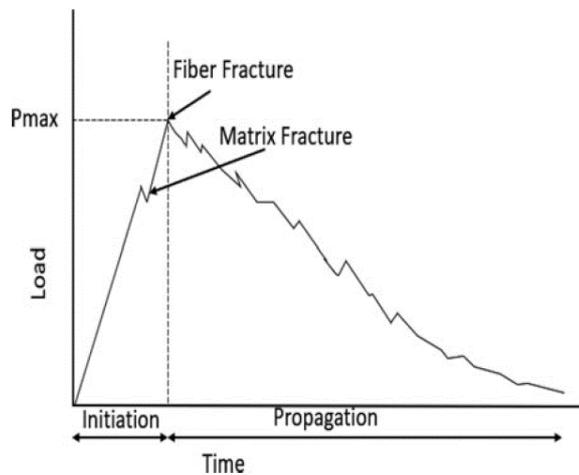


Figura 32-2. Curva típica de tiempo de carga para pruebas de impacto de peso de caída en materiales compuestos.

Fuente: (Sanjay Mavinkere et al. 2022)

Cuando el impactador golpea la muestra compuesta, la carga se transfiere inicialmente a la matriz y da como resultado la fractura en la matriz e inicia la formación de grietas. De lo contrario, la carga es transferida por la matriz al refuerzo fibroso. Después de alcanzar el límite permisible, la fibra tiende a agrietarse en el área de impacto y se produce la fractura de la fibra. Este límite muestra la carga máxima que el compuesto puede soportar y la energía correspondiente es la resistencia al impacto de los compuestos. La carga se dispersa aún más sobre el área de impacto y da como resultado la fractura posterior en la matriz y en las fibras (Sanjay Mavinkere et al. 2022) (ASTM International 2018).

2.2.7 Procesos de fabricación de compuestos termoestables

En términos de aplicaciones comerciales, más del 75% de todos los compuestos están hechos de compuestos termoestables. Sus usos predominan en los mercados aeroespacial, automotriz, marino, náutico, de artículos deportivos y de consumo. Hay varios métodos dominantes de procesamiento de compuestos termoestables disponibles en el mercado, cada uno con sus pros y sus contras.

2.2.7.1 Proceso de colocación de pre impregnados

El proceso de laminado manual se divide principalmente en dos métodos principales: laminado húmedo y laminado de preimpregnado. También se le llama procesamiento en autoclave o

proceso de embolsado al vacío. Con este proceso se pueden fabricar formas complicadas con fracciones de volumen de fibra muy altas. Es un proceso de moldeo abierto con capacidad de bajo volumen. En este proceso, los pre impregnados se cortan, se colocan en la orientación de fibra deseada en una herramienta y luego se envasan al vacío. Después del embolsado al vacío, el compuesto con el molde se coloca dentro de un horno o autoclave y luego se aplica calor y presión para curar y consolidar la pieza. El proceso de autoclave o laminado de pre impregnado requiere mucha mano de obra. Los costos de mano de obra son de 50 a 100 veces mayores que los de bobinado de filamentos, pultrusión y otros procesos de alto volumen; sin embargo, para la construcción de piezas prototipo y series de pequeñas cantidades, el proceso de laminado de preimpregnado ofrece ventajas sobre otros procesos (Mazumdar 2001).



Figura 33-2. Pieza aeroespacial envasada al vacío lista para entrar en autoclave.

Fuente: (Mazumdar 2001)

2.2.7.2 Proceso de Laminación en Húmedo

En un inicio, el proceso de laminación en húmedo era el método de fabricación dominante para la fabricación de piezas compuestas. Todavía se usa ampliamente en la industria marina, así como para fabricar prototipos. Este proceso requiere mucha mano de obra y tiene preocupaciones por la emisión de estireno debido a su naturaleza de molde abierto. En este proceso, se aplica resina líquida al molde y luego se coloca un refuerzo encima. Se utiliza un rodillo para impregnar la

fibra con la resina. Se aplica otra capa de resina y refuerzo hasta lograr un espesor adecuado. Es un proceso muy flexible que permite al usuario optimizar la pieza colocando diferentes tipos de telas y materiales de tapete. Debido a que el refuerzo se coloca manualmente, también se le llama proceso de colocación manual. Este proceso requiere poca inversión de capital y experiencia y, por lo tanto, es fácil de usar (Mazumdar 2001).

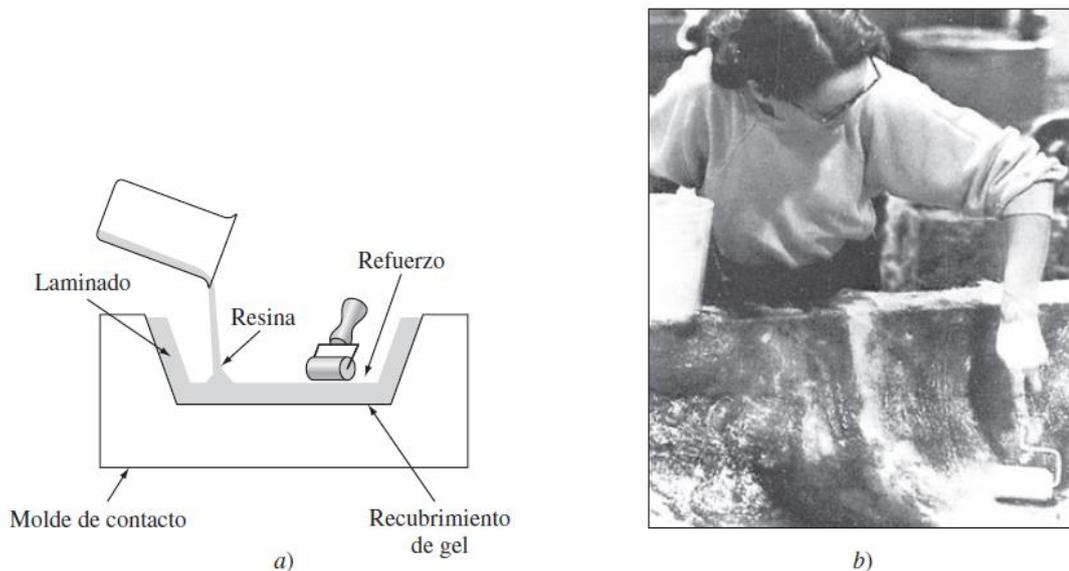


Figura 34-2. Proceso de laminación en húmedo.

Fuente: (Smith, Hashemi 2006)

La imagen muestra el método de colocación manual de capas para moldear materiales compuestos de plástico reforzado con fibras. a) Se vierte la resina sobre el refuerzo que está en el molde. b) Se usa un rodillo para aumentar la densidad del laminado y expulsar el aire atrapado.

2.2.7.3 Proceso de rociado o aspersión.

El proceso de rociado o aspersión es similar al proceso de laminado en húmedo, con la diferencia del método de aplicación de materiales de fibra y resina en el molde. El proceso de laminación en húmedo requiere mucha mano de obra porque los refuerzos y los materiales de resina se aplican manualmente. En el proceso de rociado se utiliza una pistola rociadora para aplicar resina y refuerzos con una capacidad de 1000 a 1800 lb de material entregado por hora. En este proceso se utiliza una pistola rociadora para depositar fibra de vidrio cortada y resina/catalizador sobre el molde. La pistola corta simultáneamente mechas de fibra continua en una longitud predeterminada (10 a 40 mm) y las impulsa a través de un rociado de resina/catalizador sobre el molde. El proceso de rociado es mucho más rápido que el proceso de aplicación en húmedo y es una opción menos costosa porque utiliza mechas, que es una forma económica de fibra de vidrio.



Figura 35-2. Proceso de rociado robótico para hacer una bañera.

Fuente: (Mazumdar 2001)

2.2.7.4 Proceso de bobinado de filamentos.

El bobinado de filamentos es un proceso en el que las fibras impregnadas de resina se enrollan sobre un mandril giratorio en el ángulo deseado. En la figura 36-2 se muestra un proceso típico de bobinado de filamentos, en el que una unidad de carro se mueve hacia adelante y hacia atrás y el mandril gira a una velocidad específica. Al controlar el movimiento de la unidad de carro y el mandril, se genera el ángulo de fibra deseado. El proceso es muy adecuado para fabricar piezas tubulares. El proceso se puede automatizar para fabricar piezas de gran volumen de manera rentable. El bobinado de filamentos es la única técnica de fabricación adecuada para fabricar ciertas estructuras especializadas, como recipientes a presión.



Figura 36-2. Demostración del tendido de fibras en un mandril.

Fuente: (Mazumdar 2001)

2.2.7.5 Proceso de pultrusión.

El proceso de pultrusión es un proceso de fabricación de alto volumen y bajo costo en el que las fibras impregnadas de resina se extraen a través de un troquel para fabricar la pieza. El proceso es similar al proceso de extrusión de metal, con la diferencia de que, en lugar de empujar el material a través de la matriz en el proceso de extrusión, se extrae a través de la matriz en un proceso de pultrusión. La pultrusión crea piezas de sección transversal constante y longitud continua. La pultrusión es un proceso simple, de bajo costo, continuo y automático. La figura 37-2 ilustra un proceso típico de pultrusión en el que se pasan hilos impregnados de resina a través de un troquel calentado a velocidad constante. A medida que el material pasa a través de la matriz calentada, se cura parcial o completamente. La pultrusión produce piezas con un acabado suave que, por lo general, no requieren procesamiento posterior (Mazumdar 2001).

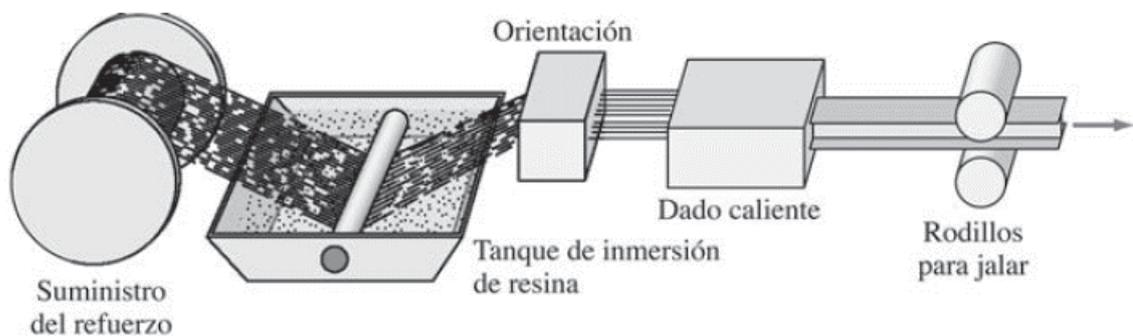


Figura 37-2. Proceso de pultrusión para producir materiales compuestos de plástico

Fuente: (Smith, Hashemi 2006)

2.2.7.6 Proceso de moldeo por transferencia de resina.

El proceso de moldeo por transferencia de resina (RTM) también se conoce como proceso de moldeo por transferencia de líquido. Aunque los procesos de moldeo por inyección y moldeo por compresión han ganado popularidad como métodos de producción de alto volumen, su uso se limita principalmente a aplicaciones no estructurales debido al uso de compuestos de moldeo (compuestos de fibra corta). En contraste con estos procesos de moldeo, el proceso RTM ofrece la producción de piezas estructurales rentables en cantidades de volumen medio utilizando herramientas de bajo costo. El moldeo por transferencia de resina ofrece la fabricación de piezas complejas de forma casi neta con direcciones de fibra controladas. Las fibras continuas se utilizan generalmente en el proceso RTM. En el proceso por moldeo por transferencia de resina, se coloca una preforma en la cavidad del molde. Una mitad de molde coincidente se acopla a la primera mitad y las dos se sujetan juntas. Luego, usando un equipo dosificador, se bombea al molde una mezcla presurizada de resina termo endurecible, un catalizador, color, relleno, etc., usando uno o varios puertos en el molde. Después de un curado de 6 a 30 min, dependiendo de la cinética de

curado de la mezcla, la pieza se retira del molde. Así, RTM da como resultado la producción de piezas estructurales con buen acabado superficial en ambos lados de la pieza. Los principales problemas en el proceso RTM son el flujo de resina, el curado y la transferencia de calor en medios porosos.

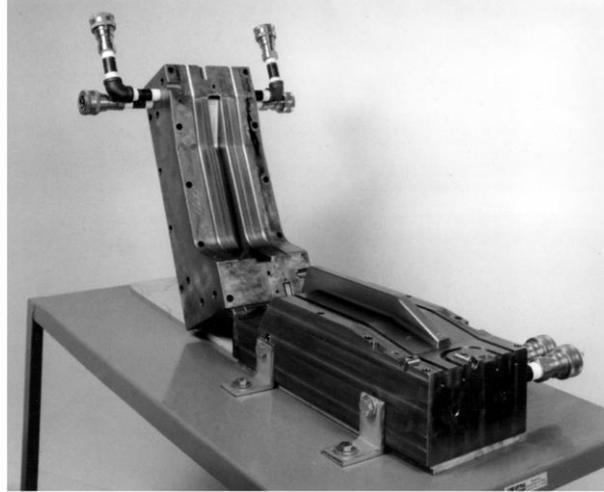


Figura 38-2. Un molde RTM típico que muestra características de diseño estándar, como conexiones de aceite, sistema de inyección y dispositivos de auto sujeción/carga.

Fuente: (Mazumdar 2001)

El proceso consiste en inyectar una resina termo endurecible pre catalizada bajo presión en una cavidad de molde caliente que contiene una preforma de fibra porosa. Durante el llenado del molde, la resina fluye hacia el interior del molde y experimenta reacciones de curado exotérmicas, lo que hace que su viscosidad aumente con el tiempo y finalmente se solidifique. Una vez que la preforma de fibra está completamente saturada con resina, las reacciones de curado continúan más allá del punto de gel para formar un polímero reticulado. El proceso RTM es una operación de molde cerrado en la que se coloca una preforma de fibra seca dentro de un molde y luego se inyecta la resina termoestable a través de un puerto de entrada hasta que el molde se llena de resina. Luego, la resina se cura y la pieza se retira del molde (Mazumdar 2001).

2.2.7.7 Proceso de moldeo por inyección de reacción estructural (SRIM).

El proceso SRIM es similar al proceso RTM, con la diferencia de la resina utilizada y el método de mezcla de resinas antes de la inyección. En el proceso SRIM, dos resinas A y B se mezclan en una cámara de mezclado a una velocidad muy alta justo antes de inyectarlas en el molde. La resina fluye a una velocidad de 100 a 200 m/s y choca en la cámara de mezcla. La presión generada durante la colisión está en el rango de 10 a 40 MPa aunque la resina se inyecta en el molde a una presión inferior a 1 MPa. Se usa baja presión para evitar el lavado de fibras en el puerto de inyección. La resina utilizada para el proceso SRIM es de muy baja viscosidad y la resina más

común es el poli isocianurato (basado en la química del poliuretano). Esta resina mixta se inyecta en el molde, que contiene preformas de fibra. La preforma utilizada para el proceso SRIM puede estar hecha de fibras cortas o largas. El proceso SRIM se desarrolló a partir del proceso RIM (moldeo por inyección de reacción), en el que se mezclan dos resinas a alta velocidad en una cámara de mezcla y luego la resina se inyecta en un molde cerrado donde no hay preforma. Los componentes fabricados por el proceso RIM son débiles debido a la ausencia de fibras.

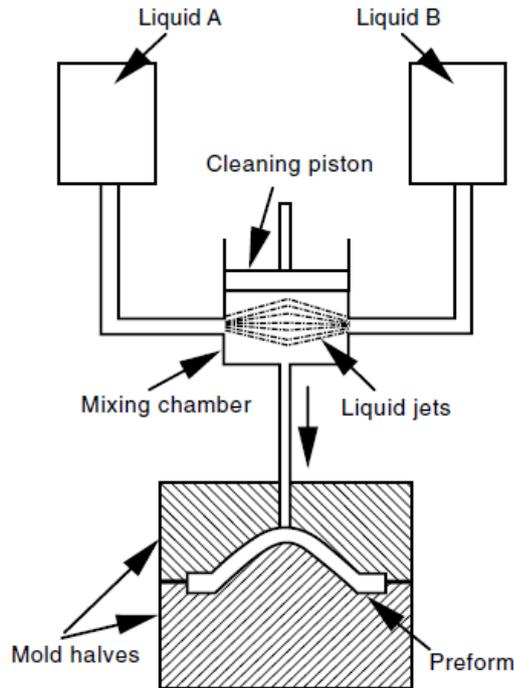


Figura 39-2. Esquema del proceso SRIM.

Fuente: (Mazumdar 2001)

El proceso RIM se utiliza para fabricar componentes automotrices porque proporciona una capacidad de producción de alto volumen. En los procesos RIM y SRIM, la reticulación de los polímeros se inicia mediante la mezcla rápida de dos resinas; por lo tanto, este proceso no requiere calor para iniciar el proceso de curado (entrecruzamiento). El proceso de entrecruzamiento es muy rápido y la resina comienza a gelificar en pocos segundos después de la inyección en el molde. El molde se calienta a cierta temperatura para ayudar a la rápida reticulación de la resina. Para asegurar una reticulación completa, las dos resinas deben mezclarse en la proporción correcta.

2.2.7.8 Proceso de moldeo por compresión.

El moldeo por compresión es muy popular en la industria automotriz debido a sus capacidades de alto volumen. Este proceso se utiliza para moldear grandes paneles de automóviles. Los compuestos de moldeo en láminas (SMC) y los compuestos de moldeo a granel (BMC) son las

materias primas más comunes para el moldeo por compresión. El moldeo por compresión es popular en la industria automotriz debido a su similitud con el proceso de estampado. La industria automotriz ha estado utilizando el proceso de estampación durante mucho tiempo y ha adquirido buenos conocimientos para este proceso. De manera similar, hoy en día, el moldeo por compresión se ha convertido en un proceso bastante maduro para la industria automotriz. En el moldeo por compresión de SMC, el componente final se produce en una operación de moldeo de acero, mientras que, en la operación de estampado, la chapa de acero pasa por una serie de procesos de estampado para obtener la forma final. Por lo tanto, el moldeo por compresión brinda varias ventajas sobre el proceso de estampado y ahorra costos significativos en términos de moldes y equipos. Una de las ventajas de SMC sobre el acero radica en su capacidad para incluir nervaduras y salientes en una tercera dimensión. Durante el proceso de moldeo se pueden crear orificios, rebordes, hombros y espesores no uniformes, evitando así operaciones secundarias como soldadura, taladrado y mecanizado.

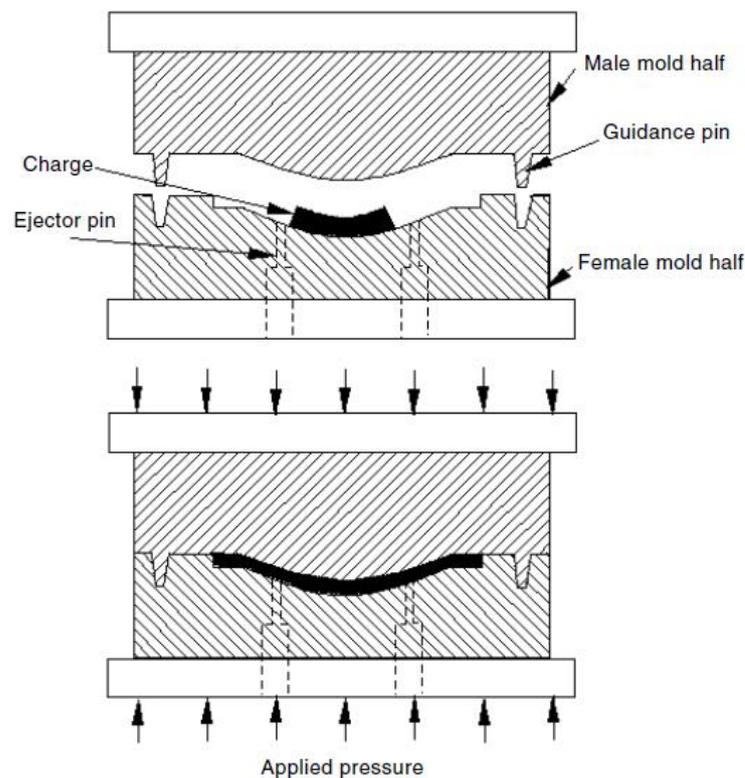


Figura 40-2. Esquema del proceso por compresión.

Fuente: (Mazumdar 2001)

2.2.7.9 Proceso de envoltura de rollos

La envoltura en rollo es similar al laminado de preimpregnado con la excepción de que la herramienta siempre es un mandril cónico cilíndrico o redondo. El proceso requiere una inversión inicial baja y es adecuado para la producción de grandes volúmenes de componentes tubulares.

En este proceso, el preimpregnado se enrolla sobre un mandril extraíble y luego se envuelve con cinta retráctil para su consolidación. A continuación, todo el conjunto se cura por lotes para su solidificación.

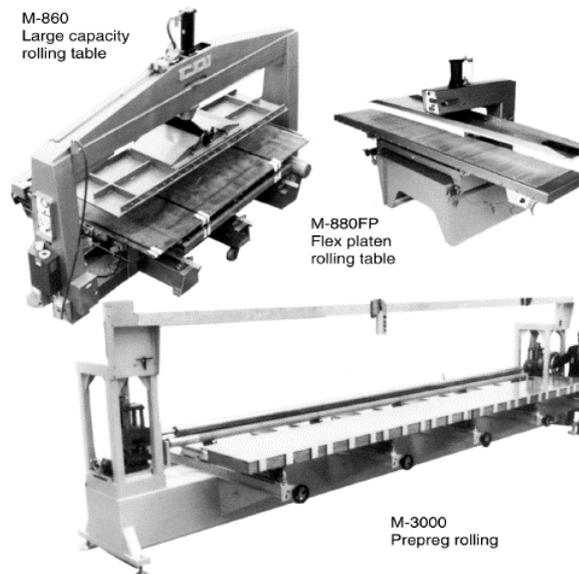


Figura 41-2. Mesa rodante para pre impregnados.

Fuente: (Mazumdar 2001)

2.2.7.10 *Moldeo por inyección de compuestos termoestables*

El moldeo por inyección es más común en la industria de los termoplásticos, pero también se ha utilizado con éxito en la industria de los termoestables. Es un proceso de fabricación de alto volumen y es adecuado para aplicaciones de consumo, automotrices y recreativas. En el moldeo por inyección, se inyecta una cantidad fija de material en las cavidades del molde calentado. Después de completar la reticulación, el molde se abre y la pieza se deja caer en un contenedor de recepción. Normalmente, el proceso completo tarda entre 30 y 60 s. El moldeo por inyección tiene el tiempo de ciclo de proceso más corto en comparación con cualquier otra operación de moldeo y, por lo tanto, tiene la tasa de producción más alta. La tasa de producción se puede aumentar aún más al tener un molde de múltiples cavidades. El moldeo por inyección se usa mucho para hacer piezas de tamaño pequeño, pero también se puede usar para hacer estructuras grandes.

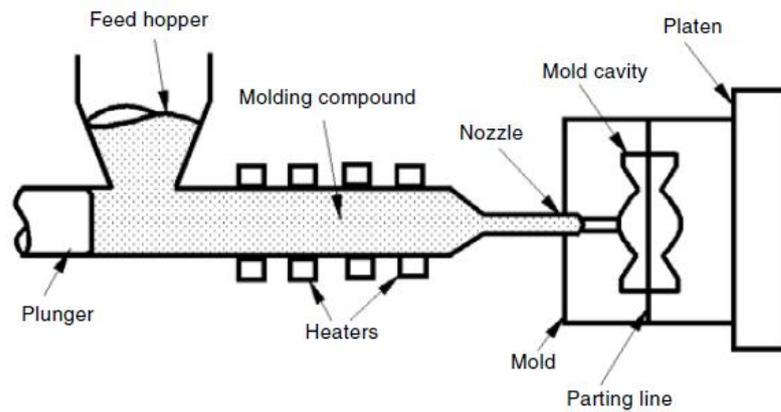


Figura 42-2. Esquema del proceso de moldeo por inyección.

Fuente: (Mazumdar 2001)

2.2.8 Ingeniería asistida por computador para el modelado del material compuesto

Cuando se trata de diseño y análisis de estructuras y materiales compuestos, Autodesk Inventor y ANSYS académico son dos herramientas esenciales en la ingeniería moderna. En primer lugar, los ingenieros y diseñadores pueden crear modelos precisos de piezas y ensamblajes utilizando Autodesk Inventor, un programa de modelado 3D. Esto es crucial para el análisis de materiales compuestos porque los modelos 3D se pueden importar a ANSYS académico para un análisis adicional, así como para la simulación de carga y el análisis estructural.

ANSYS académico, por otro lado, es un programa de simulación de elementos finitos que se utiliza para pronosticar cómo se comportarán los materiales y las estructuras en diversos contextos. Un análisis del comportamiento del material bajo diversas condiciones y cargas es posible gracias al uso de modelos de elementos finitos de ANSYS, que dividen la estructura en elementos más pequeños. Para el análisis estructural, los modelos 3D creados en Inventor se pueden exportar a ANSYS, lo que permite una simulación más precisa del comportamiento del material en diversas condiciones.

2.2.9 Método de elementos finitos – FEM

La simulación numérica se ha convertido en una herramienta esencial en el diseño de vehículos, permitiendo a los ingenieros evaluar el rendimiento estructural y de seguridad antes de la fabricación del prototipo. El método de elementos finitos (MEF) es una técnica ampliamente utilizada para la simulación de estructuras, y su aplicación en el diseño de automóviles ha demostrado ser efectiva en la evaluación del rendimiento estructural y de seguridad en diferentes tipos de choques y situaciones de carga (Wu et al. 2021; Poon et al. 2019; Kim, Park, Lee 2020).

En el presente trabajo se utiliza el MEF para el diseño y simulación de los elementos estructurales de la carrocería de un automóvil de categoría M1 en referencia a los dispositivos de visión externa “retrovisores” de clase III. En particular, se enfoca en el análisis de la rigidez, la resistencia y el comportamiento en choques de diferentes configuraciones del retrovisor, con el objetivo de evaluar la seguridad y el rendimiento estructural del vehículo.

Se realizarán ensayos de laboratorio para obtener los parámetros de material necesarios para el análisis mediante MEF. En particular, se realizarán ensayos de tracción y compresión en diferentes puntos de la carrocería, así como ensayos de impacto para determinar la resistencia a las deformaciones.

Los resultados se analizarán mediante el software de simulación ANSYS, que es uno de los más utilizados en la industria automotriz para el análisis estructural. Se utilizarán diferentes configuraciones de carrocería y se compararán los resultados para identificar las configuraciones más efectivas en términos de rigidez, resistencia y seguridad en caso de choques.

2.3 Marco conceptual

- Cabuya: Tipo de fibra natural obtenida de la planta Agave sisalana, que se utiliza en la fabricación de tejidos y cuerdas resistentes.
- Compuestos de matriz polimérica: Materiales compuestos en los que una matriz polimérica (como una resina epoxi) se utiliza para unir y sostener un refuerzo fibroso (como la cabuya mercerizada) para formar un material más resistente y duradero.
- Ensayos mecánicos: Pruebas para medir las propiedades mecánicas de un material, como su resistencia a la tracción, flexión e impacto, con el fin de evaluar su comportamiento bajo diferentes cargas.
- Método de elementos finitos: Método numérico utilizado para simular el comportamiento de estructuras complejas sometidas a cargas externas, dividiéndolas en elementos más pequeños y modelando su comportamiento individual.
- Refuerzo de tejido plano: Tipo de refuerzo fibroso utilizado en materiales compuestos, que se caracteriza por tener una estructura en forma de cuadrícula o rejilla, lo que le da una alta resistencia a la tracción y flexión.
- Resina epoxi: Tipo de resina termoestable que se utiliza comúnmente como matriz polimérica en materiales compuestos, debido a su alta resistencia y durabilidad.

2.4 Identificación de variables

Variable independiente:

Material compuesto

Variable dependiente:

Propiedades mecánicas

La variable independiente del tema es el uso del material compuesto por resina epoxi y refuerzo de tejido plano de cabuya mercerizada en el diseño y construcción del retrovisor. La variable dependiente es la resistencia y durabilidad del retrovisor fabricado con este material compuesto.

2.5 Operacionalización de variables

Tabla 12-2. Operacionalización de la variable independiente.

VARIABLE INDEPENDIENTE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	DEFINICIÓN DE LOS INDICADORES	CRITERIO DE MEDICIÓN	TÉCNICA	INSTRUMENTO	ESCALA
Material compuesto matriz epoxi – cabuya mercerizada	Material compuesto de matriz polimérica y refuerzo natural	% Refuerzo natural	Mercerización	Ataque químico para acabado superficial	Acabo superficial	Visual - experimental	Microscopio	100 - 500 um
			Orientación	Aplicación de dirección de fuerza para soportar esfuerzo	Configuración geométrica	Visual - experimental	Graduador Lupa Flexómetro	0 - 90 Gr
		% Matriz	Propiedad física	Densidad	Volumen	Experimental	Densímetro	0,935 - 1 gr/cm ³

Realizado por: (Pachacama Nasimba 2023)

Tabla 13-2. Operacionalización de la variable dependiente.

VARIABLE DEPENDIENTE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	DEFINICIÓN DE LOS INDICADORES	CRITERIO DE MEDICIÓN	TÉCNICA	INSTRUMENTO	ESCALA
Propiedades mecánicas	Propiedades mecánicas de un material	Tracción	Propiedad mecánica	Falla estructural	Esfuerzo Tracción	Experimental	ASTM D3039	10 - 20 MPa
		Flexión			Esfuerzo Flexión		ASTM D7264	20 - 40 MPa
		Impacto			Energía		ASTM D5628	1,5 - 10 J/mm

Realizado por: (Pachacama Nasimba 2023)

Tabla 14-2. Operacionalización de la variable interviniente.

VARIABLE INTERVINIENTE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	DEFINICIÓN DE LOS INDICADORES	CRITERIO DE MEDICIÓN	TÉCNICA	INSTRUMENTO	ESCALA
Retrovisor vehículos categoría M1	Elemento de seguridad activa para vehículos	Seguridad	Flexión	Falla estructural	Falla estructural	Experimental	Reglamento n°46. CEPE	25Kg
			Ensayo impacto		Deflexión	Experimental		<10mm

Realizado por: (Pachacama Nasimba 2023)

2.6 Matriz de consistencia

Tabla 15-2. Matriz de consistencia del tema de investigación.

	INTERROGANTE GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES Y SUBVARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
G	No se dispone del estudio de la resistencia mecánica de un retrovisor construido por un material compuesto por resina epoxi y refuerzo de tejido plano de cabuya mercerizada.	Estudiar la resistencia mecánica de un retrovisor construido por un material compuesto por resina epoxi y refuerzo de tejido plano de cabuya mercerizada.	Sí se logrará estudiar la resistencia mecánica de un retrovisor construido por un material compuesto por resina epoxi y refuerzo de tejido plano de cabuya mercerizada.	<p>Variable independiente: Material compuesto</p> <p>Variable dependiente: Propiedades mecánicas</p>	<p>% V de fibra</p> <p>% V de matriz</p> <p>Presencia de vacíos</p> <p>Adhesión entre matriz fibra</p>	<p>METODOLOGÍA</p> <p>Observación.</p> <p>Toma de datos.</p> <p>Microscopía.</p> <p>Ensayo de impacto (péndulo)</p>

	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES Y SUBVARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS A USAR
E1	Material compuesto por resina epoxi y refuerzo de tejido plano de cabuya mercerizada.	Caracterizar el material compuesto por resina epoxi y refuerzo de tejido plano de cabuya mercerizada.	El material compuesto por resina epoxi y refuerzo de tejido plano de cabuya mercerizada tiene las características requeridas de absorción de energía de impacto	Variable independiente: Tipo de material compuesto Variable dependiente: Tipo de refuerzo	Características mecánicas del material y sus componentes	Probetas Erlenmeyer Vasos de precipitados Balanza digital
E2	La composición en volumen y capas de las fibras aumentan las propiedades mecánicas del material compuesto	Evaluar la composición en volumen y capas de las fibras que influyen en las propiedades mecánicas del material compuesto	La composición en volumen y capas de las fibras influyen en las propiedades mecánicas del material compuesto	Variable independiente: - Composición de la mezcla - Capas de las fibras Variable dependiente: - Propiedades mecánicas del material compuesto	Ensayos de tracción, flexión e impacto	Software CAD Software MEF Microscopio de barrido electrónico SEM Simulación por el método de elementos finitos caída de dardo
E3	Absorción de energía de impacto en el material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra natural	Simular la energía de impacto en el material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra natural	Se puede atenuar la energía de impacto en el material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra natural	Variable independiente: Material compuesto Variable dependiente: - Factor de seguridad	Convergencia de malla	

Realizado por:(Pachacama Nasimba 2023)

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo y diseño de investigación.

La investigación fue experimental, debido a que se realizaron ensayos de tracción, flexión e impacto para determinar las propiedades del material compuesto, basado en normas. Además, se reconocieron variables investigativas como la fracción volumétrica y el número de capas; de esta manera se caracterizó el material compuesto para su posterior aplicación en la construcción del retrovisor, al que adicionalmente se lo evaluó en laboratorio bajo el reglamento n°46 de la CEPE.

El diseño de la investigación es transversal, la razón principal para esto es que el objetivo de la investigación es examinar las características y la durabilidad del retrovisor diseñado y construido con el material compuesto. Este objetivo se puede lograr mediante la comparación del rendimiento y la resistencia del retrovisor de material compuesto con el de los retrovisores convencionales de automóviles en el mercado.

Un diseño transversal permitiría obtener datos de diferentes grupos de retrovisores en un momento específico, lo que permitiría comparar las diferencias en el rendimiento y la resistencia de cada uno de ellos. Por lo tanto, este diseño sería más adecuado para cumplir con el objetivo de la investigación.

3.2 Métodos de investigación.

El método experimental permitió llevar a cabo pruebas y mediciones sistemáticas en condiciones controladas del retrovisor diseñado y construido con el material compuesto. Esto permitió obtener datos precisos y confiables sobre el rendimiento y la resistencia del retrovisor bajo las condiciones de ensayo de la norma N° 46 de la CEPE.

Además, el uso del método experimental permitió aislar las variables que influyen en el rendimiento del retrovisor y determinar el efecto de cada una de ellas de manera precisa y controlada.

3.3 Enfoque de la investigación.

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que permitió obtener datos objetivos y medibles sobre el rendimiento del retrovisor de material compuesto diseñado y construido, lo que evaluó la viabilidad y aplicabilidad en la construcción de retrovisores de automóviles.

3.4 Alcance de la investigación.

El alcance de la investigación fue exploratorio y explicativo, ya que se necesitó explorar y examinar las posibilidades y limitaciones del uso de materiales compuestos en el diseño y construcción de retrovisores, así como analizar y explicar los resultados obtenidos de las pruebas y experimentos realizados.

3.5 Población de estudio.

La población de estudio está compuesta por el material compuesto de resina epoxi-fibra natural mercerizada y su comportamiento mecánico. También se consideró a los fabricantes de retrovisores para vehículos de categoría M1 como población de estudio para el análisis costo-beneficio.

3.6 Unidad de análisis.

Son objeto de estudio los vehículos motorizados de la subcategoría M1

3.7 Selección de la muestra.

En particular, las normativas ASTM relacionadas con materiales compuestos proporcionan una guía para la prueba, caracterización y evaluación de los materiales compuestos. Estas normas establecen procedimientos y requisitos para las pruebas mecánicas, las pruebas de resistencia al impacto, las pruebas de flexión y tracción, dichas normativas establecen en su apartado, **Muestreo y especímenes de prueba**, que se deben evaluar al menos cinco especímenes por condición de prueba a menos que se puedan obtener resultados válidos mediante el uso de menos especímenes, como en el caso de un experimento diseñado.

3.8 Tamaño de la muestra.

La selección de la muestra de las probetas para los distintos ensayos se realizará en base a normas ASTM, como se detalla a continuación:

Tabla 16-3. Muestra de probetas para ensayo.

Matriz	Refuerzo	Configuración del refuerzo	Tratamiento del refuerzo	Tipo de ensayo	Nº Probetas
Resina Epoxi	2 capas	Tejido plano	Mercerización	Tracción	5
Resina Epoxi	2 capas	Tejido plano	Mercerización	Flexión	5
Resina Epoxi	2 capas	Tejido plano	Mercerización	Impacto	5
Resina Epoxi	3 capas	Tejido plano	Mercerización	Tracción	5
Resina Epoxi	3 capas	Tejido plano	Mercerización	Flexión	5
Resina Epoxi	3 capas	Tejido plano	Mercerización	Impacto	5
				Total	30

Realizado por: (Pachacama Nasimba 2023)

3.9 Técnicas de recolección de datos primarios y secundarios

Se emplearon técnicas de recolección de datos primarios y secundarios para obtener una visión integral del proyecto. A continuación, se describen las técnicas utilizadas para cada tipo de datos:

3.9.1 Datos primarios:

a) Observación directa:

Se llevó a cabo una observación detallada del proceso de diseño y construcción del retrovisor utilizando el material compuesto. Esta técnica permitió registrar y documentar los pasos específicos involucrados, así como las dificultades y aspectos destacados del proceso. Se recopilaron datos sobre las propiedades del material, la técnica de fabricación utilizada y las características finales del retrovisor.

b) Experimentos:

Se diseñaron y realizaron experimentos controlados para evaluar las propiedades y rendimiento del retrovisor construido con el material compuesto de resina epoxi y tejido plano de cabuya mercerizada. Se establecieron variables específicas, como la carga aplicada, las condiciones ambientales y los métodos de ensayo en base a la normativa, para medir aspectos como la resistencia y la durabilidad del retrovisor. Se recopilaron datos experimentales para analizar y comparar con resultados esperados.

3.9.2 Datos secundarios:

Para complementar la investigación, se utilizaron diversas técnicas de recolección de datos secundarios relacionados con el tema del proyecto:

a) Investigación bibliográfica

Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de libros, revistas científicas, tesis y otros documentos académicos que abordan los materiales compuestos, la resina epoxi y el uso de cabuya mercerizada en aplicaciones similares. Esto proporcionó información teórica y antecedentes relevantes sobre la resistencia, las propiedades ópticas y otras características de los materiales utilizados en el diseño y construcción de retrovisores.

b) Bases de datos

Se accedió a bases de datos en línea especializadas en ingeniería de materiales y diseño de productos para recopilar información sobre las propiedades específicas de la resina epoxi, el tejido de cabuya mercerizada y otros compuestos similares utilizados en la industria. Estos datos permitieron respaldar y comparar los resultados obtenidos en los experimentos realizados.

c) Informes y documentos industriales

Se analizaron informes técnicos, normativas, documentos de la industria y patentes relacionadas con el uso de materiales compuestos en la fabricación de componentes automotrices, incluyendo retrovisores. Estos recursos proporcionaron información práctica sobre técnicas de fabricación, estándares de calidad y consideraciones de diseño relevantes para el proyecto.

3.10 Instrumentos para procesar datos recopilados

3.10.1 *Materia prima.*

Para la matriz se utilizó resina epóxica de cadena cruzada CRETONBOND 52YN transparente que no requiere diluyente con densidad de $1.10 \pm 0.10\text{Kg/l}$ cuyas características detalladas se muestran en el ANEXO A.

La fibra tejida fue procesada por “Textiles Álvarez” ubicada en Quito, Mejía y José López (El Tejar). Las características mecánicas referenciales del material de refuerzo se encuentran en el ANEXO B.

3.10.2 *Tratamiento del material de refuerzo.*

El tratamiento de mercerización a las fibras de refuerzo consistió en replicar el experimento documentado en “Influencia de la modificación de las fibras sobre las características a fractura de un poliestireno reforzado con fibras de yute”, realizado por (Llop et al., 2005) en la Universidad de Girona, donde se mercerizo la fibra con hidróxido sódico al 0.5% durante cuatro horas. En tal efecto, nuestra experimentación se realizó bajo las siguientes consideraciones:

$$\text{Porcentaje} \left(\frac{m}{v} \right) = \frac{\text{masa de soluto}}{\text{volumen de solución}} \times 100$$

$$0.5\% = \frac{\text{masa de soluto}}{8000 \text{ ml}} \times 100$$

Donde la masa del soluto (Hidróxido sódico) a diluir en 8 litros de agua es igual a 40g



Figura 43-3. Fibra sumergida en solución al 0.5% de hidróxido de sodio por 4 horas

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

Después de que las fibras tejidas pasaran sumergidas por 4 horas en la solución se extrajo y dejó secar naturalmente al sol.

3.10.3 Elaboración de probetas.

Para la elaboración de las probetas se utilizó dos planchas de madera de 390mm x 560mm según se muestra en la figura 44-3, que fueron ubicadas tipo sánduche para estratificación manual por presión. Se realizaron dos ejemplares, el primero para las probetas de 2 capas de fibra tejida de cabuya mercerizada y la segunda para la configuración con tres capas.

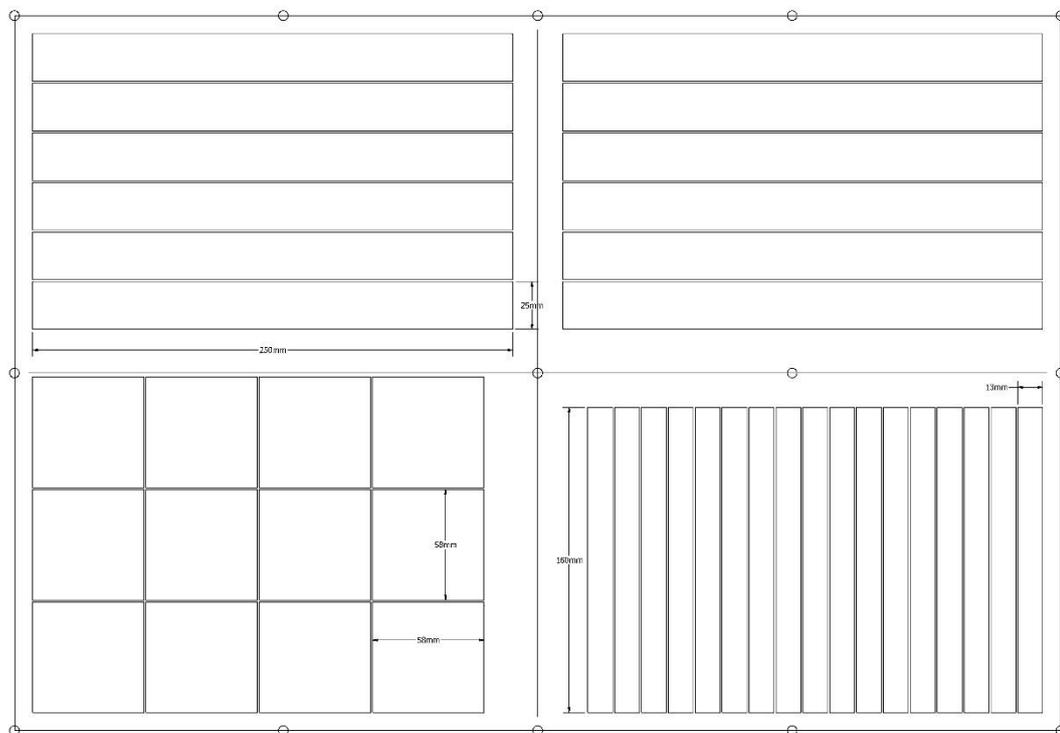


Figura 44-3. Distribución de probetas para ensayos de tracción, flexión impacto.

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

Las planchas de madera fueron cubiertas con cera desmoldante para fácil extracción después del tiempo de curado.



Figura 45-3. Planchas de madera en disposición tipo sandwich para estratificación manual.

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

3.10.4 Curado.

La ficha técnica del fabricante recomienda un tiempo de curado a temperatura ambiente de 24 a 48 horas. Para la investigación los tableros permanecieron comprimidos por 48 horas con el objetivo de eliminar burbujas y tener la mayor adherencia entre el refuerzo y la matriz.

3.10.5 Caracterización del material compuesto.

Para determinar las propiedades mecánicas en la caracterización de los materiales compuestos, se utilizan ensayos destructivos. El proceso de ensayo comienza en tomar determinada cantidad de muestras del material y realizar cierto número de pruebas para caracterizar el comportamiento de este. Los ensayos mecánicos se realizan ante circunstancias simuladas y con equipo adecuado, para resultados satisfactorios (Guerrero 2011).

La Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ASTM por sus siglas en inglés, ha desarrollado normas para ensayo de materiales entre las cuales se pueden encontrar las normas de caracterización de composites con matriz polimérica.

- ASTM D3039/D3039M-17 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials
- ASTM D7264/D7264M-21 Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials
- ASTM D5628-18 Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass)

3.10.5.1 Tracción

Tabla 17-3. Tabla de recolección de datos del informe de tracción.

		<p align="center">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO INSTITUTO DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA</p> <p align="center">ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS INFORME DE RESULTADOS N°: 010468528420230519-ETC. ANEXO C</p>			
DATOS GENERALES					
Empresa/Cliente: Víctor Patricio Pachacama Nasimba			RUC/C.C.: 0104685284001		Teléfono: +593986410602.
Dirección: Calle 5ta y Calle I, Parroquia 7 de Octubre, Quevedo.			Correo: victorpachacama@esPOCH.edu.ec		
DATOS DEL ENSAYO:					
Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Fomento Metalmecánico Productivo Carrocero					
Dirección: Santo Domingo y Río de Janeiro, Catigлата/Ambato.					
Método de ensayo: ASTM D3039/D3039M-17. Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.					
Tipo de ensayo: Cuantitativo.			Tipo de probeta: Plana.		
Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Metrotec 50 KN.			Modelo: MTE-50		Serie: 8802M002.
Velocidad de ensayo: 5 mm/min.			Precarga: 0 N.		
Fecha de Inicio de Ensayo: 2023/05/19.			Fecha de Finalización de Ensayo: 2023/05/19.		
DETALLES DEL MATERIAL COMPUESTO					
N°	Identificación de probetas	Configuración	Designación	Probetas por ensayar	
1	ETC 01	RE+3CFC	M1	5	

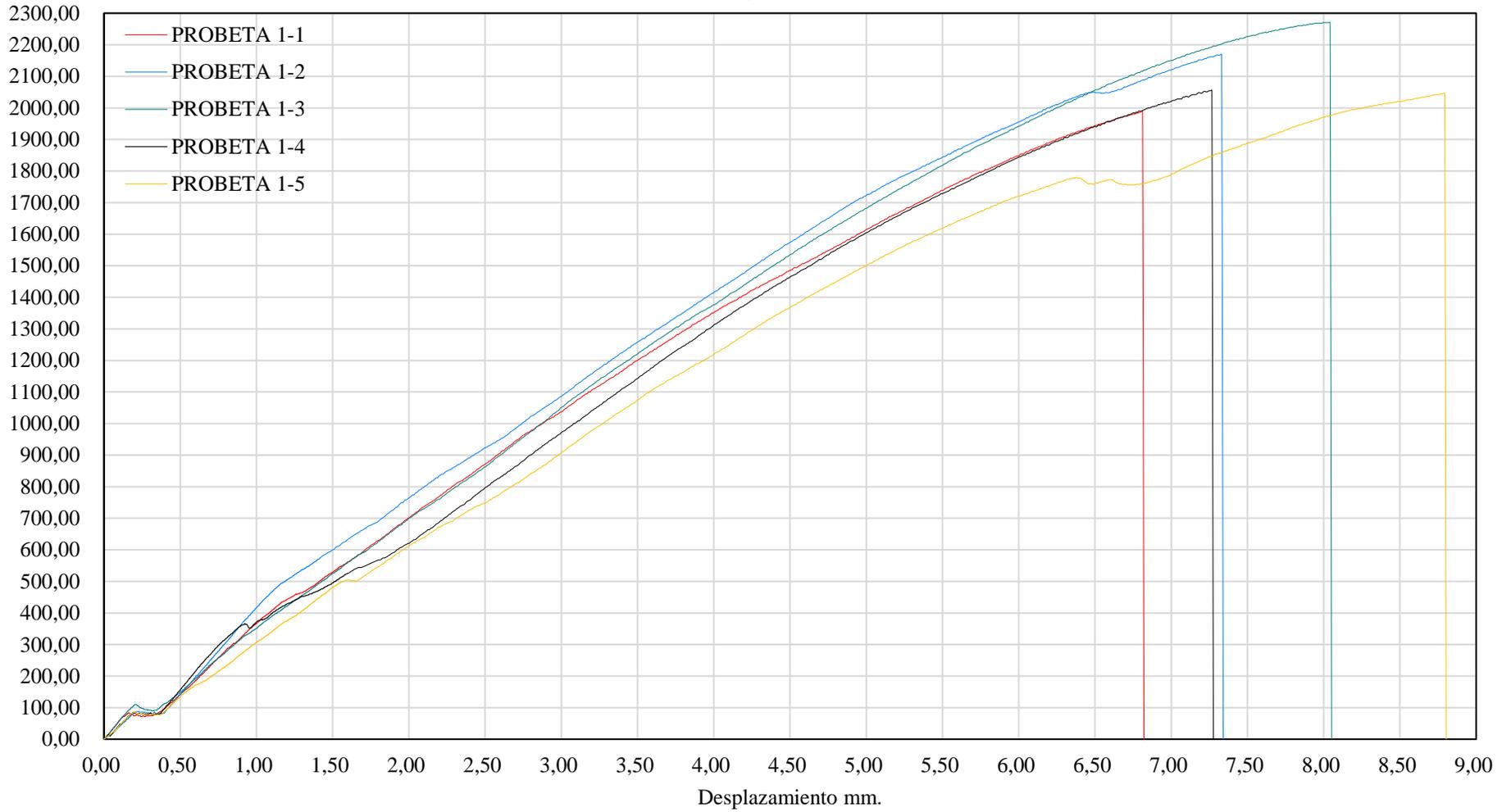
2	ETC 02	RE+2CFC	M2	5
Material de matriz:		Resina Epoxi	Material de refuerzo:	Fibra de cabuya tejida
Configuración del material compuesto: Resina epoxi + 3 capas de fibra de cabuya tejida mercerizada				

RESULTADOS DEL ENSAYO M1

#	Identificación de probeta	Temp (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Desplazamiento mm	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
1	ETC 01-1	23,8	52,3	24,84	1,87	1988,10	42,80	942,46	6,812	4,541	LGB
2	ETC 01-2			24,86	1,96	2170,11	44,54	911,28	7,331	4,887	LGM
3	ETC 01-3			24,59	2,01	2270,11	45,93	856,68	8,042	5,361	LGM
4	ETC 01-4			24,59	1,88	2056,10	44,48	918,04	7,267	4,845	LGM
5	ETC 01-5			24,88	1,83	2046,10	44,94	766,53	8,794	5,863	LGM
Promedio \bar{X}						2106,104	44,536	878,999	7,649	5,099	
Mediana μ						2056,100	44,537	911,282	7,331	4,887	
Desviación estándar S_{n-1}						112,939	1,132	70,251	0,777	0,518	
Coefficiente de variación CV						0,054	0,025	0,080	0,102	0,102	
Máximo Max_x						2270,110	45,930	942,457	8,794	5,863	
Mínimo Min_x						1988,100	42,800	766,532	6,812	4,541	
Rango R						282,010	3,129	175,925	1,982	1,321	

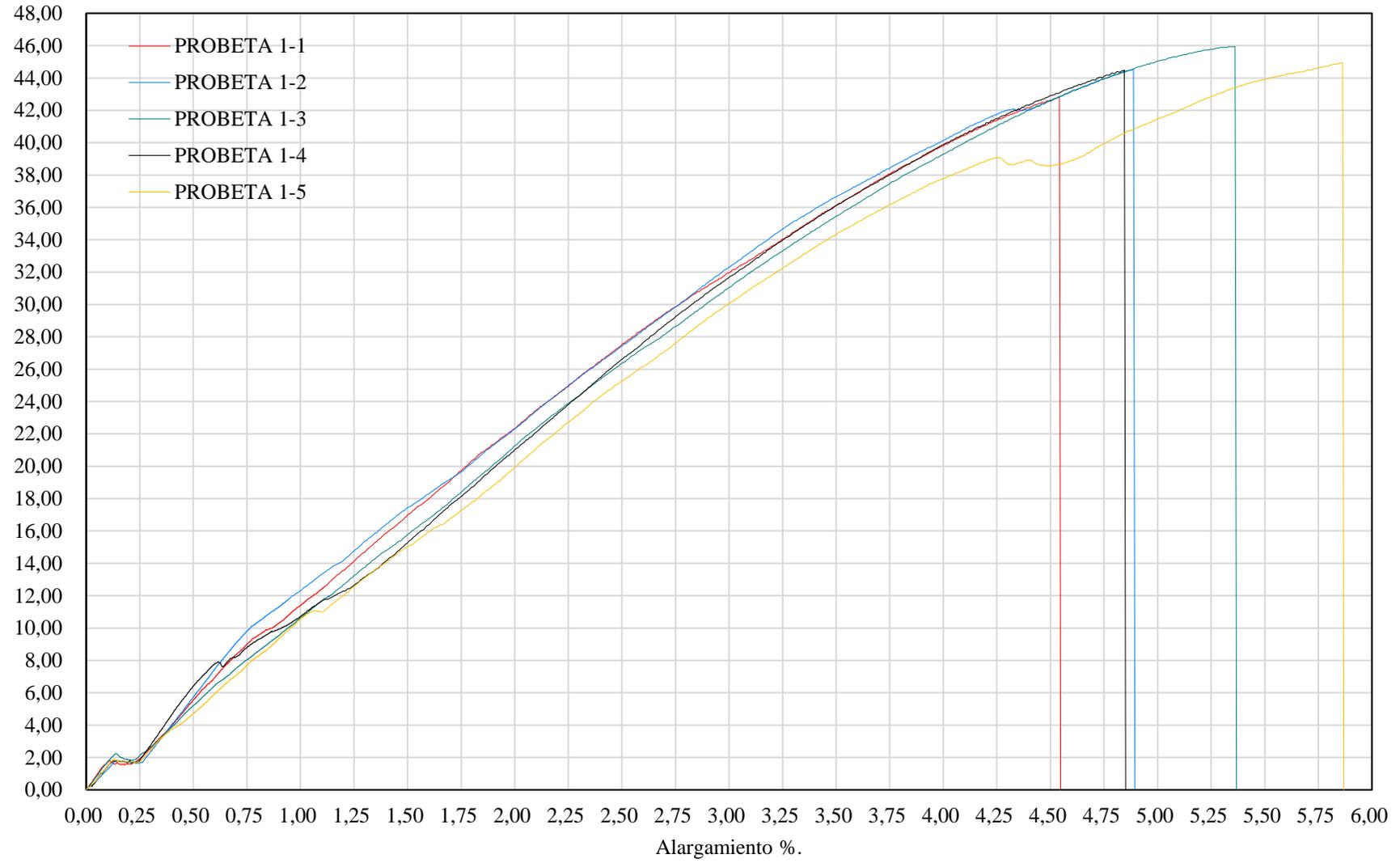
Fuerza N.

Fuerza vs Desplazamiento M1



Carga MPa.

Carga vs Alargamiento. M1

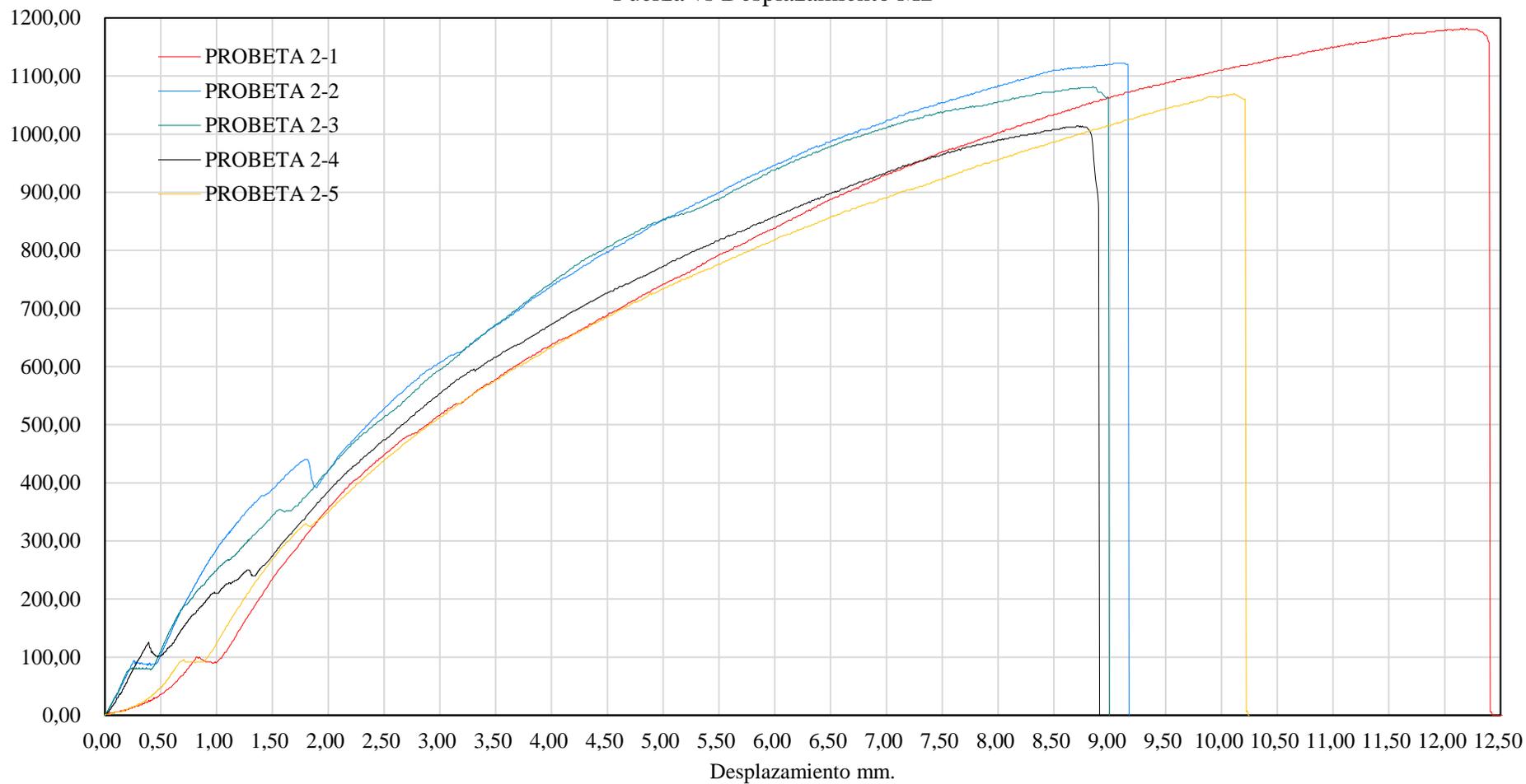


RESULTADOS DEL ENSAYO M2

#	Identificación de probeta	Temp (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Desplazamiento mm	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
6	ETC 02-1	23,7	51,2	24,91	2,04	1182,06	23,26	281,41	12,399	8,266	LGT
7	ETC 02-2			24,84	1,82	1122,06	24,82	406,30	9,163	6,109	LGM
8	ETC 02-3			24,67	1,89	1082,05	23,21	387,34	8,987	5,991	LGB
9	ETC 02-4			24,62	2,02	1014,05	20,39	345,75	8,846	5,897	LGB
10	ETC 02-5			24,85	1,84	1070,05	23,40	343,71	10,213	6,809	LGM
Promedio \bar{X}						1094,054	23,016	352,903	9,922	6,614	
Mediana μ						1082,050	23,261	345,752	9,163	6,109	
Desviación estándar S_{n-1}						62,551	1,612	48,177	1,486	0,990	
Coefficiente de variación CV						0,057	0,070	0,137	0,150	0,150	
Máximo Max_x						1182,060	24,820	406,300	12,399	8,266	
Mínimo Min_x						1014,050	20,390	281,410	8,846	5,897	
Rango R						168,010	4,429	124,889	3,553	2,369	

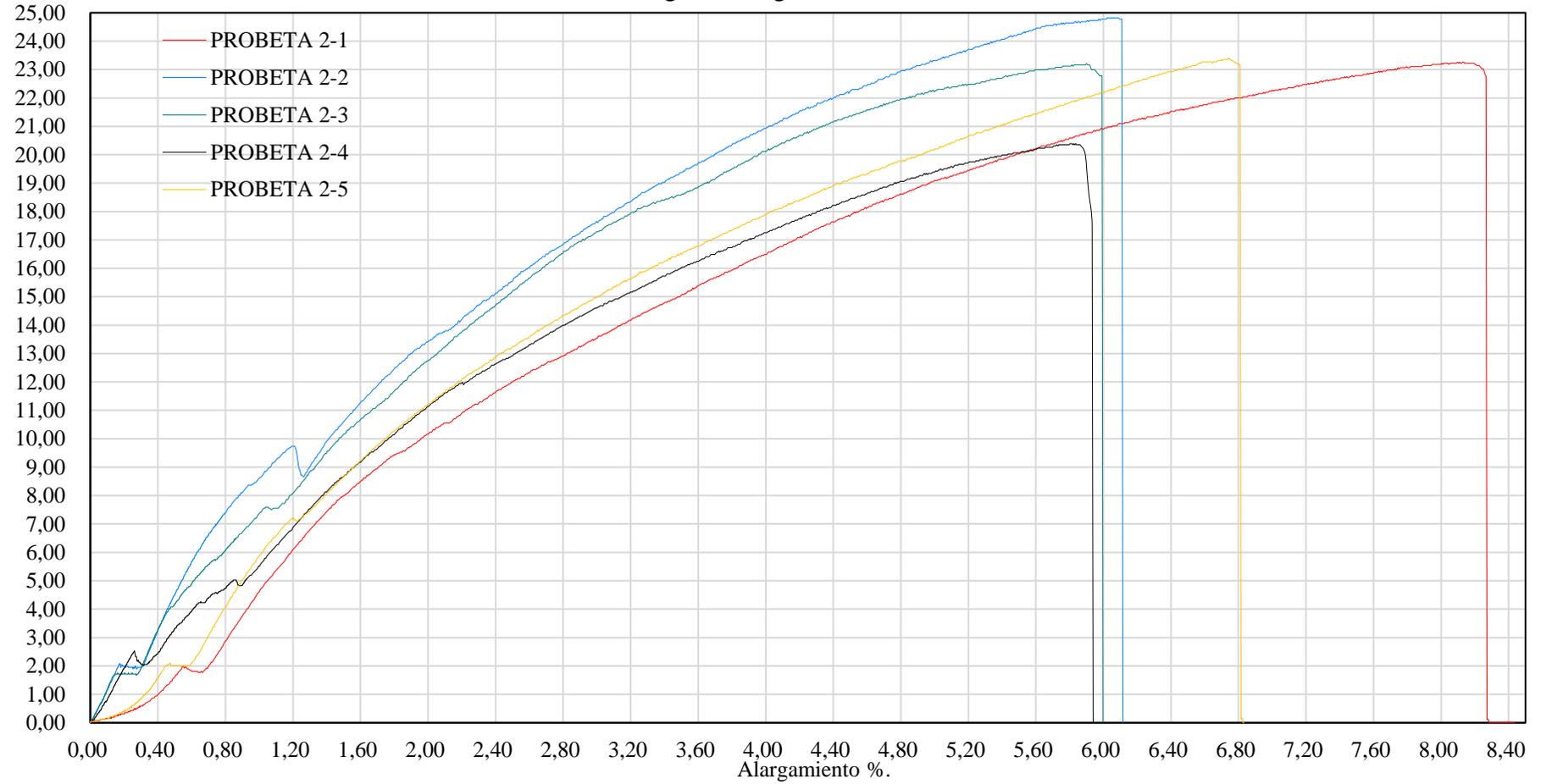
Fuerza N.

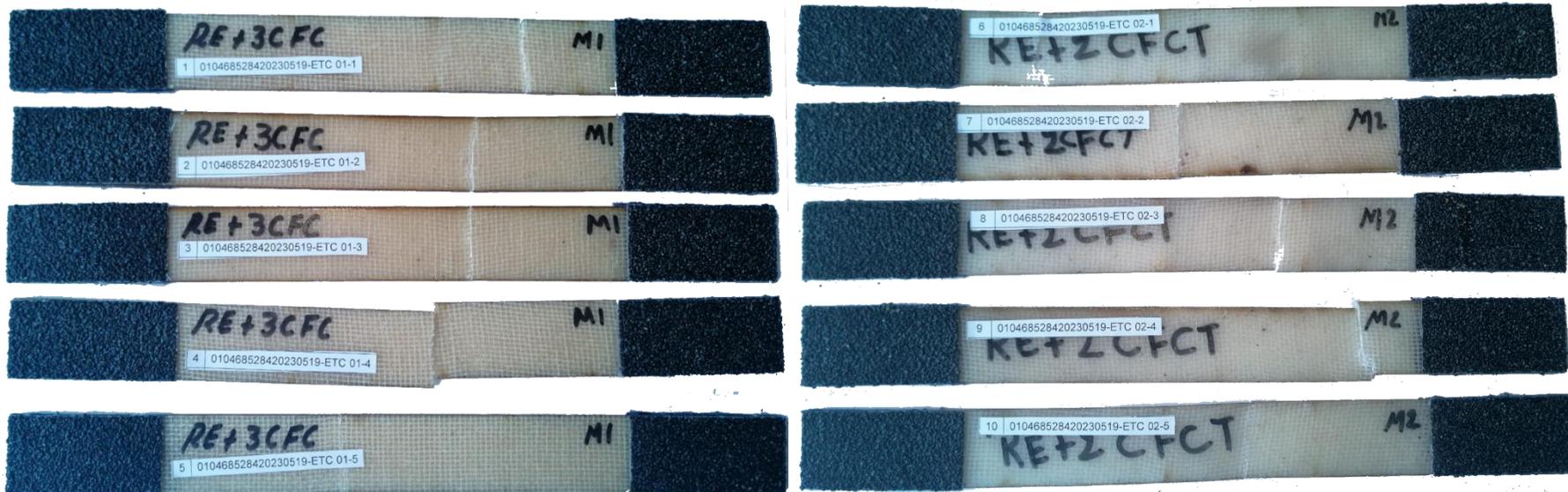
Fuerza vs Desplazamiento M2



Carga MPa.

Carga vs Alargamiento M2





NOMENCLATURA

Tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2017.

Primer carácter	Tipo de falla	Segundo carácter	Área de la falla	Tercer carácter	Localización de falla
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
M	Multimodo	I	Dentro del agarre	B	Parte Inferior
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)



3.10.5.2 Flexión

Tabla 18-3. Tabla de recolección de datos del informe de flexión.

		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO INSTITUTO DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS INFORME TÉCNICO 2023 – 131. ANEXO D			
DATOS GENERALES					
Empresa/Cliente: Víctor Patricio Pachacama Nasimba			RUC/C.C.: 0104685284001		Teléfono: +593986410602.
Dirección: Calle 5ta y Calle I, Parroquia 7 de Octubre, Quevedo.			Correo: victorpachacama@epoch.edu.ec		
DATOS DEL ENSAYO:					
Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato					
Dirección: Campus Huachi /Ambato.					
Método de ensayo: ASTM D7264/D7264M-21. Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz polimérica					
Tipo de ensayo: Cuantitativo.			Tipo de probeta: Plana.		
Equipo utilizado: Máquina de flexión de tres puntos			Modelo: AGS-X 50kN		Serie: I345160 36019
Tipo de medición: Resistencia MPa			Dimensiones mm: 160mm x 13x 2mm		
DETALLES DEL MATERIAL COMPUESTO					
N°	Identificación de probetas	Configuración	Designación	Probetas por ensayar	
1	RE+3CFCT-#	RE+3CFC	M1	5	

2	RE+2CFCT-#	RE+2CFC	M2	5
Material de matriz:		Resina Epoxi	Material de refuerzo:	Fibra de cabuya tejida
Configuración del material compuesto: Resina epoxi + # capas de fibra de cabuya tejida mercerizada				

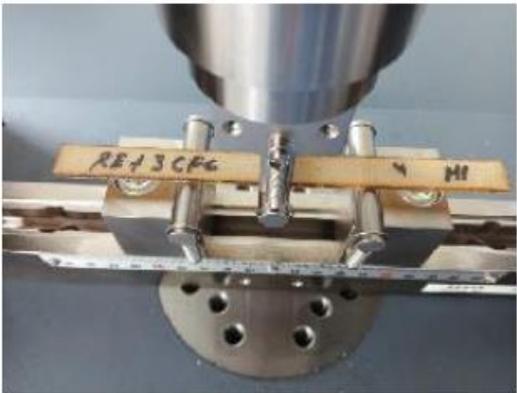
RESULTADOS DEL ENSAYO M1

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (Calculado) (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)
				Ancho	Espesor					
1	RE+3CFCT-1	21,6	50,4	12,5	2	34,67	15,53	66,57	1463,30	4,55
2	RE+3CFCT-2	21,6	50,4	12,5	2	40,72	14,70	78,19	1815,76	4,31
3	RE+3CFCT-3	21,6	50,4	12,5	2	41,21	10,62	79,12	2543,18	3,11
4	RE+3CFCT-4	21,6	50,4	12,5	2	37,80	12,26	72,57	2020,99	3,59
5	RE+3CFCT-5	21,6	50,4	12,5	2	39,71	11,59	76,25	2244,84	3,40
Promedio \bar{X}						38,82	12,94	74,54	2017,61	3,79
Mediana μ						39,71	12,26	76,25	2020,99	3,59
Desviación estándar S_{n-1}						2,66	2,09	5,11	411,05	0,61
Coefficiente de variación CV						0,07	0,16	0,07	0,20	0,16
Máximo Max_x						41,21	15,53	79,12	2543,18	4,55
Mínimo Min_x						34,67	10,62	66,57	1463,30	3,11
Rango						6,53	4,91	12,54	1079,87	1,44

RESULTADOS DEL ENSAYO M2

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (Calculado) (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)
				Ancho	Espesor					
1	RE+2CFCT-1	21,3	57,1	12,5	2	28,02	9,27	53,80	1980,93	2,72
2	RE+2CFCT-2	21,3	57,1	12,5	2	24,9	5,91	47,81	2761,16	1,73
3	RE+2CFCT-3	21,3	57,1	12,5	2	23,66	5,86	45,43	2646,04	1,72
4	RE+2CFCT-4	21,3	57,1	12,5	2	21,88	5,34	42,01	2685,26	1,56
5	RE+2CFCT-5	21,3	57,1	12,5	2	26,66	6,84	51,19	2554,37	2,00
Promedio \bar{X}						25,02	6,64	25,02	6,64	48,05
Mediana μ						24,90	5,91	24,90	5,91	47,81
Desviación estándar S_{n-1}						2,42	1,56	2,42	1,56	4,65
Coefficiente de variación CV						0,10	0,24	0,10	0,24	0,10
Máximo Max_x						28,02	9,27	28,02	9,27	53,80
Mínimo Min_x						21,88	5,34	21,88	5,34	42,01
Rango						6,14	3,92	6,14	3,93	11,79

ANEXO FOTOGRÁFICO ENSAYO A FLEXIÓN M1



ANEXO FOTOGRÁFICO ENSAYO A FLEXIÓN M2





3.10.5.3 Impacto

Tabla 19-3. Tabla de recopilación de datos del informe de impacto.

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO INSTITUTO DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA ENSAYO DE IMPACTO DE MATERIALES COMPUESTOS INFORME TÉCNICO CTT-2023 – 131. ANEXO E	
DATOS GENERALES		
Empresa/Cliente: Víctor Patricio Pachacama Nasimba	RUC/C.C.: 0104685284001	Teléfono: +593986410602.
Dirección: Calle 5ta y Calle I, Parroquia 7 de Octubre, Quevedo.	Correo: victorpachacama@espoch.edu.ec	
DATOS DEL ENSAYO:		
Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato		
Dirección: Campus Huachi /Ambato.		
Método de ensayo: ASTM D5628-10. Método de prueba estándar para la resistencia al impacto de probetas planas de plástico rígido por medio de un dardo que cae (Tup o masa que cae)		
Tipo de ensayo: Cuantitativo.	Tipo de probeta: Plana.	
Equipo utilizado: Máquina tipo caída de masas de Impacto	Modelo:	Serie:
Tipo de medición: Energía Media de impacto (J)	Dimensiones mm: 58mm x 58 mm	
Fecha de Inicio de Ensayo: 2023/05/25.	Fecha de Finalización de Ensayo: 2023/05/29.	

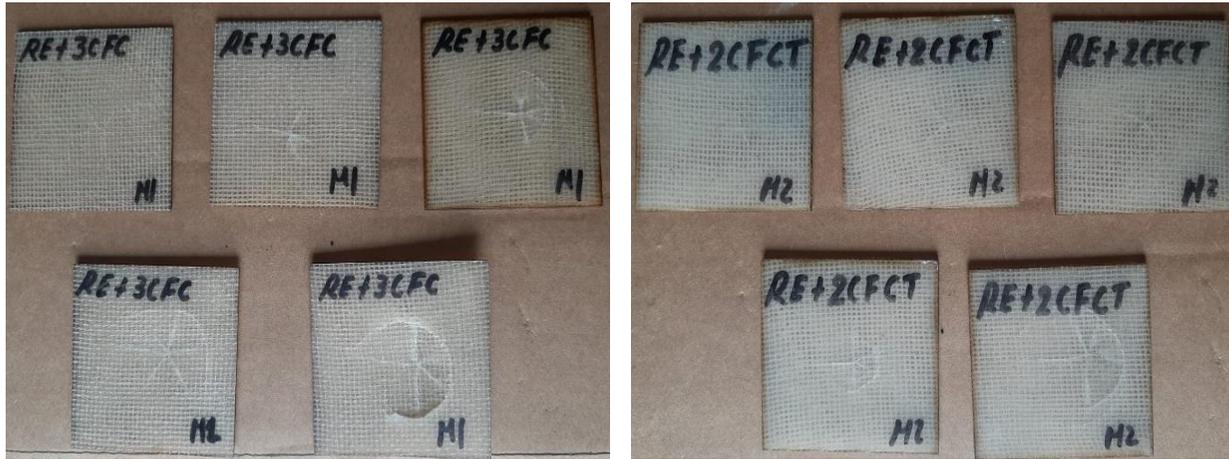
DETALLES DEL MATERIAL COMPUESTO				
N°	Identificación de probetas	Configuración	Designación	Probetas por ensayar
1	RE+3CFC-#	RE+3CFC	M1	5
2	RE+2CFC-#	RE+2CFC	M2	5
Material de matriz:		Resina Epoxi	Material de refuerzo:	Fibra de cabuya tejida
Configuración del material compuesto: Resina epoxi + # capas de fibra de cabuya tejida mercerizada				

RESULTADOS DEL ENSAYO M1

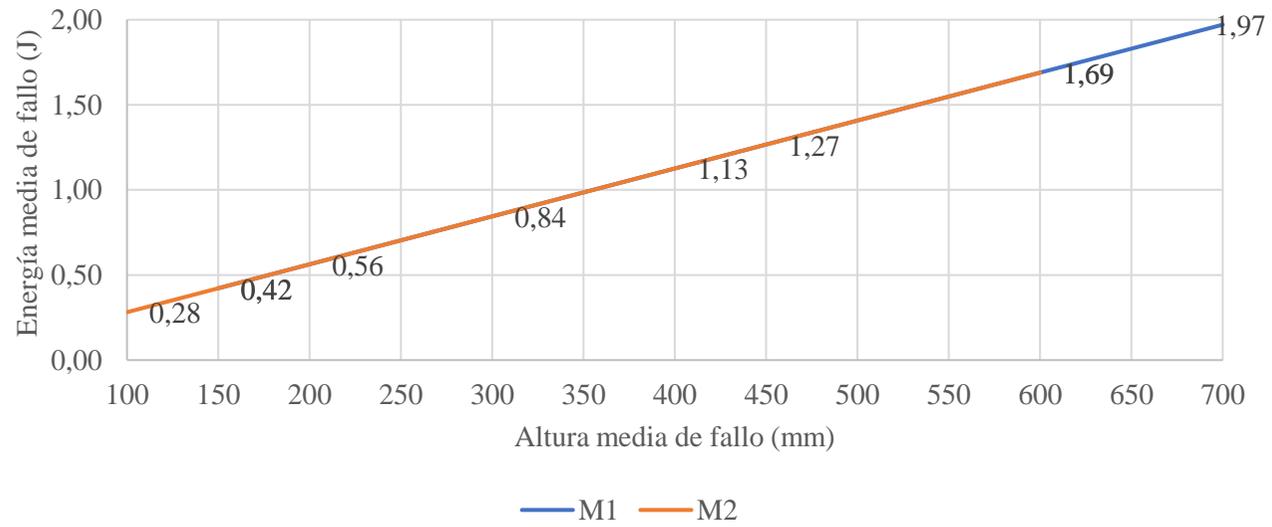
CODIFICACIÓN	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Fuerza de impacto N	Criterio de falla
RE+3CFC-1	58	58	2	0,287	0	150	0,42	0,4223205	No falla
RE+3CFC-2	58	58	2	0,287	0	300	0,84	0,844641	No falla
RE+3CFC-3	58	58	2	0,287	0	450	1,27	1,2669615	Falla
RE+3CFC-4	58	58	2	0,287	0	600	1,69	1,689282	Falla
RE+3CFC-5	58	58	2	0,287	0	700	1,97	1,970829	Falla

RESULTADOS DEL ENSAYO M2

CODIFICACIÓN	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Fuerza de impacto N	Criterio de falla
RE+2CFC-1	58	58	2,5	0,287	0	100	0,28	0,281547	No falla
RE+2CFC-2	58	58	2,5	0,287	0	150	0,42	0,4223205	No falla
RE+2CFC-3	58	58	2,5	0,287	0	200	0,56	0,563094	No falla
RE+2CFC-4	58	58	2,5	0,287	0	400	1,13	1,126188	Falla
RE+2CFC-5	58	58	2,5	0,287	0	600	1,69	1,689282	Falla



IMPACTO



CONCLUSIONES DEL ENSAYO

- Las probetas RE+3CFC tienen una energía de fallo de 1,6893 J,
- Las probetas RE+2CFCT tienen una energía de fallo de 1,1262 J,
- Todas las probetas se las ensayó con el método de prueba FE y fueron impactadas con un dardo de 0,287 Kg.

3.10.6 Ingeniería asistida del retrovisor.

3.10.6.1 Consideraciones para los estudios por elementos finitos.

(Rojas Lazo, Rojas Rojas 2014), mencionan en: Diseño asistido por computador, que; “El concepto básico del análisis por elementos finitos para una estructura radica en sustituir la estructura continua real por una estructura idealizada equivalente compuesta por un número finito de partes discretas (puntos interconectados entre si llamados nodos y al conjunto se le conoce como malla) por medio de un enmallado (bidimensionales; cuadriláteros y triángulos; tridimensionales: hexaedros y tetraedros), al cual se aplican cargas en los nodos de los elementos límite del modelo, después del cual empleando teoremas de energía (relación entre fuerzas actuantes en los nodos y sus desplazamientos, ley de Hooke, módulo de Young, módulo de Poisson, etc.), se llega a derivar una matriz de rigidez (stiffness matriz, - las ecuaciones que rigen el comportamiento de la malla regirán también para la estructura). De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito”. (Ind. data 9(1), 2006, p. 12)

3.10.6.2 Modelo CAD 3D.

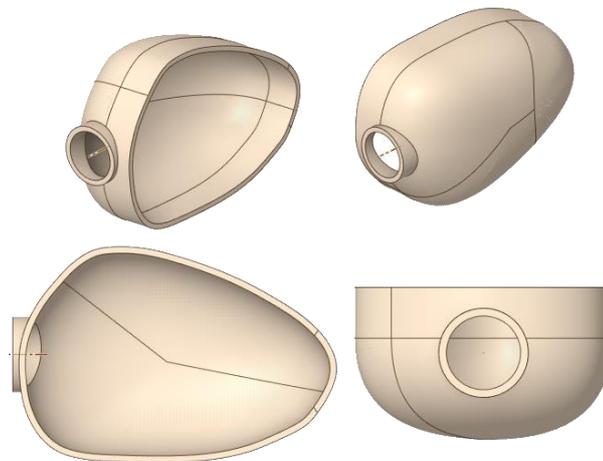


Figura 46-3. Modelo CAD 3D de un retrovisor

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

El modelado CAD 3D desempeña un papel fundamental en la ingeniería de diseño de productos, permitiendo una representación virtual precisa y detallada de los componentes. En este contexto, el diseño del retrovisor automotriz para vehículos de la categoría M1 previa la evaluación del rendimiento estructural mediante el software FEM requirió ser modelado con precisión geométrica para obtener las características mecánicas del componente.

En este estudio, se adoptó un enfoque basado en superficies tipo shell para el modelado del retrovisor en un entorno CAD 3D. Las superficies tipo shell son representaciones geométricas eficientes que capturan las características principales de un objeto, como la curvatura y el espesor. Estas superficies proporcionan una descripción simplificada y precisa del componente, lo que facilita la simulación numérica y el análisis por elementos finitos.

3.10.6.3 *Solucionador (Solver).*

El análisis por elementos finitos (FEA) ha ayudado a disminuir la cantidad de prototipos necesarios, fijar ciertos valores referenciales de coeficientes de seguridad y analizar distintas opciones de diseño cambiando la geometría o el material en un tiempo reducido; permitiendo que los productos no lleguen tarde al mercado lo que implicaría una pérdida considerable de su ciclo de vida (tiempo en que es rentable su producción). El FEA está considerado como una de las herramientas más potentes y probadas para la solución de problemas de ingeniería y ciencia aplicada (Pachacama 2015).

ANSYS student ofrece una suite de software integral que abarca toda la gama de la física, que proporciona acceso a prácticamente cualquier campo de la simulación de ingeniería que requiere un proceso de diseño. Organizaciones de todo el mundo confían en ANSYS para ofrecer el mejor valor por su inversión en software de simulación de ingeniería (Pachacama 2015). Por ello y muchas características más, se seleccionó para realizar las simulaciones de nuestro prototipo

3.10.6.4 *Discretización del modelo CAD 3D.*

La simulación por elementos finitos se utiliza para predecir el comportamiento estructural del retrovisor bajo diferentes condiciones de carga. Mediante la discretización del modelo CAD en una malla de elementos finitos, se pueden calcular las tensiones, deformaciones y desplazamientos en todo el componente. Esto permite evaluar la resistencia, la rigidez y la estabilidad del retrovisor, identificar posibles puntos críticos y optimizar el diseño.

El manual del mallado del software ANSYS (ANSYS Inc. 2015) – “métodos de control” menciona que el método predeterminado para elementos sólidos y de superficie son los tetraedros por su adaptabilidad a las geometrías complejas que los cuadriláteros no pueden adaptarse topológicamente. La figura 47-3, muestra el resultado de una malla tetraédrica aplicada al retrovisor.

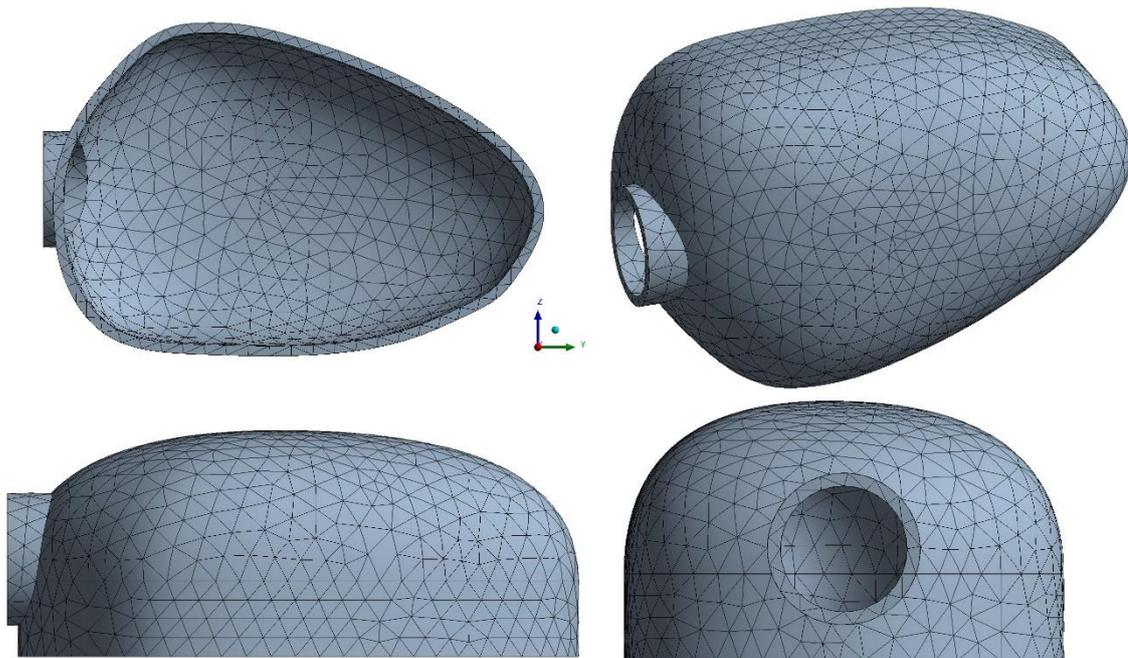


Figura 47-3. Discretización del retrovisor

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

3.10.6.5 *Convergencia de malla.*

La convergencia de malla es un aspecto fundamental en el análisis por elementos finitos (FEA), como se ha destacado en diversas referencias bibliográficas. (Reddy 2019) explica que la convergencia de malla implica refinar la discretización del modelo para obtener resultados numéricos precisos y confiables. (Zienkiewicz, Taylor 2005) también hacen hincapié en que una malla adecuadamente refinada es esencial para garantizar resultados correctos y consistentes en FEA.

(Bathe 2014) agrega que la convergencia de malla es especialmente relevante cuando se enfrentan problemas de convergencia en los análisis, y ofrece pautas para abordar esta situación. (Hughes 2000) destaca la importancia de la convergencia de malla tanto en análisis estáticos como dinámicos, señalando que una malla adecuada es necesaria para lograr resultados precisos en ambos casos. Es en tal motivo que se destaca la importancia de la convergencia de malla en FEA, ya que garantiza resultados numéricos consistentes y confiables, lo que a su vez permite una toma de decisiones en el diseño y análisis estructural previo la construcción del prototipo de retrovisor.

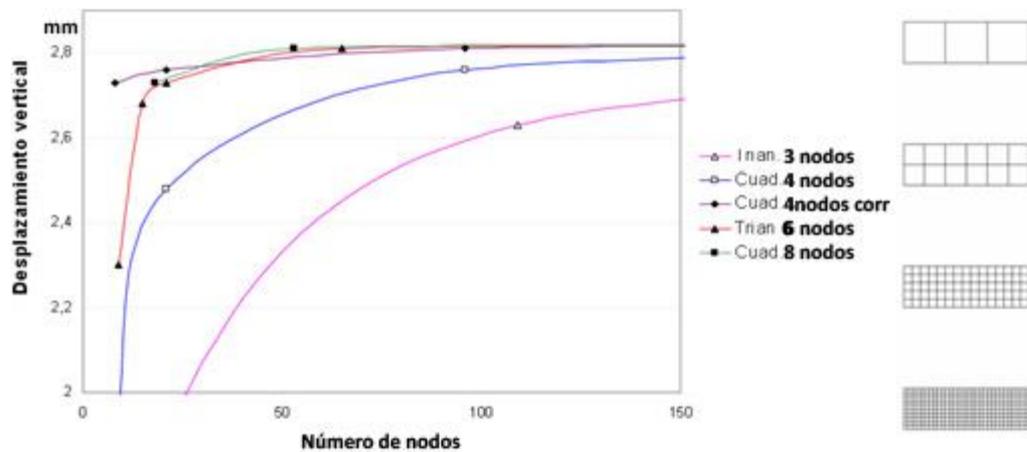


Figura 48-3. Criterio de convergencia de malla

Fuente: (Pachacama 2015)

3.10.6.6 Métrica de malla.

La opción Métrica de malla permite ver información estadística de la malla y, por lo tanto, evaluar la calidad de la malla. Una vez que se genera una malla, se puede optar por ver información sobre cualquiera de las siguientes métricas de malla: Calidad del elemento, Relación de aspecto para triángulos o cuadriláteros, Relación jacobiana (MAPDL, nodos de esquina o puntos de Gauss), Factor de deformación, Desviación paralela, Ángulo de esquina máximo, asimetría, calidad ortogonal, longitud característica (Autodyn), ángulo triple mínimo, Triángulo máximo, Ángulo cuádruple mínimo, Ángulo cuádruple máximo, Ángulo de deformación, Colapso de Tet, Relación de aspecto (explícito), Longitud mínima del borde del elemento, Longitud máxima del borde del elemento y Longitud característica (LS-DYNA) (ANSYS Inc. 2015).

Al seleccionar una métrica de malla, sus valores mínimos, máximos, promedio y desviación estándar se informan en la Vista de detalles y se muestra un gráfico de barras debajo de la ventana Geometría. El gráfico está etiquetado con barras codificadas por colores para cada forma de elemento representada en la malla del modelo y se puede manipular para ver estadísticas específicas de interés de la malla (ANSYS Inc. 2015).

La calidad de malla escogida para el retrovisor fue Jacobian Ratio (Corner Nodes), que está limitada por -1 (peor) y 1 (mejor) en el gráfico de barras de métricas de malla. Una relación jacobiana cuyo valor está cerca de 1 es mejor (ANSYS Inc. 2015).

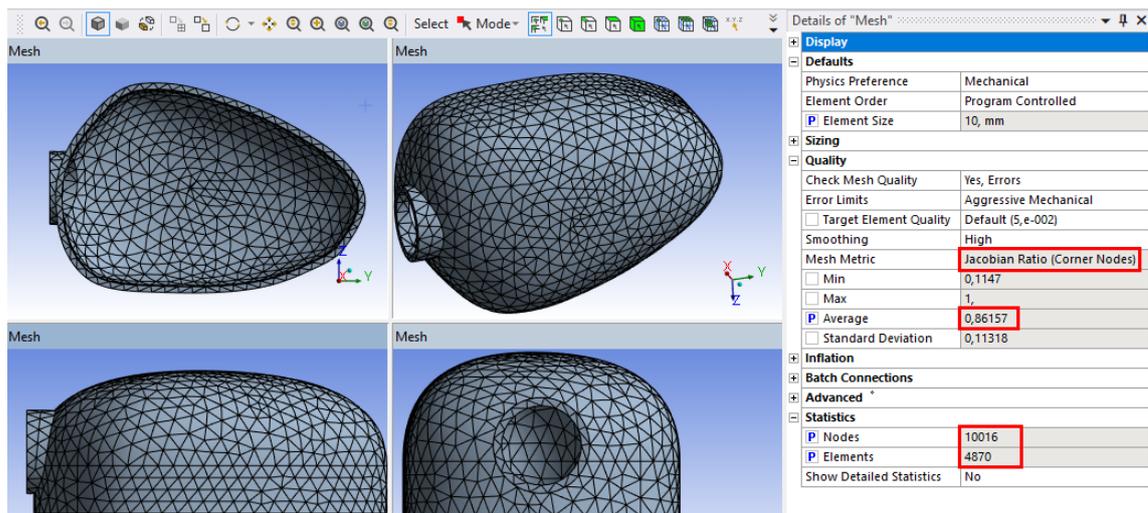


Figura 49-3. Métrica y calidad de malla del retrovisor.

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

La malla tetraédrica para el retrovisor consta de 10016 nodos, 4870 elementos y una métrica de malla Jacobiana promedio igual a 0.86157, parámetros que establecen que el análisis tenga una aproximación lo más cercana a la realidad reduciendo los errores en las simulaciones (ANSYS Inc. 2015).

3.10.6.7 Condiciones de contorno e iniciales.

a) Configuración del material.

Un material ortotrópico es un tipo de material que exhibe propiedades diferentes en tres direcciones mutuamente perpendiculares. Esto significa que sus propiedades mecánicas, como la resistencia y la elasticidad, varían según la dirección en la que se aplique una carga. Estas diferencias en las propiedades se deben a la estructura interna del material y su orientación molecular en cada dirección.

En relación con los composites de matriz polimérica y refuerzo natural, los materiales ortotrópicos son particularmente relevantes debido a su capacidad para adaptarse y mejorar las propiedades de estos compuestos. Los materiales ortotrópicos pueden mejorar significativamente las propiedades de los composites de matriz polimérica y refuerzo natural al aprovechar sus propiedades específicas en diferentes direcciones. Por ejemplo, en un composite con refuerzo de fibras naturales, las fibras pueden tener una orientación específica en el material ortotrópico para maximizar su resistencia en una dirección particular.

Según un estudio publicado en el libro "Composites de matriz polimérica reforzados con fibras naturales" (A. Majeed, N. Mohamed, M. H. A. Bakar, M. T. H. Sultan), se destaca la importancia

de los materiales ortotrópicos en la mejora de los composites de matriz polimérica y refuerzo natural: "Los materiales ortotrópicos ofrecen la ventaja de adaptar las propiedades del composite a las necesidades específicas de la aplicación al controlar la orientación y distribución del refuerzo en el material compuesto. Esto permite maximizar la eficiencia del refuerzo natural y mejorar las propiedades mecánicas del composite."

(Adams, Avella 2005), "Polymer Composites in the Automotive Industry" aborda diversas aplicaciones de materiales compuestos poliméricos en la industria automotriz, incluyendo la resina epoxi y la fibra de cabuya; (Elmarakbi 2012) en "Advanced Composite Materials for Automotive Applications: Structural Integrity and Crashworthiness" hace mención de los materiales compuestos avanzados utilizados en la fabricación de automóviles, incluyendo las resinas epoxi y las fibras de refuerzo, como la fibra de cabuya, en el, analiza aspectos relacionados con la integridad estructural y la resistencia a los impactos tomando en consideración la deformación elástica y la deformación plástica como tipo de fallo, por lo tanto, para esta investigación se configuró el material del retrovisor utilizando datos obtenidos de ensayos destructivos y con ellos se establecieron las propiedades mecánicas, como la resistencia a la tracción, el módulo de elasticidad, la resistencia a la flexión y la resistencia al impacto, Figura 50-3.

Estos parámetros son fundamentales para capturar el comportamiento de reformación elástica real del material del retrovisor en situaciones reales de carga y ayudaron a predecir su rendimiento y su capacidad para soportar diferentes condiciones de operación. Al utilizar los datos de ensayos destructivos obtenidos en laboratorios certificados, se garantiza la calidad y la confiabilidad de los resultados. Los laboratorios certificados siguen estándares internacionales y utilizan máquinas calibradas y técnicas precisas para llevar a cabo los ensayos. Estos resultados se documentan adecuadamente y se consideran válidos en la comunidad científica y en la industria.

The image shows two overlapping windows from a software application. The top window, titled 'Outline of Schematic A2: Engineering Data', displays a table with columns A, B, C, D, and E. Row 1 is 'Contents of Engineering Data' with a 'Source' icon. Row 5 is 'Ortotropic Epoxi /natural fiber, composite' with a 'Description' icon. The bottom window, titled 'Properties of Outline Row 5: Ortotropic Epoxi/natural fiber, composite', displays a table with columns A, B, C, and D. Row 1 is 'Property' with 'Value' and 'Unit' columns. Rows 2-17 list various material properties such as Density, Young's Modulus, Poisson's Ratio, and Shear Modulus, with their respective values and units.

Property	Value	Unit
Material Field Variables	Table	
Density	1272,8	kg m ⁻³
Orthotropic Elasticity		
Young's Modulus X direction	0,94246	GPa
Young's Modulus Y direction	1,3179	GPa
Young's Modulus Z direction	1,472	GPa
Poisson's Ratio XY	0,38987	
Poisson's Ratio YZ	0,346	
Poisson's Ratio XZ	0,328	
Shear Modulus XY	0,33905	GPa
Shear Modulus YZ	0,48957	GPa
Shear Modulus XZ	0,5542	GPa
Tensile Yield Strength	Tabular	
Tensile Ultimate Strength	Tabular	
Ply Type		
Type	Woven	

Figura 50-3. Configuración del material compuesto ortotrópico.

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

b) Configuración de simulación.

Las investigaciones previas en el campo del modelado CAD 3D y la simulación por elementos finitos han demostrado su eficacia en el análisis estructural de componentes automotrices. En particular, los trabajos de (Smith, Johnson, Williams 2018) y (Johnson, Brown 2020) han destacado la importancia del modelado preciso y la simulación por elementos finitos en el diseño y la optimización de retrovisores automotrices.

El reglamento N° 46 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas: Prescripciones uniformes sobre la homologación de los dispositivos de visión indirecta y los vehículos de motor en lo referente a la instalación de dichos dispositivos; en su apartado 6.1.3.2 y 6.1.3.2.3 proporcionan un marco teórico sólido y una descripción del ensayo de impacto y flexión respectivamente. En estos apartados se respalda la metodología propuesta en este estudio.

El apartado 6.1.3.2.1.1. describe que el dispositivo de ensayo estará formado por un péndulo que pueda oscilar alrededor de dos ejes horizontales perpendiculares entre sí, uno de los cuales será perpendicular al plano que contenga la trayectoria de lanzamiento del péndulo.

El extremo del péndulo llevará un martillo formado por una esfera rígida de un diámetro de 165 ± 1 mm y recubierta por una capa de 5 mm de espesor de caucho de dureza Shore A 50.

Deberá haber un dispositivo que permita determinar el ángulo máximo trazado por el brazo en el plano de lanzamiento.

Un soporte fijado rígidamente al armazón del péndulo servirá para fijar las muestras en las condiciones de impacto precisadas en el apartado 6.1.3.2.2.6.

El apartado 6.1.3.2.1.2. menciona que, el centro de percusión del péndulo coincidirá con el centro de la esfera que constituye el martillo. Su distancia «1» al eje de oscilación en el plano de lanzamiento será igual a 1 metro \pm 5mm. La masa reducida del péndulo será de $m_0 = 6,8 \pm 0,05$ kilogramos.

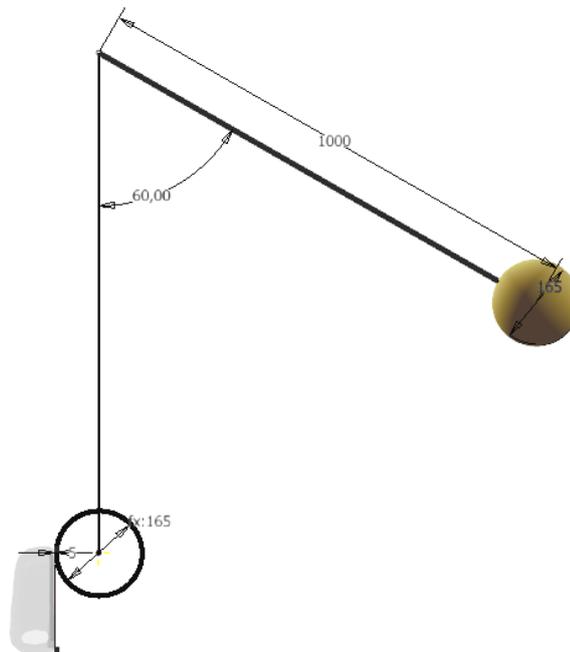


Figura 51-3. Diagrama de ensayo de impacto 1 según el reglamento N° 46.

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

Para los retrovisores exteriores de los vehículos categoría M1 del apartado 6.1.3.2.2.6.2. se describen dos ensayos:

a) Ensayo 1: el punto de impacto será el que se indica en los apartados 6.1.3.2.2.3 o 6.1.3.2.2.4. El martillo deberá golpear el retrovisor en el lado de la superficie reflectante. Figura 51-3.

b) Ensayo 2: el punto de impacto será el que se indica en los apartados 6.1.3.2.2.3 o 6.1.3.2.2.4. El martillo deberá golpear el retrovisor en el lado opuesto al de la superficie reflectante.

En el contexto de análisis por elementos finitos (FEA) y simulación de ingeniería, "dinámica explícita" (a veces llamada "análisis dinámico explícito" o "simulación dinámica explícita") se refiere a un enfoque específico para resolver problemas de dinámica que se caracterizan por

cargas o eventos altamente transitorios y de corta duración en el tiempo. Esta técnica se utiliza para analizar el comportamiento de estructuras o sistemas en situaciones en las que las fuerzas o deformaciones cambian rápidamente con respecto al tiempo.

En un análisis de dinámica explícita, se discretiza la estructura o sistema en elementos finitos y se realiza un seguimiento detallado de su comportamiento en pequeños incrementos de tiempo. A diferencia de los métodos de dinámica implícita, donde se resuelve una serie de ecuaciones algebraicas simultáneas en cada paso de tiempo, en la dinámica explícita se calcula directamente la respuesta del sistema en función del tiempo, considerando las fuerzas aplicadas, las restricciones y las condiciones iniciales. Esto se hace mediante un esquema de integración temporal explícito que puede manejar cambios bruscos en la carga y el comportamiento (ANSYS Inc. 2015).

La dinámica explícita es especialmente útil para simular eventos como impactos, colisiones, explosiones, caídas y otros fenómenos de alta velocidad o energía. También se utiliza en aplicaciones que involucran análisis de crash-test, análisis de seguridad de vehículos, simulaciones de explosiones, entre otros.

En el software FEM se configuraron las condiciones de ensayo a impacto dispuestas en el reglamento y se configuro el análisis como se muestra en la figura 52-3:

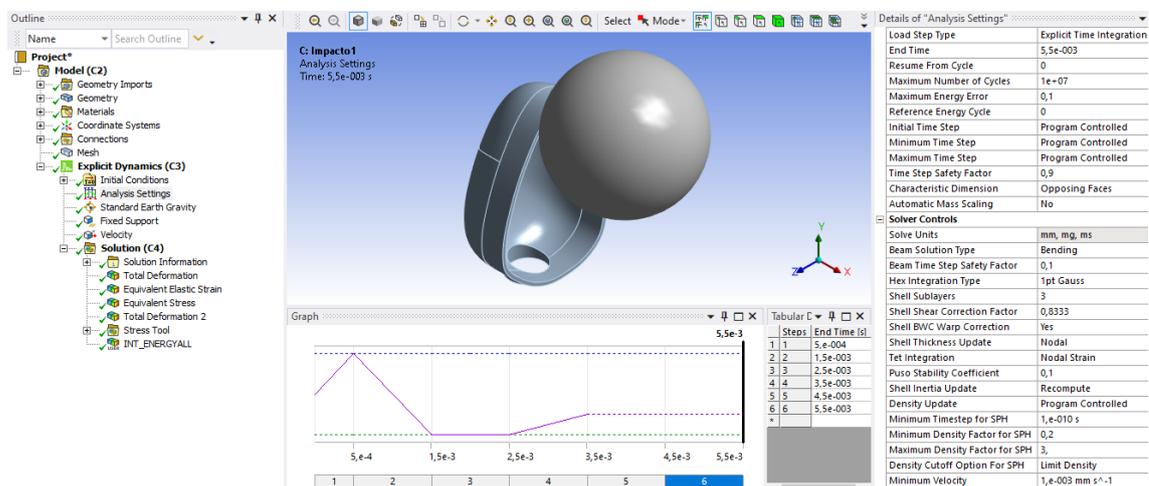


Figura 52-3. Configuración del análisis dinámico para el ensayo de impacto 1.

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

La velocidad con la que impacta el martillo corresponde a:

$$V_{max} = W \cdot S_{max}$$

$$V_{max} = \sqrt{\frac{2g}{L}} \cdot (L \cdot \theta)$$

$$V_{max} = \sqrt{\frac{9.81 \frac{m}{s^2}}{1m}} \cdot \left(1m \cdot \frac{\pi}{3}\right)$$
$$V_{max} = 3.28 \frac{m}{s}$$

Dónde:

$$\theta_0 = 60^\circ = \frac{\pi}{3} rad$$

$$W = \sqrt{\frac{g}{L}} = \text{frecuencia angular}$$

$$S = (L \cdot \theta_0) = \text{máxima longitud de arco para } \theta_0$$

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 6.1.3.2. Ensayo de impacto.

4.1.1 Deformación.

Se analizó la deformación causada por la acción de una carga de fuerza sobre un retrovisor, en concordancia con el Reglamento N° 46. Dicha normativa establece los criterios y métodos para evaluar la resistencia estructural de los retrovisores ante cargas externas. La figura 53-4 muestra una deformación máxima de 8.747.3mm como resultado de la configuración de impacto 1.

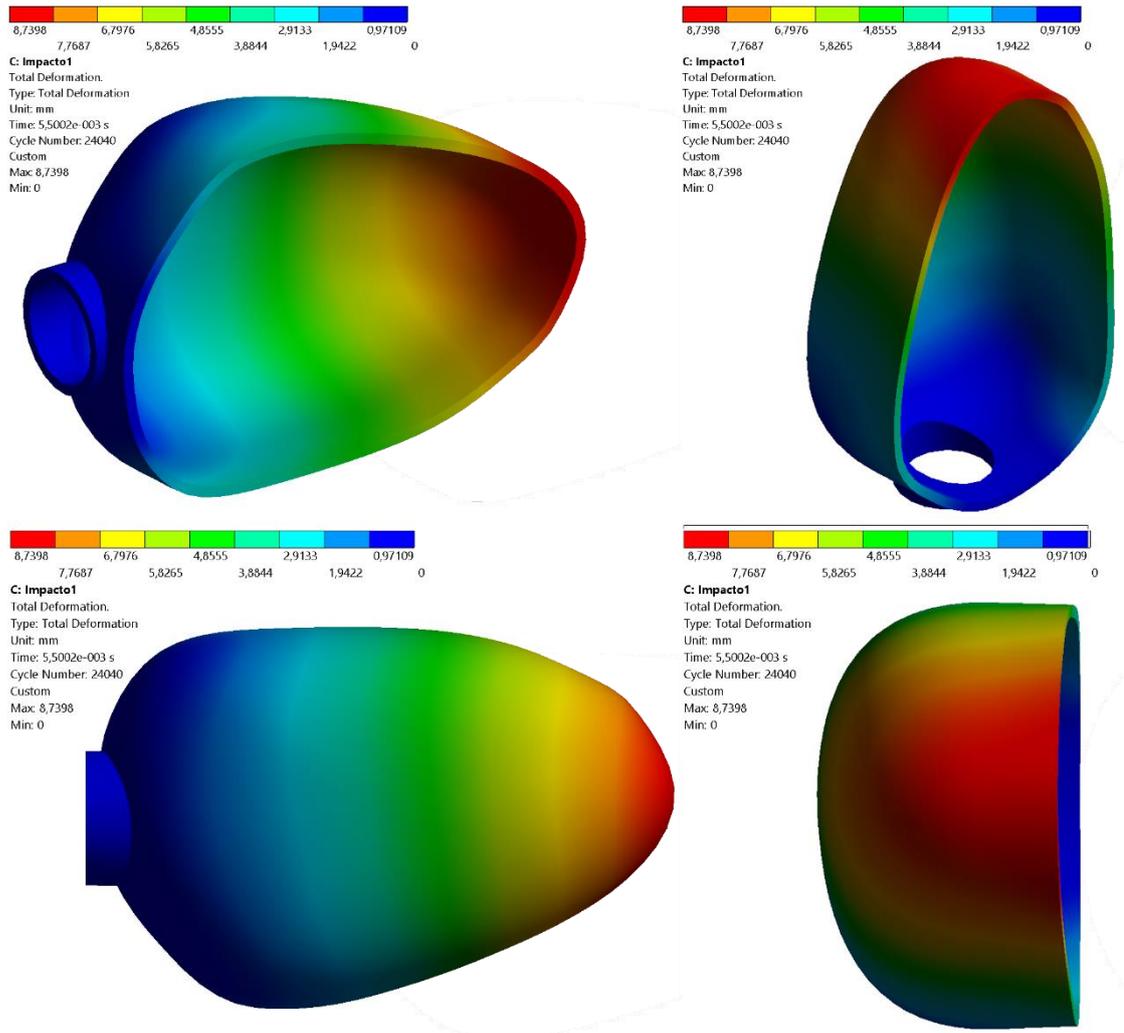


Figura 53-4. Deformación según el apartado 6.1.3.2.2.6.2. - Ensayo 1.

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

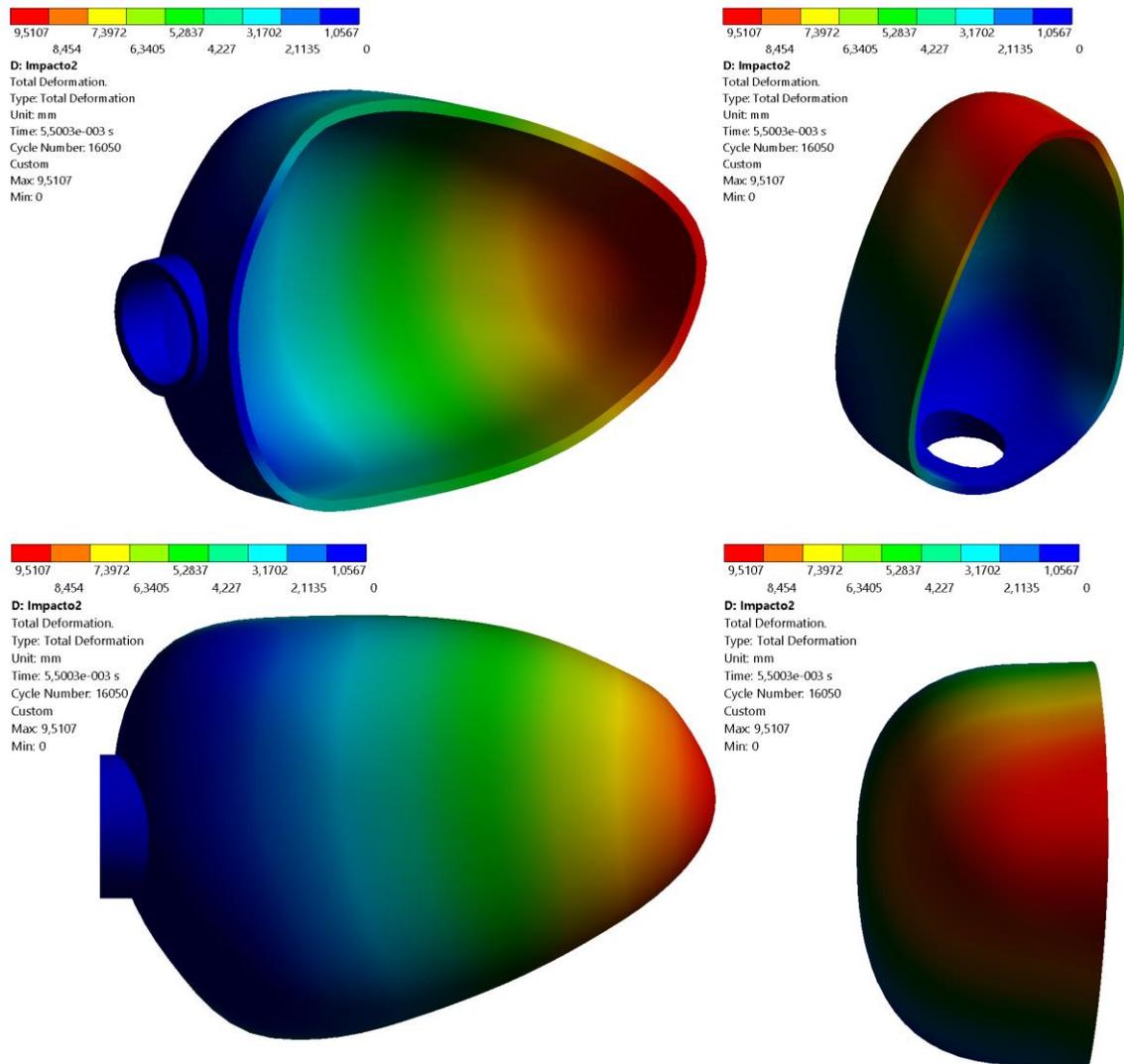


Figura 54-4. Deformación según el apartado 6.1.3.2.2.6.2. - Ensayo 2.

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

La figura 54-4 muestra una deformación máxima de 9.51mm como resultado de la configuración de impacto 2.

Al someterse a una carga de fuerza, el retrovisor puede experimentar deformaciones que comprometan su funcionalidad y seguridad. La evaluación de la deformación se lleva a cabo mediante pruebas específicas, que permiten determinar si el retrovisor cumple con los requisitos de resistencia establecidos en el reglamento, que menciona ” En caso de ruptura del soporte del retrovisor durante los ensayos previstos en el apartado 6.1.3.2 para los retrovisores sujetos por encolado al parabrisas, la parte restante no deberá presentar, con relación al apoyo, ninguna protuberancia de más de 10 mm y la configuración después del ensayo deberá reunir las condiciones del apartado 6.1.3.3 del presente Reglamento”.

A priori, el resultado de deformación máxima obtenido fue de 9.51mm en el ensayo 2, (Figura 54-4) valor que no supera los 10mm establecidos en el apartado 6.1.3.3.2. por lo que se garantiza la integridad del retrovisor y la capacidad del material compuesto para resistir cargas de impacto.

4.1.2 Esfuerzo equivalente de Von-Mises.

El esfuerzo equivalente de Von Mises es un parámetro utilizado en el análisis de elementos finitos para evaluar la resistencia de un material ante diferentes cargas. El software FEM calcula el esfuerzo equivalente de Von Mises en base a la teoría de la plasticidad y permite estimar la deformación plástica en una estructura utilizando la discretización del modelo 3D y teniendo en cuenta los esfuerzos principales en cada nodo del retrovisor. Este parámetro proporciona una medida cuantitativa del esfuerzo y ayuda a identificar zonas críticas propensas a fallas o deformaciones permanentes.

(ANSYS 2023) La tensión equivalente (también llamada tensión de Von Mises) se usa a menudo en el trabajo de diseño porque permite que cualquier estado de tensión tridimensional arbitrario se represente como un único valor de tensión positivo. La tensión equivalente es parte de la teoría de falla por tensión equivalente máxima utilizada para predecir la fluencia en un material dúctil mediante la ecuación:

$$\sigma_e = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

La tensión de Von Mises o equivalente ε_e se calcula como:

$$\varepsilon_e = \frac{1}{1 + \nu^i} \left(\frac{1}{2} [(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2] \right)^{\frac{1}{2}}$$

dónde: ν^i es el coeficiente de Poisson.

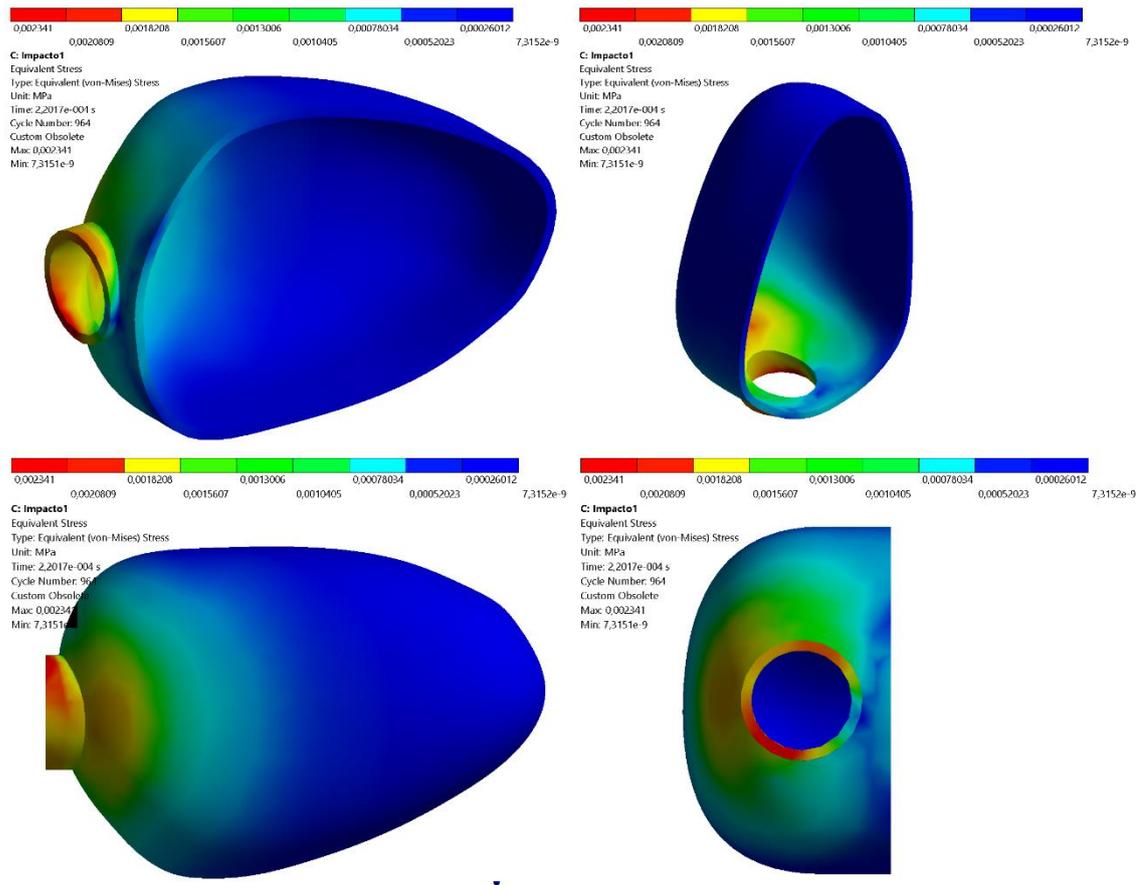


Figura 55-4. Esfuerzo producido por la carga según el apartado 6.1.3.2.2.6.2. - Ensayo 1.

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

Se analizó el esfuerzo producido por el impacto del martillo sobre el retrovisor en el borde externo más alejado del soporte acorde a los criterios del reglamento N°46. La figura 55-4 muestra un Esfuerzo Equivalente de Von Mises igual a 7.54MPa como resultado de la configuración de impacto 1.

La figura 56-4 muestra un Esfuerzo Equivalente de Von Mises igual a 3.4 MPa como resultado de la configuración de impacto 2 que se realizó sobre la carcasa del retrovisor en el lado opuesto a la superficie reflectante.

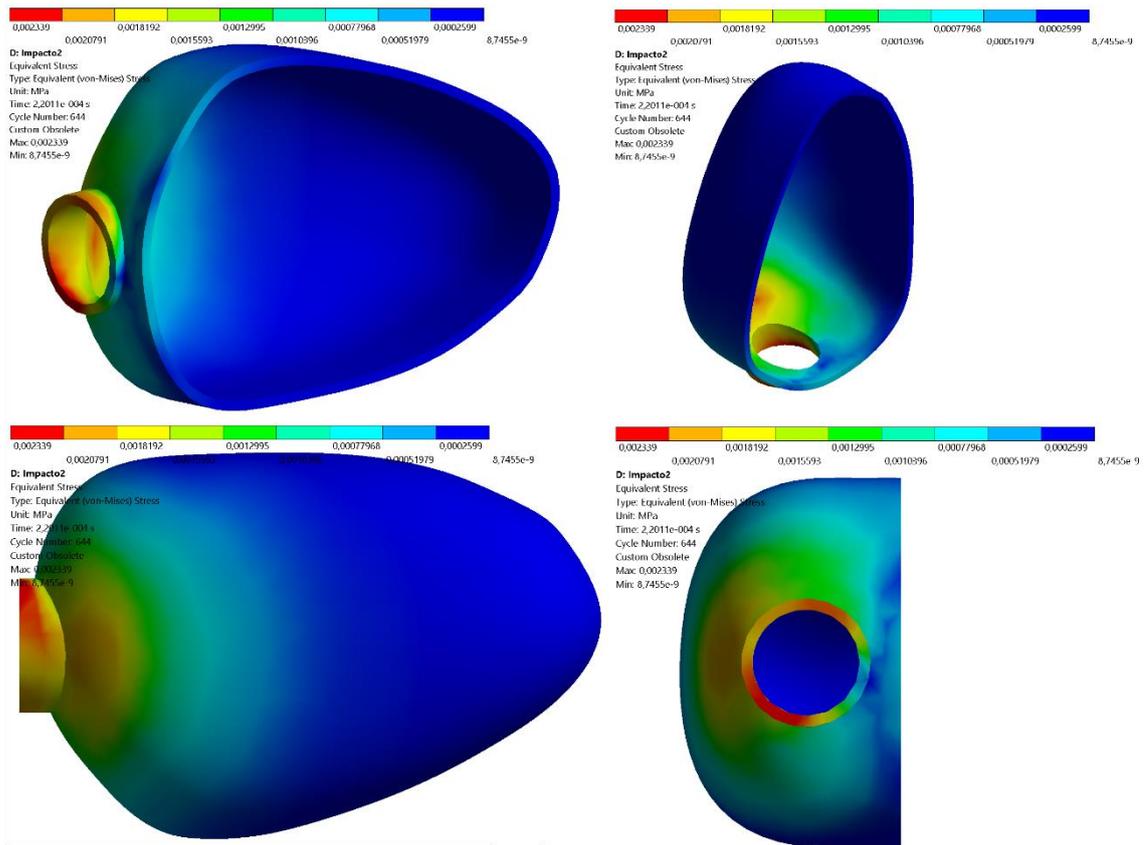


Figura 56-4. Esfuerzo producido por la carga según el apartado 6.1.3.2.2.6.2. - Ensayo 2.

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

El resultado del esfuerzo que muestran las figuras 55-4 y 56-4 permitió evaluar la resistencia estructural del material del retrovisor frente a cargas de impacto dinámico y determinar si se encuentra dentro de los límites aceptables para evitar fallas. El límite del esfuerzo del material compuesto del que está constituido el retrovisor se encuentra entre 42.8MPa y 45.93MPa; mientras que los resultados obtenidos no superaron los 8 MPa, lo que garantiza su integridad estructural.

4.1.3 Energía de deformación

La conservación de energía es una medida de la calidad de una simulación dinámica explícita. Una mala conservación de energía generalmente implica que la definición del modelo no es óptima. Este parámetro nos permite detener automáticamente la solución si la conservación de energía es deficiente. El software tiene un valor predeterminado de 0,1. Si el error de energía excede el 10% de la energía en el ciclo de referencia provoca que la simulación se detenga (ANSYS Inc 2023a).

La energía global se contabiliza de la siguiente manera:

Energía de referencia = [Energía interna + Energía cinética + Energía de reloj de arena] en el ciclo de referencia

Energía actual = [Energía interna + Energía cinética + Energía de reloj de arena] en el ciclo actual

Las figuras 57-4 y 58-4 muestran la energía almacenada en los cuerpos debido a la deformación por la acción de un impacto y se calcula a partir del coeficiente de elasticidad (N/m) y la deformación (m).

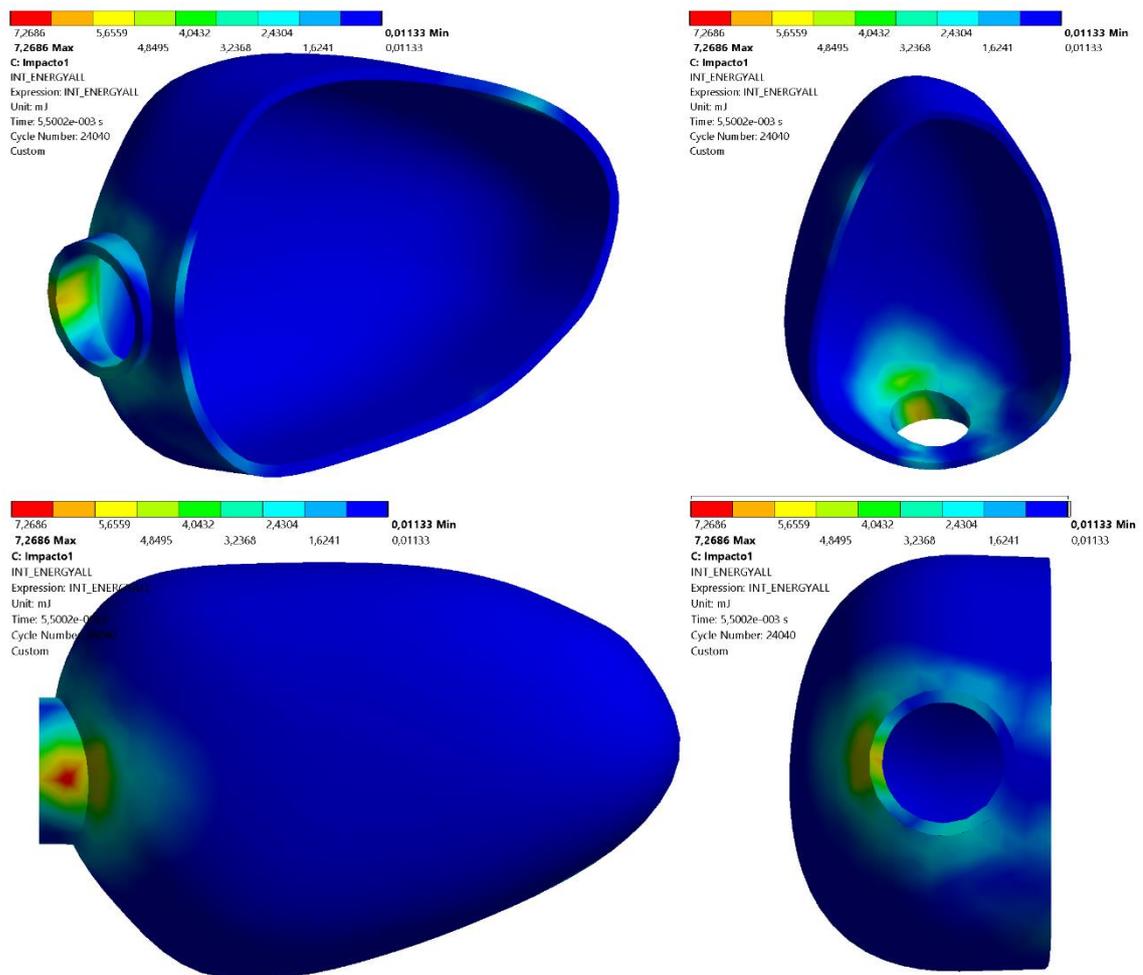


Figura 57-4. Energía de deformación - Impacto 1.

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

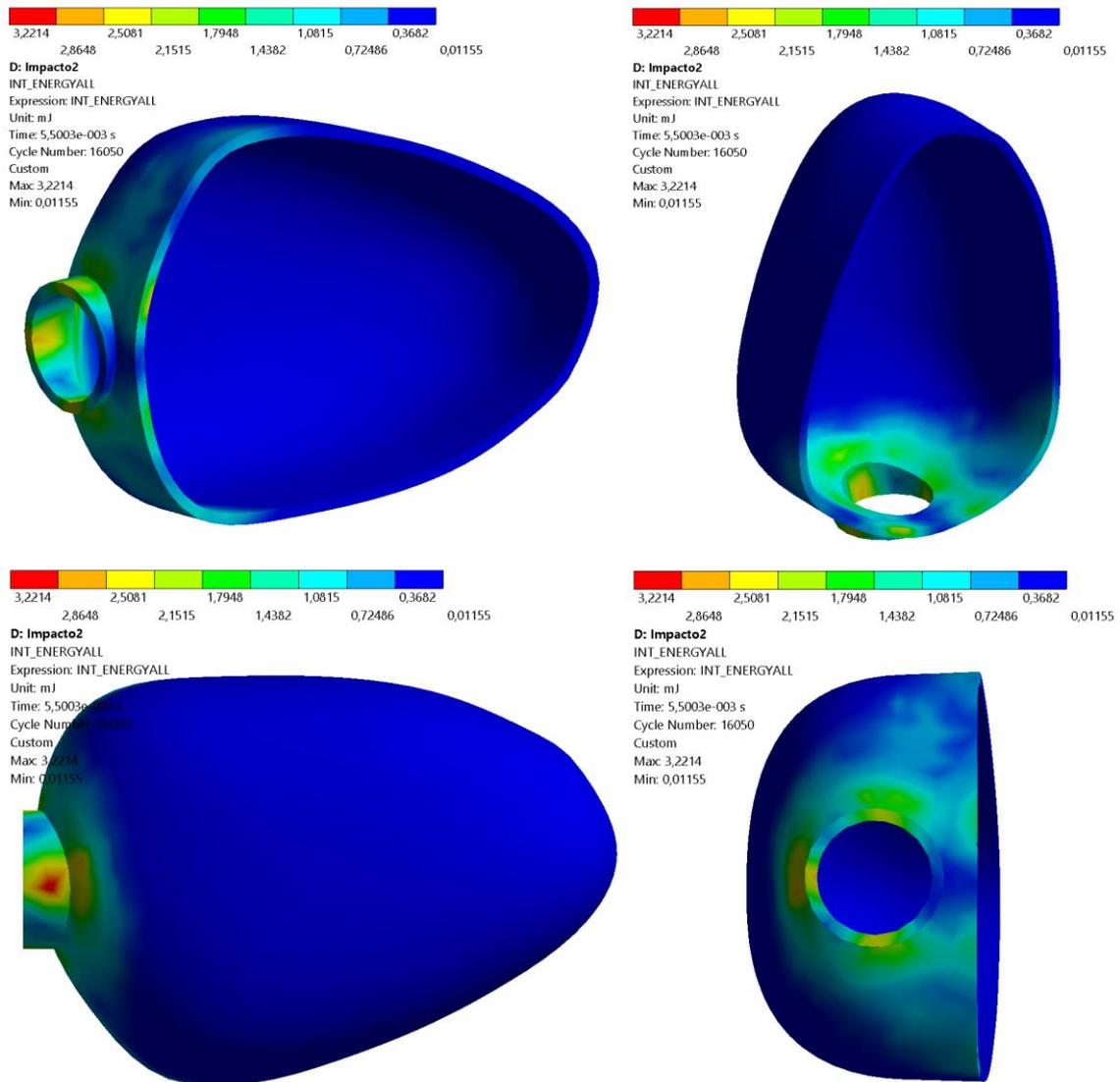


Figura 58-4. Energía de deformación - Impacto 2.

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

El resultado de la energía de deformación mostrada en la figura 57-4 es igual a 772.42 mJ mientras que la figura 58-4 muestra una energía resultante de 513.23 mJ.

El gráfico Resumen de energías es útil para monitorear la dinámica de la simulación y puede dar alguna indicación de un problema de estabilidad. Los valores altos de energía de reloj de arena aquí suelen indicar problemas con la malla. Este gráfico también muestra la energía cinética durante la resolución. El valor debe ser menor con respecto al modelo en las simulaciones para garantizar que los efectos inerciales no alteren los resultados (ANSYS Inc 2023b).

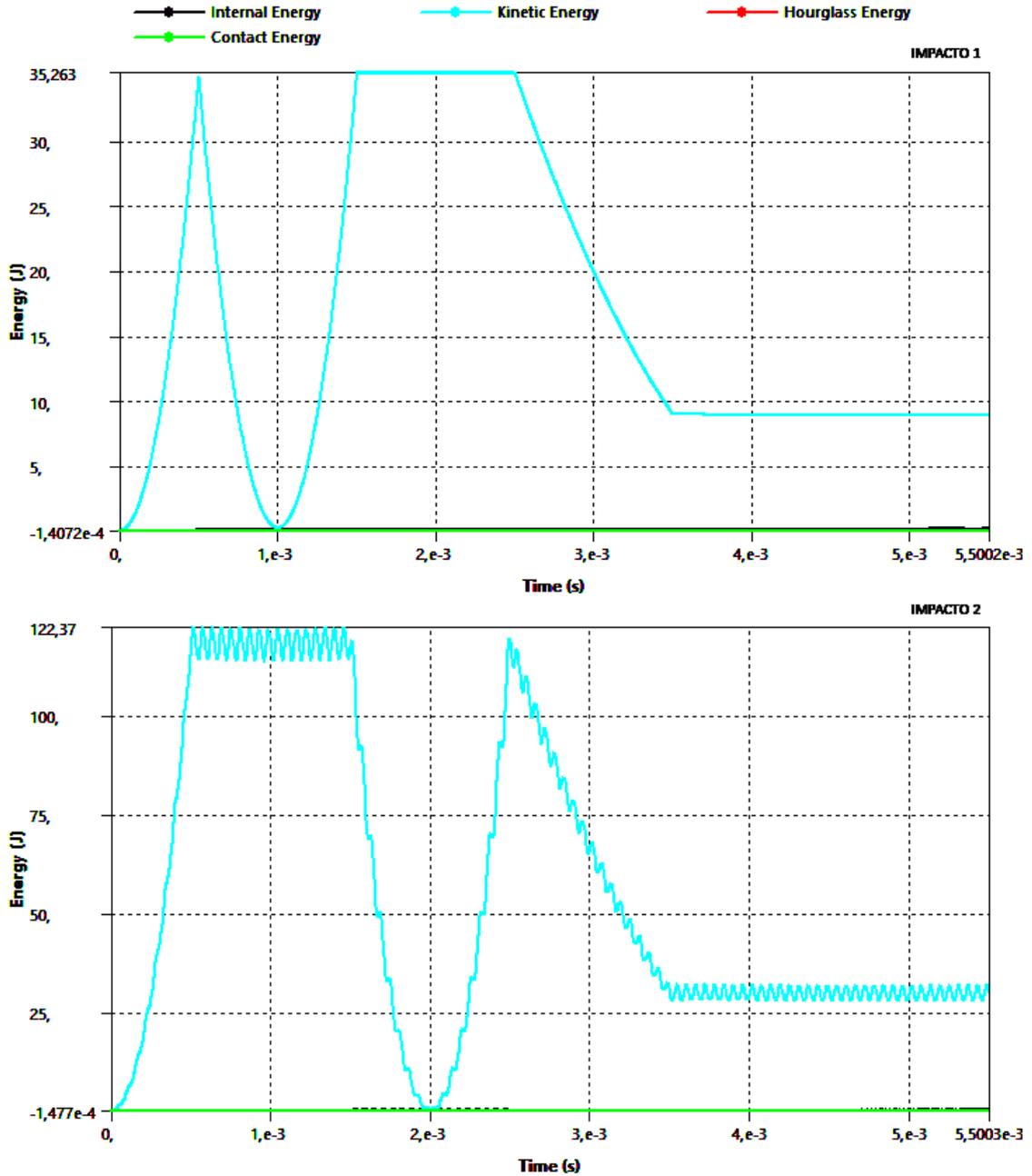


Figura 59-4. Resumen de energías de los ensayos de impacto.

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

4.1.4 Factor de seguridad.

El factor de seguridad es un parámetro clave utilizado en el software ANSYS para evaluar la capacidad de carga de un componente o estructura en relación con su resistencia. El factor de seguridad se calcula dividiendo la resistencia estructural del material entre la carga aplicada.

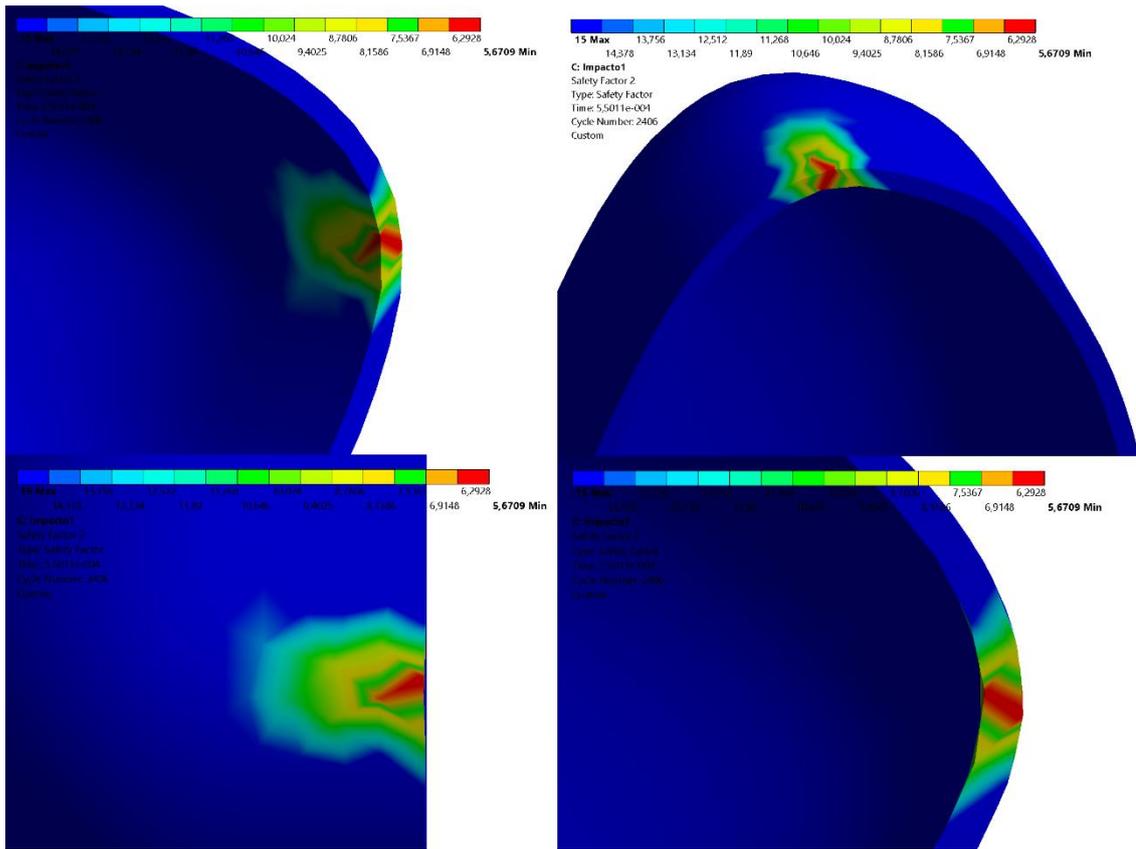


Figura 60-4. Factor de seguridad del ensayo de impacto 1.

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

La figura 60-4 muestra el resultado obtenido del impacto en el borde más alejado con respecto a la base del retrovisor y se evidencia la concentración de esfuerzo en el punto de impacto con un factor de seguridad localizado de 5.7.

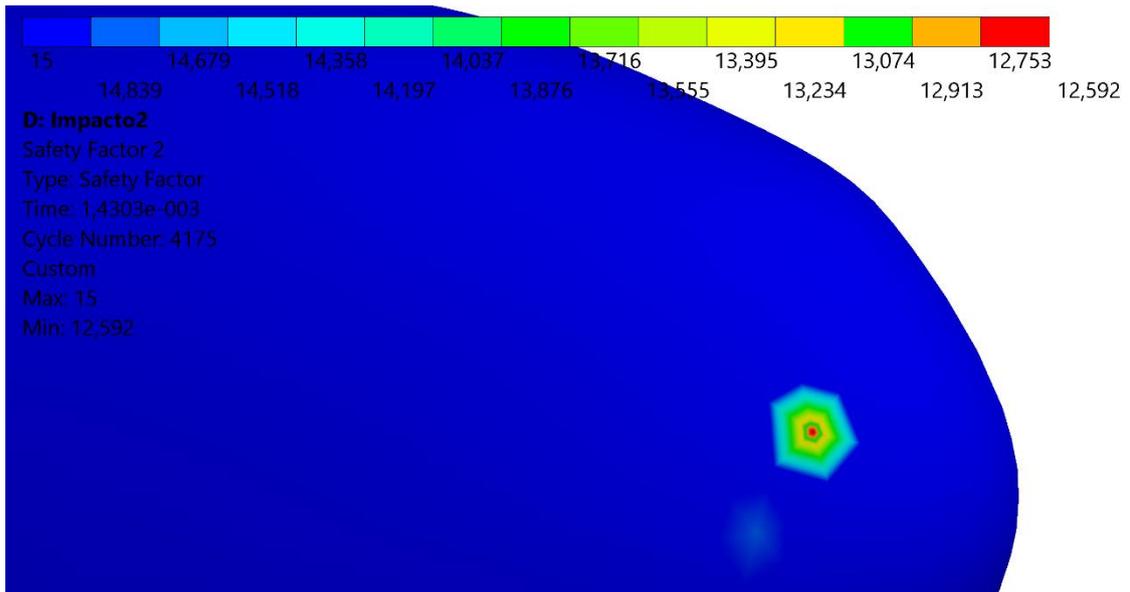


Figura 61-4. Factor de seguridad del ensayo de impacto 2.

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

El factor de seguridad mostrado en la figura 61-4 correspondiente al ensayo de impacto 2 muestra una concentración sobre el área de impacto con un valor de 12.6.

Los factores de seguridad de las figuras 60-4 y 61-4 muestran concentración de esfuerzo en diferentes puntos y secciones geométricas del retrovisor, sin embargo, no son valores críticos para alertar de una falla puesto que según (Budynas, Nisbett 2019) "Shigley's Mechanical Engineering Design" (Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley), un factor de seguridad mayor a 1 indica que la resistencia del componente o sistema es mayor que la carga aplicada, lo que significa que se considera seguro. Por otro lado, un factor de seguridad menor a 1 indica que la carga aplicada supera la capacidad de carga y puede resultar en una falla.

4.2 6.1.3.2.3. Ensayo de flexión de la carcasa de protección.

El apartado 6.1.3.2.3 determina las condiciones para realizar el ensayo de flexión. La configuración determina que la carga de ensayo será de 25 kilogramos. La carga se mantendrá durante un minuto en el extremo plano más alejado de la base del retrovisor ubicado horizontalmente.

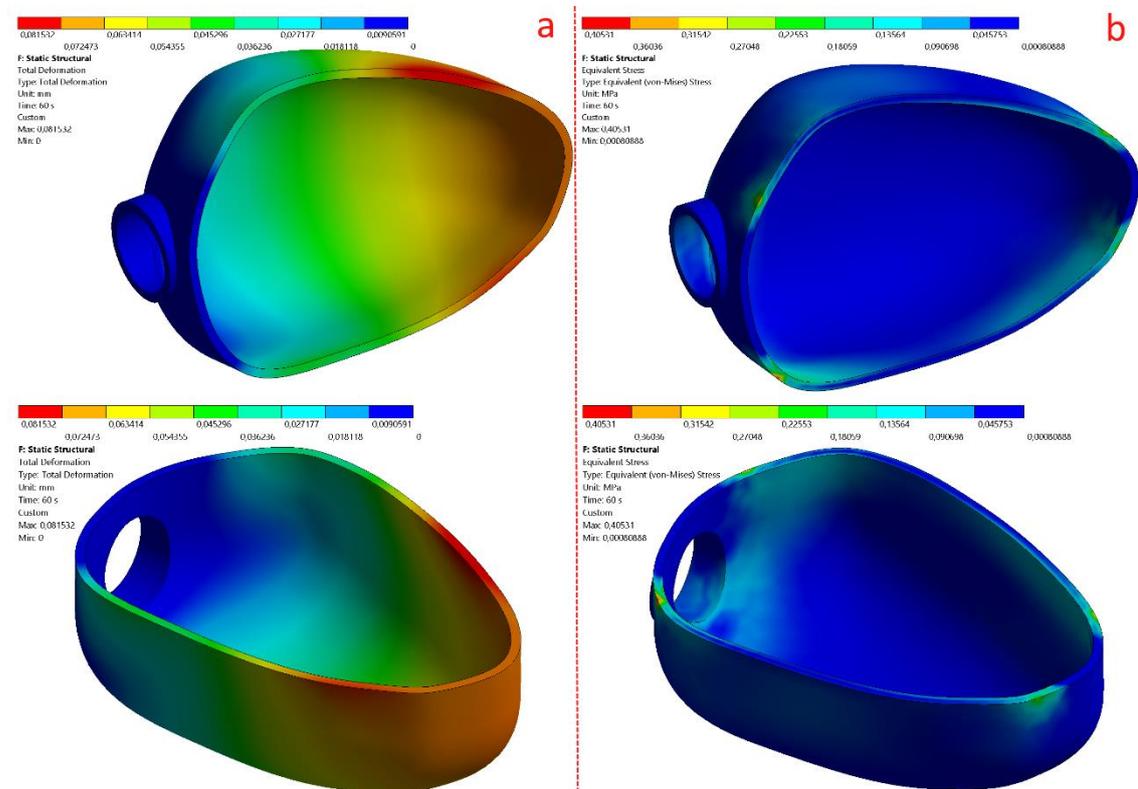


Figura 62-4. a) Deformación b) Esfuerzo debida a flexión.

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

Tabla 20-4. Resumen de resultados de flexión.

Tiempo (s)	Δ Máximo (mm)	Von Mises (MPa)
1	5,7352	32,093
5	5,7352	32,093
10	5,7352	32,093
15	5,7352	32,093
20	5,7352	32,093
25	5,7352	32,093
30	5,7352	32,093
35	5,7352	32,093
40	5,7352	32,093
45	5,7352	32,093
50	5,7352	32,093
55	0,082	0,40531
60	0,082	0,40531

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)

Los resultados mostrados en la figura 62-4 no muestran una deformación y un esfuerzo crítico que supere las propiedades mecánicas del material compuesto del que está construido el retrovisor. La deformación máxima es de 5.73mm y el máximo esfuerzo corresponde a 32.1 MPa en el lapso de 60 segundos según el reglamento N°46 CEPE.

CAPÍTULO V

5 PROPUESTA

5.1 Manufactura del retrovisor

El proceso de manufactura del retrovisor mediante estratificación manual a presión con resina epoxi y fibras naturales de cabuya tejida implica una serie de pasos cuidadosamente ejecutados. Primero, se prepara un molde en el cual se colocarán capas alternas de fibra de cabuya tejida y resina epoxi. La fibra de cabuya se corta y se dispone en el molde de manera estratégica para obtener la forma deseada y proporcionar resistencia estructural al retrovisor. A continuación, se aplica la resina epoxi utilizando una técnica de impregnación, asegurando que las fibras estén completamente empapadas en resina para lograr una adhesión adecuada y una distribución uniforme del material.

Luego, se procede a la estratificación manual, donde se van añadiendo capas adicionales de fibra de cabuya impregnada en resina epoxi, aplicando presión manualmente para eliminar burbujas de aire y asegurar una compactación adecuada. Después de completar todas las capas requeridas, se realiza el curado de la resina mediante un proceso de temperatura y tiempo controlados, permitiendo que la resina endurezca y se solidifique. Finalmente, se procede al desmoldeo y acabado del retrovisor, eliminando el molde y realizando los ajustes y pulidos necesarios para obtener la forma y apariencia final deseada. Este proceso de manufactura combina la resistencia y ligereza de las fibras naturales de cabuya con las propiedades mecánicas y adhesivas de la resina epoxi, resultando en un retrovisor duradero y sustentable, adecuado para su aplicación en la industria automotriz.

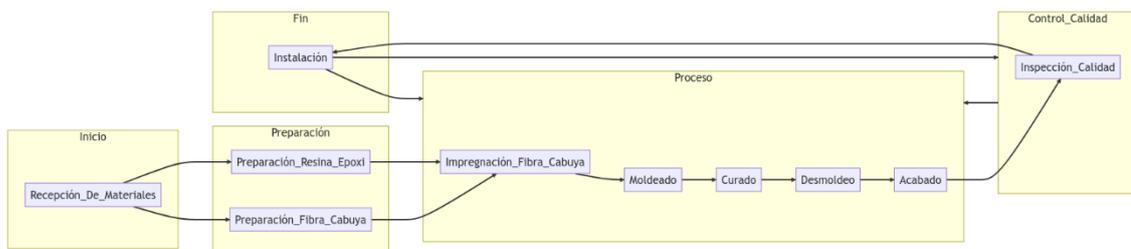


Figura 63-5. Diagrama de flujo del proceso de manufactura del retrovisor.

Fuente: (Pachacama Nasimba 2023)



Figura 64-5. Prototipo de retrovisor manufacturado con materiales compuestos.

Autor: (Pachacama Nasimba 2023)

La figura 66-5 muestra el prototipo de retrovisor hecho con el material propuesto.

5.2 Costos de producción

Los costos de producción del retrovisor incluyen los materiales utilizados, como la resina epoxi y las fibras naturales de cabuya, así como los costos de mano de obra, equipos y procesos de fabricación. Además, se considera los costos asociados con la administración, gastos de venta, logística y los gastos generales de la empresa. El estudio detallado de los costos de producción del retrovisor es esencial para evaluar la viabilidad económica y optimizar la eficiencia en la fabricación, asegurando la competitividad en el mercado automotriz.

Tabla 21-5. Costos involucrados para obtener el costo total.

Área de producción		Área operativa	
COSTOS DIRECTOS		COSTOS INDIRECTOS	
Materia prima directa (MPD)	Mano de obra directa (MOD)	Costos indirectos de fabricación (CIF)	Gastos administrativos
			Gastos de ventas
			Gastos Financieros
Costos de producción		Gastos operativos	
Costo total= MPD + MOD + CIF + Gastos Operativos			

Tabla 22-5. Detalle de costos.

Costos Directos	
Materia prima directa MPD:	\$ 71,69
MPD materia 1: polímeros (kg)	\$ 62,94
MPD materia 2: Fibra natural	\$ 8,75

Mano de obra directa:	\$ 900,00
Salario y beneficios: 01 x Operario maquina	\$ 450,00
Salario y beneficios: 01 x Ayudante	\$ 450,00
Costos Indirectos	
Costos indirectos de fabricación:	\$ 832,48
Materia prima indirecta	
Desmoldante (4 unid)	\$ 68,80
Moldes (3 unid)	\$ 140,00
Mano de obra indirecta	
Sueldo y beneficios Supervisor	\$ 450,00
Servicio eléctrico para maquinarias	\$ 25,00
Depreciación maquinaria a 10 años	\$ 8,33
Depreciación inmueble a 20 años	\$ 0,35
Mantenimiento y reparación maquinaria	\$ 100,00
Seguros de maquinaria	\$ 40,00
Gastos Administración:	\$ 1.170,00
Sueldo y beneficios Gerente, secretaría, contador	\$ 900,00
Servicio eléctrico, agua e internet	\$ 60,00
Material de oficina	\$ 50,00
Depreciación inmueble a 20 años	\$ 50,00
Depreciación equipos oficina a 10 años	\$ 60,00
Impuestos municipales	\$ 50,00
Gastos Ventas:	\$1.022,50
Sueldo del vendedor	\$ 450,00
Comisiones de venta	\$ 112,50
Gastos de viaje	\$ 120,00
Transporte de distribución	\$ 250,00
Depreciación inmueble a 20 años	\$ 50,00
Depreciación equipos oficina a 10 años	\$ 40,00
Gastos Financieros:	\$ 450,00
Costo Total	\$ 4.446,67

$$\text{Costo unitario} = \frac{\text{Costo total}}{\text{Nro de unidades producidas}}$$

$$\text{Costo unitario} = \frac{4446.67}{160} = \$ 27.79$$

Precio de venta con un margen de ganancia del 30%

$$\text{Precio de venta} = \frac{\text{Costo unitario}}{(1 - \text{margen})}$$

$$\text{Precio de venta} = \frac{27.79}{(1 - 0.3)} = \$39.70$$

$$\text{Precio de venta al público} = \text{Precio de venta} + 12\%$$

$$\text{PVP} = 39.7 + 4.764 = \$ 44.46$$

Tabla 23-5. Detalle de valores en referencia al precio de comercialización actual.

Retrovisor	PVP	Diferencia	Ahorro %
Prototipo	\$44,46	-	-
Original	\$111,13	\$66,89	60,07
Genérico	\$55,00	\$10,54	19,16

El prototipo de retrovisor manufacturado con resina epoxi y refuerzo de fibra de cabuya tejida obtuvo mediante un análisis financiero detallado en la tabla 22-5, un valor comercial de precio de venta al público de \$44,46 dólares americanos, valor que en referencia a una autoparte original tiene una diferencia en valor del 60% y del 19.16% contra una autoparte genérica. El valor comercial de un retrovisor original sustenta su precio en una cotización que se encuentra en el **ANEXO F**.

CONCLUSIONES

- La revisión del estado del arte permitió identificar que los refuerzos de fibra natural tejidos están dispuestos en orientaciones de 0° , 90° , $\pm 45^\circ$. La combinación ideal de estas orientaciones más una secuencia de apilamiento “Capas” no debe superar en fracción volumétrica el 20% del compuesto para de esta manera asegurar una buena adhesión de la matriz con el refuerzo teniendo además en consideración que el tejido debe ser simétrico y equilibrado respecto del plano medio de la estructura para evitar distorsiones en el compuesto.
- La evaluación del número de probetas requerido, basado en las normativas ASTM, estableció que se debían realizar 5 probetas por cada ensayo, lo que permitió la caracterización de dos grupos experimentales: M1, compuesto por materiales con 3 capas de refuerzo, y M2, con 2 capas de refuerzo. Los resultados mostraron que el grupo M1 presentó en promedio propiedades mecánicas superiores, con un esfuerzo máximo a tracción de 44.53 MPa, una resistencia a la flexión de 74.54 MPa y una energía de impacto de 1.9708 J a una altura de fallo de 700 mm. Por otro lado, el grupo M2 obtuvo un esfuerzo máximo a tracción promedio de 23.01 MPa, una resistencia a la flexión de 25.02 MPa y una energía de impacto de 1.6893 J a una altura media de 600 mm. En tal razón, se concluye que el grupo experimental con tres capas de refuerzo de tejido de cabuya mercerizada muestra mejores propiedades mecánicas en términos de esfuerzo. En total, se ensayaron 30 probetas para llegar a estas conclusiones.
- El análisis mediante simulación por elementos finitos de un modelo de retrovisor fabricado con el material compuesto propuesto, destinado a vehículos de la categoría M1, se llevó a cabo siguiendo las especificaciones del reglamento N° 46 de la Comisión Económica para Europa (CEPE). Los resultados obtenidos en las simulaciones de impacto revelaron esfuerzos de 7.5 MPa con una deformación de 8.7 mm y un factor de seguridad igual a 5.7 para el ensayo de impacto 1, y de 3.4 MPa con una deformación de 9.5 mm y un factor de seguridad de 12.6 para el ensayo de impacto 2. En el ensayo de flexión registró un esfuerzo de 32.1 MPa con una deformación de 5.73 mm. Estos valores se mantuvieron por debajo de los límites de resistencia última del material compuesto y los exigidos por el reglamento. En consecuencia, se puede concluir que el retrovisor exhibe sólidas características mecánicas, cumpliendo con los estándares de seguridad y calidad requeridos para su aplicación en vehículos de la categoría M1 de acuerdo con las regulaciones de la CEPE de las Naciones Unidas.
- El análisis de costos de producción permitió evaluar el costo total y el individual de un prototipo de retrovisor manufacturado por compresión manual y caracterizado con materiales compuestos aplicados a la industria de las autopartes automotrices no sometidas a grandes

esfuerzos mecánicos. A través de la recopilación de datos financieros, estimación de costos de implementación y gastos administrativos, se determinó la rentabilidad del prototipo. El análisis consideró los costos iniciales de implementación, así como los costos operativos asociados con la producción, el mantenimiento, la venta y distribución. Teniendo en cuenta la evidencia, concluimos que el prototipo presenta un ahorro de hasta el 60% en referencia a un repuesto original y un 19% frente a un repuesto genérico.

RECOMENDACIONES

- El espesor de las fibras de refuerzo influye en la adhesión efectiva de la resina a las fibras y en el proceso de curado. Un espesor adecuado contribuirá a una mejor adhesión y minimizará la posibilidad de formación de burbujas en el compuesto durante el proceso de fabricación, lo que, a su vez, tendrá un impacto positivo en las propiedades mecánicas finales del producto. Por lo tanto, es esencial seleccionar y mantener un espesor de fibras de refuerzo óptimo para garantizar un rendimiento mecánico y una calidad consistentes del prototipo manufacturado.
- Se recomienda iniciar la caracterización con al menos dos probetas adicionales al número requerido por las normativas, como una medida de calibración del equipo para garantizar la precisión y evitar la posibilidad de obtener datos inexactos durante la caracterización del material.
- Se recomienda que, al iniciar la impregnación de resina sobre el material de refuerzo, el molde tenga una capa de resina para facilitar la adherencia de las fibras, mejorar la mojabilidad y humectación de estas, lo que, a su vez, contribuye a lograr obtener un material compuesto de buenas características mecánicas.
- La presión de compresión y el tiempo de curado desempeñan un papel fundamental en la conformación del prototipo, en tal virtud se recomienda que la presión sea la adecuada durante la etapa de curado para lograr una superficie lisa y libre de porosidades en el producto final.

GLOSARIO

°C Grado Celsius

A Área

CAD (Computer Aided Design): Diseño asistido por computador.

Cad (Computer aided drafting): Dibujo asistido por computador.

CADD (Computer Aided Design and Drafting): Diseño y dibujo asistido por computadora.

CAE (Computer Aided Engineering): Ingeniería asistida por computador.

CAM (Computer Aided Manufacturing): Manufactura asistida por computador.

EQUIAXIAL Se dice cuando las dimensiones de las partículas son aproximadamente las mismas en todas las direcciones

F Fuerza

FEA (Finite Element Analysis): Análisis por elementos finitos.

FEM (Finite Element Method): Método de elementos finitos.

Li Longitud inicial de ensayo

Lignocelulósica Parte estructural de las plantas y árboles, compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina.

N Velocidad de ensayo

USD Dólares de los Estados Unidos de América

UF Urea formaldehído

BIBLIOGRAFÍA

- 3B TECNOLOGIA, 2015. Teórico Plásticos Reforzados (PRFV) | Tecnología de Diseño Industrial 3B - U.N.L.P. [en línea]. 24 junio 2015. Recuperado a partir de : <https://tecnologia3bunlp.wordpress.com/2015/06/24/teorico-plasticos-reforzados-prfv/> [consultado 8 abril 2023].
- ADAMS, David O y AVELLA, Maurizio, 2005. *Polymer Composites in the Automotive Industry*. Editorial Name.
- AEADE, 2023. *Sector automotor en cifras* [en línea]. Quito. Recuperado a partir de : www.aeade.net
- ANISH KHAN et al., 2020. *Hybrid Fiber Composites: Materials, Manufacturing, Process Engineering* [en línea]. ISBN 9783527346721. Recuperado a partir de : [https://books.google.com.my/books?id=FpzuDwAAQBAJ&pg=PA7&dq=synthetic+fiber+composites&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwiOu5O2o4j0AhVH6XMBHWCnACYQ6AF6BAgJEAI#v=onepage&q=synthetic fiber composites&f=false](https://books.google.com.my/books?id=FpzuDwAAQBAJ&pg=PA7&dq=synthetic+fiber+composites&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwiOu5O2o4j0AhVH6XMBHWCnACYQ6AF6BAgJEAI#v=onepage&q=synthetic%20fiber%20composites&f=false)
- ANSYS, 2023. Equivalent (von Mises). [en línea]. 2023. Recuperado a partir de : [https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v231/en/wb_sim/ds_Equiv_Stress.html?q=equivalent stress](https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v231/en/wb_sim/ds_Equiv_Stress.html?q=equivalent%20stress) [consultado 11 junio 2023].
- ANSYS INC, 2023a. Maximum Energy Error. *Step Controls* [en línea]. 2023. Recuperado a partir de : [https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v231/en/exd_ag/exp_dyn_theory_step_cont.html?q=internal energy](https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v231/en/exd_ag/exp_dyn_theory_step_cont.html?q=internal%20energy) [consultado 8 octubre 2023].
- ANSYS INC, 2023b. Solution Information. *Dinamic Explicit* [en línea]. 2023. Recuperado a partir de : [https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v231/en/exd_ag/exd_ag_impexp_solninfo.html?q=Kinetic Energy](https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v231/en/exd_ag/exd_ag_impexp_solninfo.html?q=Kinetic%20Energy) [consultado 8 octubre 2023].
- ANSYS INC., 2015. ANSYS Meshing Users Guide. . Vol. 15317, número April, pp. 724–746.
- ASKELAND, Donald R. y WRIGHT, Wendelin J., 2016. *The Science and Engineering of Materials*. 7th. Boston : Cengage Learning. ISBN 9781305076761.
- ASTM INTERNATIONAL, 2017. *ASTM D3039/D3039M-17 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials* [en línea]. Recuperado a partir de : https://doi.org/10.1520/D3039_D3039M-17
- ASTM INTERNATIONAL, 2018. *ASTM D5628-18 Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass)* [en línea]. Recuperado a partir de : <https://doi.org/10.1520/D5628-18>
- ASTM INTERNATIONAL, 2021. *ASTM D7264/D7264M-21 Standard Test Method for Flexural*

- Properties of Polymer Matrix Composite Materials* [en línea]. Recuperado a partir de :
https://doi.org/10.1520/D7264_D7264M-21
- BALASUBRAMANIAN, M., 2013. *Composite materials and processing*. ISBN 9781439880548.
- BATHE, K J, 2014. *Finite Element Procedures*. Klaus-Jürgen Bathe.
- BETANCOURT CHÁVEZ, Diego Gustavo y SALAZAR GARCÉS, Dolores Krupskaya, 2017. Mejoramiento del proceso de suavizado de la fibra de cabuya para elaborar géneros textiles. *INNOVA Research Journal*. Vol. 2, número 8.1, pp. 336–349. DOI 10.33890/innova.v2.n8.1.2017.388.
- BLANCO, María Lorena y MUÑOZ, Roy Alberto, 1991. Pulpeo de Cabuya (*Furcraea cabuya*). *Revista Ingeniería*. Vol. 1, número 1, p. 7.
- BUDYNAS, Richard G y NISBETT, J Keith, 2019. *Shigley's Mechanical Engineering Design*. 11th. New York, NY : McGraw-Hill Education. ISBN 978-1-259-56680-2.
- CALLISTER JR, William D. y RETHWISCH, David G., 2018. *Materials Science and Engineering - An Introduction*. 10. USA : wiley. ISBN 9781119321590.
- CEPE, 2014a. Reglamento no 46 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas: Prescripciones uniformes sobre la homologación de los dispositivos de visión indirecta y los vehículos de motor en lo referente a la instalación de dichos dispositivos. [en línea]. pp. 24–77. Recuperado a partir de :
<http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29fdocstts.html>.
- CEPE, 2014b. Reglamento n° 81 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) — Prescripciones uniformes sobre la homologación de retrovisores de los vehículos de motor de dos ruedas, con o sin sidecar, respecto a la instalación de dichos retrovisor. .
- CHAND, Navid y FAHIM, Mohammed, 2020. *Tribology of Natural Fiber Polymer Composites*. 2. Woodhead Publishing. ISBN 0128189835, 9780128189832.
- CRUZ BERMEO, William, 2010. El hilado, el tejido y las tejas. Una mirada a sus aspectos simbólicos. *Dialnet* [en línea]. Vol. 6, pp. 197–211. Recuperado a partir de :
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5204300.pdf>
- ELMARAQBI, Ahmed, 2012. *Advanced Composite Materials for Automotive Applications: Structural Integrity and Crashworthiness*. Editorial Name.
- FREEPNG.ES, 2015. Material Compuesto, El Panel De Bocadillo. [en línea]. 2015. Recuperado a partir de : <https://www.freepng.es/png-4pmodq/> [consultado 7 abril 2023].
- GAY, Daniel y GAY, Daniel, 2014. *Composite Materials : Design and Applications* [en línea]. CRC Press. ISBN 9781466584884. Recuperado a partir de :
<https://books.google.com.ec/books?id=umjOBQAAQBAJ>
- GAY, Daniel, HOA, Suong V. y TSAI, Stephen W., 2002. *Composite materials: Design and*

- applications*. ISBN 9781420031683.
- GEORGE, Brian R. et al., 2004. *Natural Fibers, Plastics and Composites*. ISBN 9781461347743.
- GODARA, Mukesha S.S., 2019. Effect of chemical modification of fiber surface on natural fiber composites: A review. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 18, pp. 3428–3434. DOI 10.1016/j.matpr.2019.07.270.
- GOODMAN, Sydney y DODIUK-KENIG, Hanna, 2014. *Handbook of Thermoset Plastics*. 3. Burlington : William Andrew. ISBN 9781455778980.
- GUEMES GORDO, Alfredo y MARTIN PIRIS, Nuria, 2012. *Ciencia de materiales para ingenieros*. Madrid : PEARSON EDUCATION S.A. ISBN 9788483227190.
- GUERRERO, Victor, 2011. *NUEVOS MATERIALES APLICACIONES ESTRUCTURALES E INDUSTRIALES*. Primera. Quito : 2011. ISBN 978-9978-383-20-9.
- HALPIN, John C, 1992. *Primer on Composite Materials Analysis*. second. ISBN 9788527729833.
- HALPIN, John C. y FINLAYSON, Kier M., 2017. *Primer on composite materials analysis, second edition revised*. ISBN 9781351422154.
- HASAN, Afnan, RABBI, M. S. y MARUF BILLAH, Md, 2022. *Making the lignocellulosic fibers chemically compatible for composite: A comprehensive review*. Elsevier. Cleaner Materials 4. DOI 10.1016/j.clema.2022.100078.
- HUGHES, T J R, 2000. *The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis*. Dover Publications.
- JAYARAMAN, Krishnan, 2003. Manufacturing sisal-polypropylene composites with minimum fibre degradation. *Composites Science and Technology*. Vol. 63, número 3–4, pp. 367–374. DOI 10.1016/S0266-3538(02)00217-8.
- JOHNSON, M y BROWN, R, 2020. *Finite Element Simulation for Automotive Design: Concepts and Applications*. Springer.
- JURADO, Faber y CHECA, Carlos, 2014. *Mejoramiento de la calidad de la fibra de cabuya y su aplicación*. [en línea]. Universidad Técnica del Norte. Recuperado a partir de : <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2658>
- JURADO, Sofía y SARZOSA, Xavier, 2009. *Estudio de la cadena agroindustrial de la cabuya n la producción de miel y licor de cabuya* [en línea]. Escuela Politecnica Nacional. Recuperado a partir de : <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1693>
- KHAN, Tabrej, HAMEED SULTAN, Mohamed Thariq Bin y ARIFFIN, Ahmad Hamdan, 2018. The challenges of natural fiber in manufacturing, material selection, and technology application: A review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. Vol. 37, número 11, pp. 770–779. DOI 10.1177/0731684418756762.
- KIM, Jin-Seok, PARK, Byoung-Jin y LEE, Young-Suk, 2020. Structural analysis of automotive body parts using finite element method. *Journal of Mechanical Science and Technology*.

- Vol. 34, número 4, pp. 1491–1501.
- KOZŁOWSKI, Ryszard M. y MACKIEWICZ-TALARCZYK, Maria, 2020. *Handbook of natural fibres: Processing and applications*. 2. Duxford;United Kingdom : Woodhead Publishing is an imprint of Elsevir. ISBN 9780128187821.
- L CHUNG, Deborah D, 2010. *Composite Materials: Science and Applications*. 2. London : Springer-Verlag London. ISBN 9781848828308.
- LLOP, M et al., 2005. Influencia de la modificación de las fibras sobre las características a fractura de un poliestireno reforzado con fibras de yute. *Anales de la Mecánica de la Fractura* [en línea]. Vol. 22, pp. 306–309. Recuperado a partir de : <https://gef.es/images/publicaciones/22/50.pdf>
- LYBRAY., Science Photo, sin fecha. Science Photo Lybray. [en línea]. Recuperado a partir de : https://media.sciencephoto.com/image/a8500256/800wm/A8500256-Reinforced_plastic,_SEM.jpg [consultado 7 abril 2023].
- MACMILLAN, W. G., SEN GUPTA, A. B. y MAJUMDAR, S. K., 1954. A study of the action of alkalis on jute. *Journal of the Textile*. Vol. 45, número 9, pp. T703–T715. DOI 10.1080/19447027.1954.10807273.
- MANSOR, Muhd Ridzuan y SAPUAN, Salit Mohd, 2018. *Concurrent Conceptual Design and Materials Selection of Natural Fiber Composite Products* [en línea]. ISBN 9789811065897. Recuperado a partir de : <http://www.springer.com/series/10111>
- MARIANO, 2011. Resina epoxi | Tecnología de los Plásticos. [en línea]. 5 agosto 2011. Recuperado a partir de : <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/08/resina-epoxi.html> [consultado 8 abril 2023].
- MARKL, Erich, GRÜNBICHLER, Hannes y LACKNER, Maximilian, 2018. PHB - Bio Based and Biodegradable Replacement for PP: A Review. *Novel Techniques in Nutrition & Food Science*.
- MAZUMDAR, Sanjay K., 2001. *Composites manufacturing: Materials, product, and process engineering*. Boca Raton, Fla : CRC Press. ISBN 9781420041989.
- MISHKY, Huarmy, 2020. Mishky Huarmy | Un recorrido por el mundo del agave andino. [en línea]. 24 julio 2020. Recuperado a partir de : <http://www.mishkyhuarmy.com/> [consultado 8 abril 2023].
- MOHANTY A.K, MISRA, M. y DRZAL, L.T., 2012. Surface modifications of natural fibres and performance of the resulting biocomposite. *Composite Interfaces*. Vol. 8, número 5, pp. 313–343.
- NABI SAHEB, D. y JOG, J. P., 1999. Natural fiber polymer composites: A review. *Advances in Polymer Technology*. Vol. 18, número 4, pp. 351–363. DOI 10.1002/(SICI)1098-2329(199924)18:4<351::AID-ADV6>3.0.CO;2-X.
- NETO, Flaminio y PARDINI, L C, 2006. *Compósitos estruturais: ciência e tecnologia* [en línea].

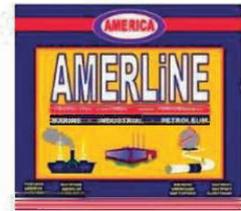
- Brasil : Edgard Blücher. ISBN 9788521203971. Recuperado a partir de : https://books.google.com.ec/books?id=r%5C_J4PgAACAAJ
- NEWELL, James, 2010. *Ciencia de materiales. Aplicaciones en ingeniería*. Mexico : Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. ISBN 9786077071143.
- NHTSA, 1999. LABORATORY TEST PROCEDURE FOR FMVSS 111 – Rearview Mirrors. .
- PACHACAMA NASIMBA, Victor, 2023. *Diseño y construcción de un retrovisor utilizando un material compuesto por resina epoxi y refuerzo de tejido plano de cabuya mercerizada*. . Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.
- PACHACAMA, Victor, 2015. Diseño, caracterización y aplicación de un material compuesto con base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas para la aplicación en un prototipo de capot de la camioneta MAZDA BT50 2010. .
- POON, Zhi Yi et al., 2019. Numerical study of car body structure and design optimization. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1349, número 1, p. 12013.
- PREM KUMAR, N. et al., 2022. Effect of mercerization on the chemical characteristics of plant-based natural fibers. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 68, pp. 1201–1207. DOI 10.1016/j.matpr.2022.05.319.
- REDDY, J N, 2019. *An Introduction to the Finite Element Method*. CRC Press.
- Resistencia de materiales – Centro Carrocero, sin fecha *RESISTENCIA DE MATERIALES* [en línea]. Recuperado a partir de : <https://centrocarrocero.tungurahua.gob.ec/index.php/ensayos/laboratorio-de-resistencia-de-materiales/> [consultado 9 abril 2023].
- ROJAS LAZO, Oswaldo y ROJAS ROJAS, Luis, 2014. Diseño asistido por computador. *Industrial Data*. Vol. 9, número 1, p. 007. DOI 10.15381/idata.v9i1.5709.
- ROY, D et al., 1982. Chemically Texturizing Jute and Jute-Polypropylene Blended Yarns. *Textile Research Journal*. Vol. 52, número 11, pp. 694–702.
- ROY, M. M., 1953. Mechanical properties of jute II: The Study of Chemically Treated Fibres. *Journal of the Textile Institute Transactions*. Vol. 44, número 1, pp. T44–T52. DOI 10.1080/19447025308659706.
- SANJAY MAVINKERE, Rangappa et al., 2022. *Handbook of Epoxy / Fiber Composites*. 1. Singapore : Springer. ISBN 9789811936029.
- SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN INEN, 2016. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656 - CLASIFICACIÓN VEHICULAR. .
- SILVA, R.N.A. et al., 2020. Comparative study of mechanical properties of polymeric composite materials with polyester matrix using natural and synthetic fibers as reinforcement. *Scientia-Amazonia.Org* [en línea]. Vol. 01, número 01.01.2020, pp. 1–7. Recuperado a partir de : <http://scientia-amazonia.org/wp-content/uploads/2019/09/v.-9-n.1-E1-E7-2020.pdf>

- SMITH, A, JOHNSON, B y WILLIAMS, C, 2018. Advances in CAD 3D modeling for automotive components. *International Journal of Automotive Engineering*. Vol. 42, número 2, pp. 153–167.
- SMITH, William y HASHEMI, Javad, 2006. *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*. 4. McGraw-Hill. ISBN 9781456218348.
- SRINIVASAN, V S et al., 2014. Evaluation of mechanical and thermal properties of banana–flax based natural fibre composite. *Materials & Design*. Vol. 60, pp. 620–627. DOI <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.03.014>.
- VILLACIS, Hector, 2011. Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de vidrio y abacá mediante estratificación. [en línea]. 2011. Recuperado a partir de : https://www.researchgate.net/publication/279437958_Obtencion_de_materiales_compuestos_hibridos_de_matriz_poliester_reforzados_con_fibra_de_vidrio_y_abaca_mediante_estratificacion [consultado 7 abril 2023].
- VILLACÍS, Hector, 2011. *Compuestos Híbridos De Matriz Poliéster Reforzados Con Fibra De Vidrio Y Abacá Mediante Estratificación* [en línea]. Escuela Politécnica Nacional. Recuperado a partir de : <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4036>
- WU, Yang et al., 2021. Numerical simulation and analysis of automotive crashworthiness. *International Journal of Automotive Technology*. Vol. 22, número 1, pp. 181–191.
- YUNG C. SHIN, CHINMAYA DANDEKAR (AUTH.), J. Paulo Davim (eds.), 2016. *Machining of Metal Matrix Composites*. 1. London : Springer-Verlag London. ISBN 2013206534.
- ZAAREER, Moath N. et al., 2023. Aeroacoustics Wind Noise Optimization for Vehicle’s Side Mirror Base. *International Journal of Thermofluids*. Vol. 18, número March, p. 100332. DOI [10.1016/j.ijft.2023.100332](https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100332).
- ZIENKIEWICZ, O C y TAYLOR, R L, 2005. *The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics*. Butterworth-Heinemann.

CRETONBOND 52YN

PROTECTIVE COATINGS HIGH-PERFORMANCE / MARINE-INDUSTRIAL-PETROLEUM

INYECCIÓN EN GRIETAS ESTRUCTURALES - EPÓXICO ALTA PENETRACIÓN



INFORMACIÓN GENERAL

CRETOBOND 52YN: Producto de 2 componentes (base y catalizador) mezclables 3:1

- Epóxico líquido de alta penetrabilidad
- Sistema 100% Sólidos
- Rellena monolíticamente grietas y capilares
- Reforzante por inyección (solda líquida)
- Insensible a la humedad
- Cura por polimerización formando una película dura de excelentes propiedades físicas y de alto grado de adhesividad e impermeabilidad
- Excelente resistencia mecánica (no se contrae)

USOS RECOMENDADOS

- CRETOBOND 52YN:** Epoxico inyeccion. Solda Liquida de refuerzo y union estructural de elementos endurecidos de hormigon, piedra, marmol, acero, hierro y madera. Ideal para
- Inyeccion de grietas inactivas en el hormigon originadas por contraccion del fraguado, por movimientos sismicos, por asentamientos diferenciales, por exeso de carga viva o por uso prematuro de la construccion.
 - Como endurecedor de hormigon en superficies deleznales o altamente porosas y de baja resistencia al desgaste.
 - Impermeabilizante de hormigon por efecto penetrante y eficiente sellado de porosidad que impide filtraciones.
 - Resistente a inmersión en agua y derivados de petroleo, acidos inorganicos diluidos, alcalis diluidos, aceites, gasolinas y solventes

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Tipo Genérico: Epoxico de cadena cruzada
Color: Transparente
Presentación: Kits de 1 galon
Componentes: Dos (2) componentes
Brillo: Semibrillo
Prop. de mezcla: 3:1 en volumen

Diluyente: No require
Pot-life: 10-30 minutos (10-30°C.)
Punto de inflamación: > 100°C
Temperatura de uso: Entre 10°C y 30°C.
Densidad: 1,10 ± 0,10 Kg/l.

Resist. Temperatura: 100°C (Seco, continuo)
Resist. a la Compresion: 800 Kg / cm²
Resist. a la flexion: 980 kg / cm²

Rendimiento Teórico: 149-150m² /galon (25.4micras)
% Solidos en volumen: 100%
Aplicación: Inyeccion a presion (de abajo) e inyeccion por gravedad
 Opcion: Brocha y Rodillo

Lavado de equipo y aseo: Thinner Epoxico
Tiempo se secado: A 25°C y 50% de H.R.
 Tacto: 1/2 hora
 Duro: 1 hora

RECOMENDACION: Asegurese que las superficies a inyectar y/o pintar esten libres de: grasa, aceite, polvo, humedad, moho, oxido y otros contaminante. El concreto debe tener minimo 28 dias de curado.

NOTA: Prepare unicamente la cantidad que va a ser utilizada dentro de 10-30 minutos.

BONDARplus

Productos libres de Plomo y Cromo

AUTOPRIME WASH 625S	PRIMER UNIVERSAL PU-700	FONDO UNIVERSAL FU-15	PLASTIBOND 6015	PEDRALININGS 810HP
Promotor de adherencia	Imprimante Universal	Fondo Altos Sólidos	Masilla Plástica	Bate Piedra

YALRON

Productos Especiales

YALRON 170S	YALRON 150S	YALRON 122S	YALRON 250S	YALRON 100S	YALRON 105S	YALRON 2S
Removedor	Desoxidante	Desengrasante	Lavador Ácido	Thinner Laca	Thinner Acrílico	Thinner Epóxico

MANTÉNGALO ALEJADO DEL FUEGO Y FUERA DEL ALCANCE DE LOS NIÑOS

General information

Overview

Sisal fiber is derived from an agave, *Agave sisalana*. Sisal is valued for cordage use because of its strength, durability, ability to stretch, affinity for certain dyestuffs, and resistance to deterioration in saltwater.

Designation

Sisal, fiber

Typical uses

Sisal is used by industry in three grades, according to www.sisal.ws. The lower grade fiber is processed by the paper industry because of its high content of cellulose and hemicelluloses. The medium grade fiber is used in the cordage industry for making: ropes, baler and binders twine. Ropes and twines are widely employed for marine, agricultural, and general industrial use. The higher-grade fiber after treatment is converted into yarns and used by the carpet industry. Sisal is now used as a reinforcement in polymer-matrix composites.

Composition overview

Compositional summary

Cellulose 70 wt% and lignin 12 wt %.

Form	Fiber
Material family	Natural (fibers)
Base material	Cellulose
Renewable content	100 %

Composition detail (polymers and natural materials)

Natural material	100 %
------------------	-------

Price

Price	* 0,75	-	1,2	USD/kg
Price per unit volume	* 1,05e3	-	1,74e3	USD/m ³

Physical properties

Density	1,4e3	-	1,45e3	kg/m ³
---------	-------	---	--------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	9,4	-	24	GPa
Specific stiffness	6,6	-	16,8	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 495	-	711	MPa
Tensile strength	550	-	790	MPa
Specific strength	* 347	-	499	kN.m/kg
Elongation	2	-	2,9	% strain
Flexural modulus	* 9,4	-	22	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 550	-	790	MPa
Shear modulus	* 1	-	1,21	GPa
Bulk modulus	* 6,2	-	15,9	GPa
Poisson's ratio	* 0,359	-	0,374	

Shape factor	1		
Elastic stored energy (springs)	* 6,82e3	- 2,01e4	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 220	- 316	MPa

Impact & fracture properties

Fracture toughness	19,6	- 101	MPa.m ^{0.5}
Toughness (G)	36,5	- 477	kJ/m ²

Thermal properties

Glass temperature	* 380	- 390	°C
Maximum service temperature	* 400	- 420	°C
Thermal conductivity	* 0,25	- 0,35	W/m.°C
Specific heat capacity	1,2e3	- 1,22e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	* 15	- 30	µstrain/°C
Thermal shock resistance	* 1,06e3	- 3,27e3	°C
Thermal distortion resistance	* 0,0096	- 0,0203	MW/m

Magnetic properties

Magnetic type	Non-magnetic
---------------	--------------

Optical, aesthetic and acoustic properties

Transparency	Opaque
Acoustic velocity	2,5e3 - 4,22e3 m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0,00407 - 0,00753

Healthcare & food

Food contact	No
--------------	----

Restricted substances risk indicators

RoHS 2 (EU) compliant grades?	✓
EU REACH Candidate List indicator (0-1, 1 = high risk)	0
SIN List indicator (0-1, 1 = high risk)	0

Critical materials risk

Contains >5wt% critical elements?	No
-----------------------------------	----

Absorption & permeability

Water absorption @ 24 hrs	* 2	- 2,4	%
Water absorption @ sat	10	- 12	%
Humidity absorption @ sat	10	- 12	%

Durability

Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	Excellent
Weak acids	Acceptable
Strong acids	

	Unacceptable
Weak alkalis	Acceptable
Strong alkalis	Unacceptable
Organic solvents	Acceptable
Oxidation at 500C	Unacceptable
UV radiation (sunlight)	Good
Flammability	Highly flammable
Oxygen index	* 17 - 19 %

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production (virgin grade)	9,5	-	10,5	MJ/kg
Embodied energy, primary production (typical grade)	9,5	-	10,5	MJ/kg
CO2 footprint, primary production (virgin grade)	1,5	-	1,7	kg/kg
CO2 footprint, primary production (typical grade)	1,5	-	1,7	kg/kg
Water usage	7,88e3	-	8,71e3	l/kg

Processing energy, CO2 footprint & water

Fabric production energy	* 2,48	-	2,73	MJ/kg
Fabric production CO2	* 0,198	-	0,218	kg/kg
Fabric production water	* 1,03	-	1,55	l/kg

Recycling and end of life

Recycle	✘
Downcycle	✔
Combust for energy recovery	✔
Heat of combustion (net)	* 19,3 - 20,2 MJ/kg
Combustion CO2	* 1,5 - 1,58 kg/kg
Landfill	✔
Biodegrade	✔

Geo-economic data for principal component

Principal component	Sisal
Annual world production, principal component	2,61e5 tonne/yr

Main mining or production areas

Brazil, China, Haiti, Kenya, Madagascar, Mexico, Morocco, United Republic of Tanzania, Venezuela

Enlaces

ProcessUniverse
Reference
Shape

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

INFORME DE RESULTADOS N°: 010468528420230519-ETC.

DATOS GENERALES

N° de proforma: RM_2023_015.
Empresa/Cliente: Víctor Patricio Pachacama Nasimba.
RUC/C.I.: 0104685284001. **Teléfono:** +593986410602.
Dirección: Calle 5ta y Calle I, Parroquia 7 de Octubre, Quevedo.
Correo: ingvictorpachacama@hotmail.com.
DATOS DEL ENSAYO:
Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.
Dirección: Santo Domingo y Río de Janeiro, Catiglata/Ambato.
Método de ensayo: ASTM D3039/D3039M-17. Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.
Tipo de ensayo: Cuantitativo. **Tipo de probeta:** Plana.
Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Metrotec 50 KN.
Modelo: MTE-50 **Serie:** 8802M002.
Velocidad de ensayo: 5 mm/min. **Precarga:** 0 N.
Fecha de Inicio de Ensayo: 2023/05/19. **Fecha de Finalización de Ensayo:** 2023/05/19.
 Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en **probetas de material compuesto de resina epóxica y fibra de cabuya tejida mercerizada..** Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de la provincia de Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas:

N°	Identificación de probetas	Configuración	Designación	Probetas a Ensayar
1	010468528420230519-ETC 01	RE+3CFC	M1	5
2	010468528420230519-ETC 02	RE+2CFCT	M2	5
			Total	10

Observación: La fabricación de las probetas para la ejecución del ensayo es responsabilidad del cliente.

Nota: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser reproducido total ni parcialmente.

Elaborado por: Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCPT.	Revisado por: Ing. David Romero C. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCPT.	Aprobado por: Ing. Luis Mayorga MEng. Administrador CFPMCPT.

Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 24 de mayo de 2023.

N° de factura:001-001-000000040.

RESULTADOS:

N°	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Desplazamiento mm.	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
1	010468528420230519-ETC 01-1	23,8	52,3	24,84	1,87	1988,10	42,80	942,46	6,812	4,541	LGB
2	010468528420230519-ETC 01-2			24,86	1,96	2170,11	44,54	911,28	7,331	4,887	LGM
3	010468528420230519-ETC 01-3			24,59	2,01	2270,11	45,93	856,68	8,042	5,361	LGM
4	010468528420230519-ETC 01-4			24,59	1,88	2056,10	44,48	918,04	7,267	4,845	LGM
5	010468528420230519-ETC 01-5			24,88	1,83	2046,10	44,94	766,53	8,794	5,863	LGM
Promedio \bar{x}						2106,104	44,536	878,999	7,649	5,099	
Desviación estándar S_{n-1}						112,939	1,132	70,251	0,777	0,518	
Coefficiente de variación CV						0,054	0,025	0,080	0,102	0,102	

N°	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Desplazamiento mm.	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
6	010468528420230519-ETC 02-1	23,7	51,2	24,91	2,04	1182,06	23,26	281,41	12,399	8,266	LGT
7	010468528420230519-ETC 02-2			24,84	1,82	1122,06	24,82	406,30	9,163	6,109	LGM
8	010468528420230519-ETC 02-3			24,67	1,89	1082,05	23,21	387,34	8,987	5,991	LGB
9	010468528420230519-ETC 02-4			24,62	2,02	1014,05	20,39	345,75	8,846	5,897	LGB
10	010468528420230519-ETC 02-5			24,85	1,84	1070,05	23,40	343,71	10,213	6,809	LGM
Promedio \bar{x}						1094,054	23,016	352,903	9,922	6,614	
Desviación estándar S_{n-1}						62,551	1,612	48,177	1,486	0,990	
Coefficiente de variación CV						0,057	0,070	0,137	0,150	0,150	

Nomenclatura:

Tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2017.

Primer caracter	Tipo de falla	Segundo caracter	Área de la falla	Tercer caracter	Localización de falla
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
M	Multimodo	I	Dentro del agarre	B	Parte Inferior
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 010468528420230519-ETC.

DATOS DEL CLIENTE

Empresa/Cliente: Víctor Patricio Pachacama Nasimba.

Dirección: Calle 5ta y Calle I, Parroquia 7 de Octubre, Quevedo.

Núm. de cédula/RUC: 0104685284001.

E-mail: ingvictorpachacama@hotmail.com.

Teléfono: +593986410602.

DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Resistencia de Materiales.

Designación del material:

Material compuesto: Resina epóxica y fibra de cabuya tejida mercerizada.

Método de ensayo:

ASTM D3039/D3039M-17. Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	010468528420230519-ETC 01-1	2023/05/19	2023/05/24	Cliente	Se entrega al cliente	
2	010468528420230519-ETC 01-2	2023/05/19	2023/05/24	Cliente	Se entrega al cliente	
3	010468528420230519-ETC 01-3	2023/05/19	2023/05/24	Cliente	Se entrega al cliente	
4	010468528420230519-ETC 01-4	2023/05/19	2023/05/24	Cliente	Se entrega al cliente	
5	010468528420230519-ETC 01-5	2023/05/19	2023/05/24	Cliente	Se entrega al cliente	

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Código: CF-AE-RM-RG-003
 Fecha de Elaboración: 2016-07-06
 Fecha de última aprobación: 2022-02-04
 Revisión: 4

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
6	010468528420230519-ETC 02-1	2023/05/19	2023/05/24	Ciente	Se entrega al cliente	
7	010468528420230519-ETC 02-2	2023/05/19	2023/05/24	Ciente	Se entrega al cliente	
8	010468528420230519-ETC 02-3	2023/05/19	2023/05/24	Ciente	Se entrega al cliente	
9	010468528420230519-ETC 02-4	2023/05/19	2023/05/24	Ciente	Se entrega al cliente	
10	010468528420230519-ETC 02-5	2023/05/19	2023/05/24	Ciente	Se entrega al cliente	

Todas las muestras de los grupos ensayados por acuerdo se entregan al cliente, el CFPMCT no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las mismas, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

Elaborado por: Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCT.	Aprobado por: Ing. Luis Mayorga G. MEng. Administrador CFPMCT
Cliente	

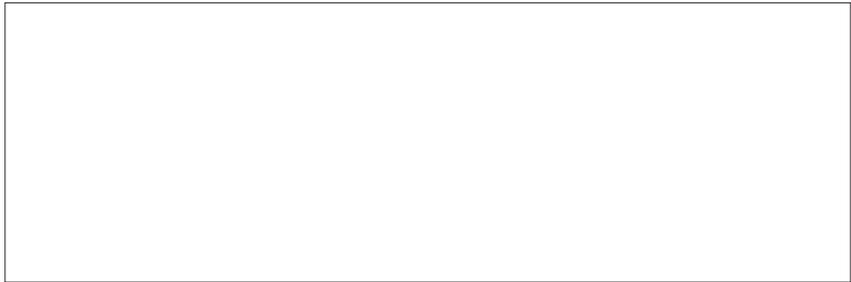


INFORME :
 ENSAYO :

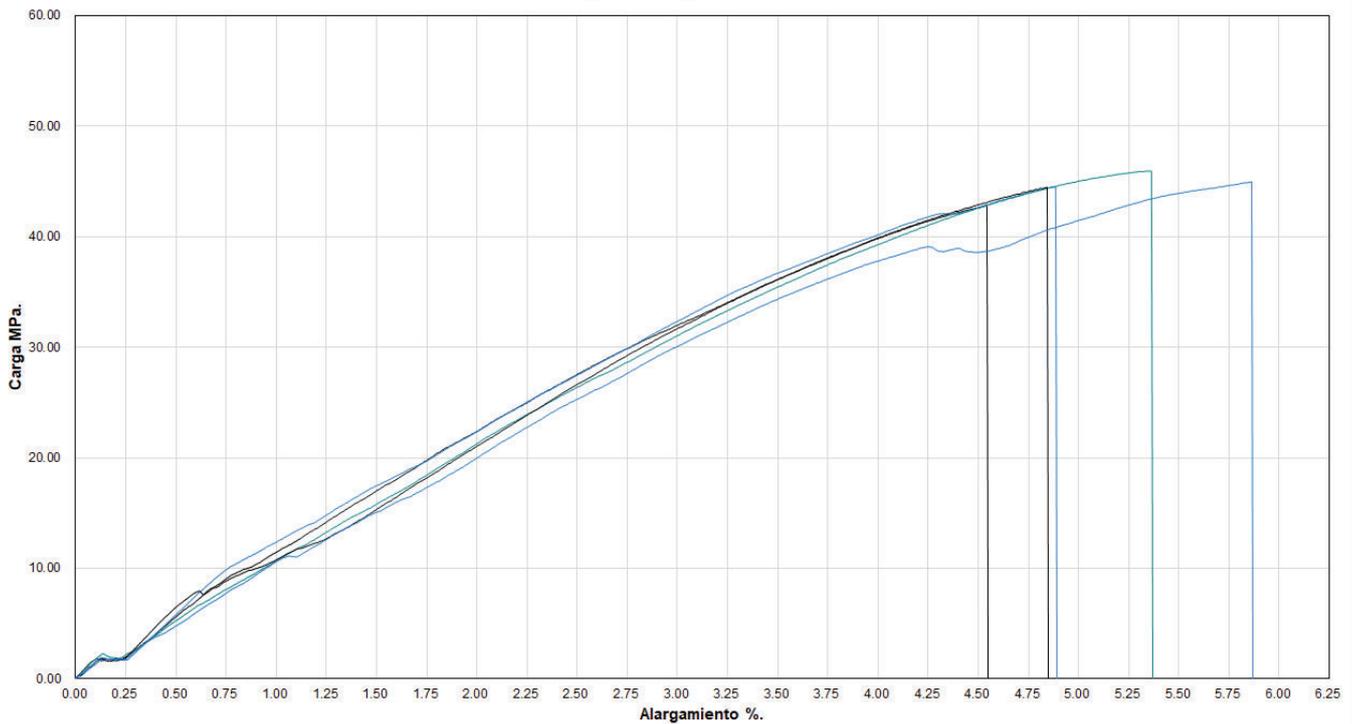
ETC 01
 TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad : RM_2023_015
 Operario : A. Técnico
 Norma : ASTM D3039
 Fecha : 19/05/2023
 Hora : 14:59:15
 Temperatura : 23,8
 H.R.% : 52,3
 Pedido : 010468528420230519



Carga vs Alargamiento.



Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa
■ 1	1988,10	1988,10	42,80	42,80
■ 2	2170,11	2170,11	44,54	44,54
■ 3	2270,11	2270,11	45,93	45,93
■ 4	2056,10	2056,10	44,48	44,48
■ 5	2046,10	2046,10	44,94	44,94
Media	2106,104	2106,104	44,536	44,536
Mediana	2056,100	2056,100	44,537	44,537
Desv. Std	112,939	112,939	1,132	1,132
Coef. V.	0,054	0,054	0,025	0,025
Máximo	2270,110	2270,110	45,930	45,930
Mínimo	1988,100	1988,100	42,800	42,800
Rango	282,010	282,010	3,129	3,129
CPK	0,000	0,000	0,000	0,000
+3 Sigma	2444,920	2444,920	47,931	47,931
-3 Sigma	1767,288	1767,288	41,142	41,142

INFORME :
ENSAYO :

ETC 01
TRACCION



Parametros

Precarga	=	0,00	N
Caida %	=	100,00	
Retorno Automatico	=	0,00	
Limite Fuerza	=	50000,00	N
Limite Desplazamiento	=	200,00	mm
Stop Ext	=	0,00	mm

Velocidades

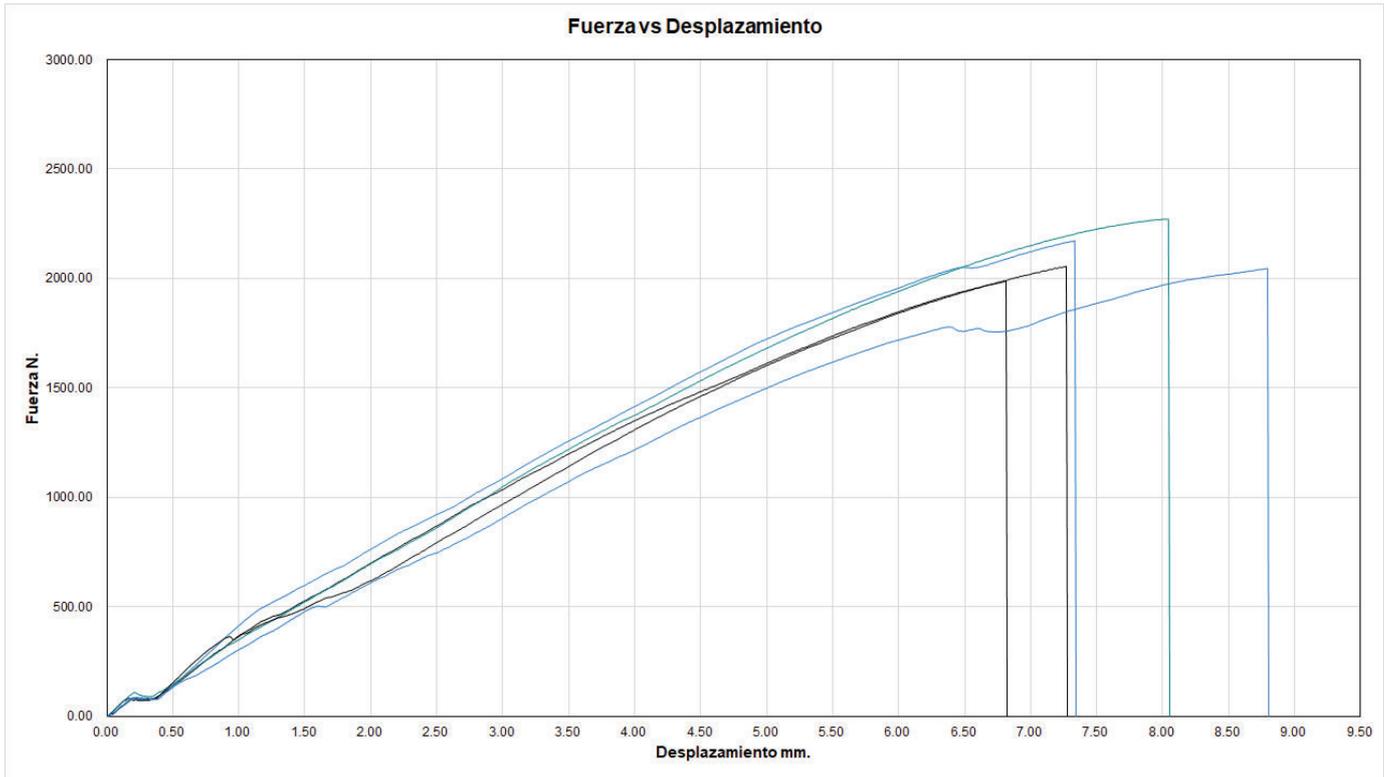
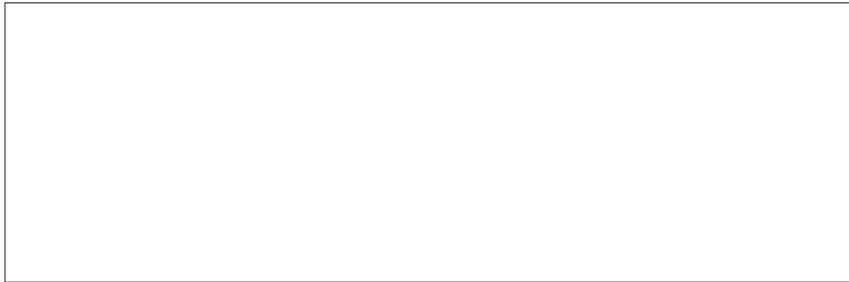
Precarga	=	5,00	mm/min
Ensayo	=	5,00	mm/min
Retorno	=	50,00	mm/min
Posicionamiento	=	50,00	mm/min

INFORME :
 ENSAYO :

ETC 01
 TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad : RM_2023_015
 Operario : A. Técnico
 Norma : ASTM D3039
 Fecha : 19/05/2023
 Hora : 14:59:15
 Temperatura : 23,8
 H.R.% : 52,3
 Pedido : 010468528420230519



Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa
■ 1	1988,10	1988,10	42,80	42,80
■ 2	2170,11	2170,11	44,54	44,54
■ 3	2270,11	2270,11	45,93	45,93
■ 4	2056,10	2056,10	44,48	44,48
■ 5	2046,10	2046,10	44,94	44,94
Media	2106,104	2106,104	44,536	44,536
Mediana	2056,100	2056,100	44,537	44,537
Desv. Std	112,939	112,939	1,132	1,132
Coef. V.	0,054	0,054	0,025	0,025
Máximo	2270,110	2270,110	45,930	45,930
Mínimo	1988,100	1988,100	42,800	42,800
Rango	282,010	282,010	3,129	3,129
CPK	0,000	0,000	0,000	0,000
+3 Sigma	2444,920	2444,920	47,931	47,931
-3 Sigma	1767,288	1767,288	41,142	41,142

INFORME :
ENSAYO :

ETC 01
TRACCION



Parametros

Precarga	=	0,00	N
Caida %	=	100,00	
Retorno Automatico	=	0,00	
Limite Fuerza	=	50000,00	N
Limite Desplazamiento	=	200,00	mm
Stop Ext	=	0,00	mm

Velocidades

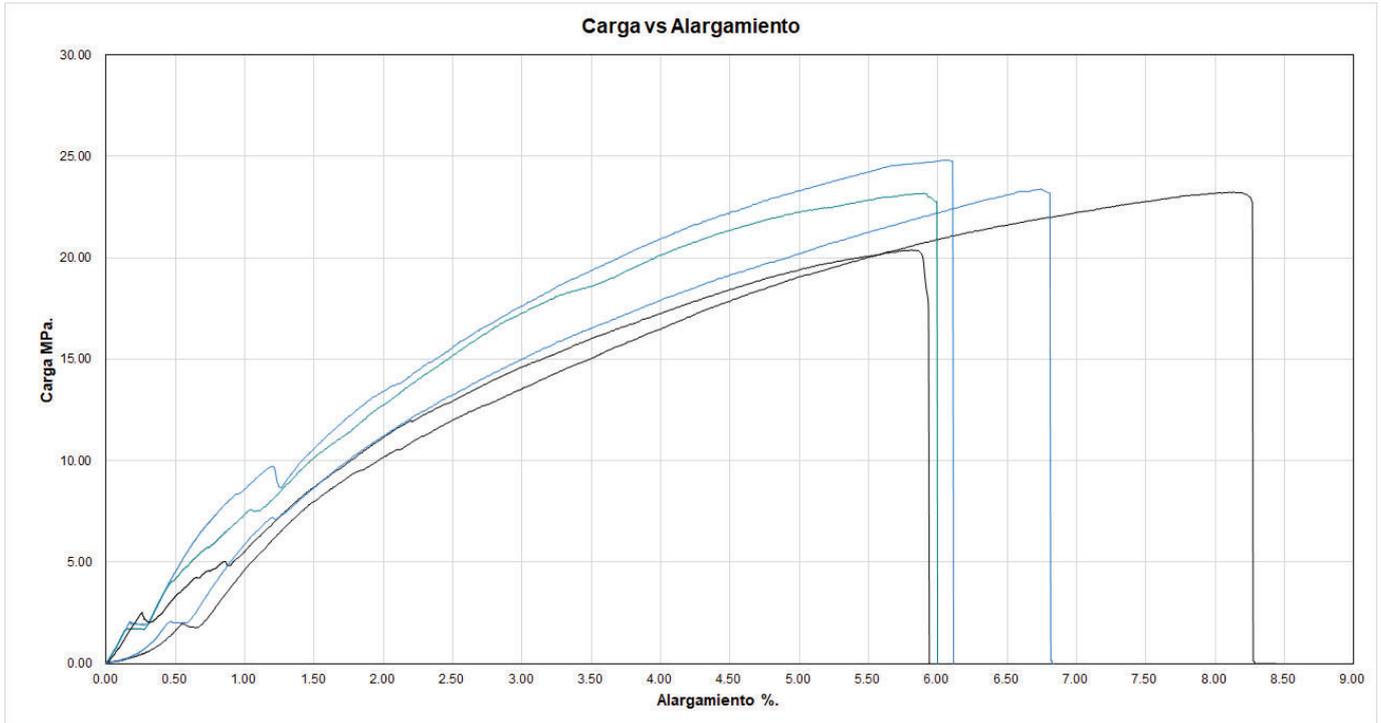
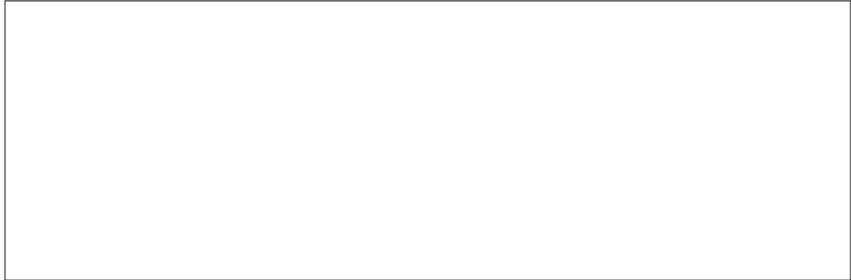
Precarga	=	5,00	mm/min
Ensayo	=	5,00	mm/min
Retorno	=	50,00	mm/min
Posicionamiento	=	50,00	mm/min

INFORME :
 ENSAYO :

ETC 02
 TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad : RM_2023_015
 Operario : A. Técnico
 Norma : ASTM D3039
 Fecha : 19/05/2023
 Hora : 15:27:09
 Temperatura : 23,7
 H.R.% : 51,2
 Pedido : 010468528420230519



Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa
■ 1	1182,06	1156,06	23,26	22,75
■ 2	1122,06	1120,06	24,82	24,78
■ 3	1082,05	1062,05	23,21	22,78
■ 4	1014,05	984,05	20,39	19,79
■ 5	1070,05	1060,05	23,40	23,18
Media	1094,054	1076,454	23,016	22,655
Mediana	1082,050	1062,050	23,261	22,778
Desv. Std	62,551	65,677	1,612	1,805
Coef. V.	0,057	0,061	0,070	0,080
Máximo	1182,060	1156,060	24,820	24,775
Mínimo	1014,050	984,050	20,390	19,787
Rango	168,010	172,010	4,429	4,988
CPK	0,000	0,000	0,000	0,000
+3 Sigma	1281,706	1273,484	27,852	28,068
-3 Sigma	906,402	879,424	18,180	17,241

INFORME :
ENSAYO :

ETC 02
TRACCION



Parametros

Precarga	=	0,00	N
Caida %	=	100,00	
Retorno Automatico	=	0,00	
Limite Fuerza	=	50000,00	N
Limite Desplazamiento	=	200,00	mm
Stop Ext	=	0,00	mm

Velocidades

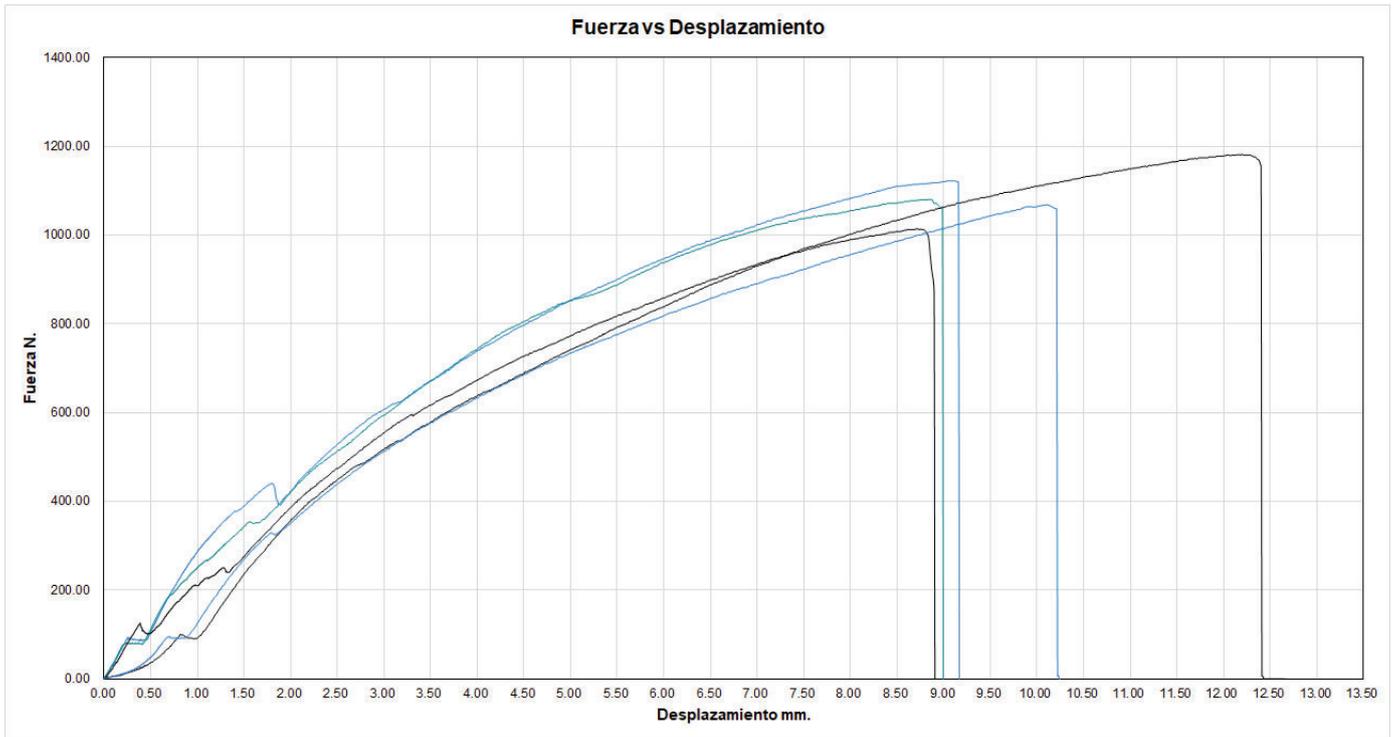
Precarga	=	5,00	mm/min
Ensayo	=	5,00	mm/min
Retorno	=	50,00	mm/min
Posicionamiento	=	50,00	mm/min

INFORME :
 ENSAYO :

ETC 02
 TRACCION



Referencia : MATERIAL COMPUESTO
 Cliente :
 Calidad : RM_2023_015
 Operario : A. Técnico
 Norma : ASTM D3039
 Fecha : 19/05/2023
 Hora : 15:27:09
 Temperatura : 23,7
 H.R.% : 51,2
 Pedido : 010468528420230519



Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa
■ 1	1182,06	1156,06	23,26	22,75
■ 2	1122,06	1120,06	24,82	24,78
■ 3	1082,05	1062,05	23,21	22,78
■ 4	1014,05	984,05	20,39	19,79
■ 5	1070,05	1060,05	23,40	23,18
Media	1094,054	1076,454	23,016	22,655
Mediana	1082,050	1062,050	23,261	22,778
Desv. Std	62,551	65,677	1,612	1,805
Coef. V.	0,057	0,061	0,070	0,080
Máximo	1182,060	1156,060	24,820	24,775
Mínimo	1014,050	984,050	20,390	19,787
Rango	168,010	172,010	4,429	4,988
CPK	0,000	0,000	0,000	0,000
+3 Sigma	1281,706	1273,484	27,852	28,068
-3 Sigma	906,402	879,424	18,180	17,241

INFORME :
ENSAYO :

ETC 02
TRACCION



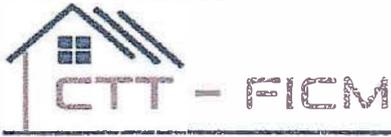
Parametros

Precarga	=	0,00	N
Caida %	=	100,00	
Retorno Automatico	=	0,00	
Limite Fuerza	=	50000,00	N
Limite Desplazamiento	=	200,00	mm
Stop Ext	=	0,00	mm

Velocidades

Precarga	=	5,00	mm/min
Ensayo	=	5,00	mm/min
Retorno	=	50,00	mm/min
Posicionamiento	=	50,00	mm/min

ANEXO D: Informe de flexión.



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - ULA

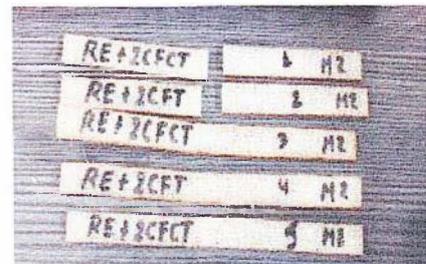
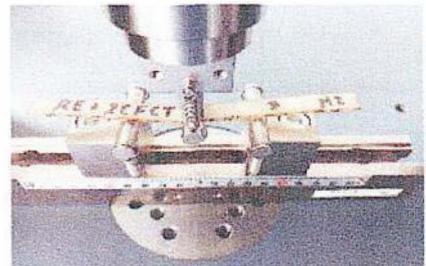
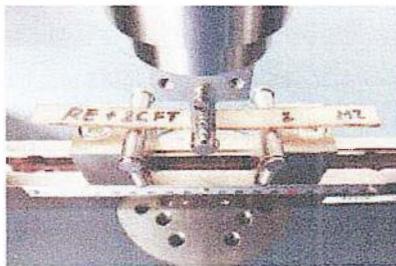
DATOS DEL CLIENTE		DATOS INFORMATIVOS	
Empresa / Cliente:	Víctor Patricio Pachacama Nasimba.	Laboratorio:	Resistencia de Materiales
Fecha de Inicio:	13-Jun-2023	Designación del material:	Material compuesto: Resina epóxica y fibra de cabuya tejida mercerizada.

Informe N°: 2023-131

Método de ensayo:
ASTM D7264

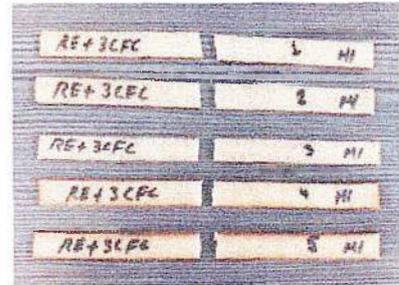
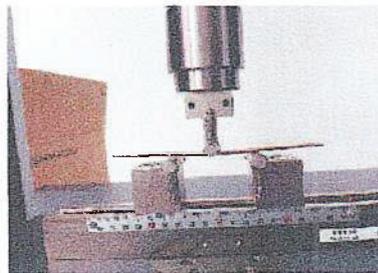
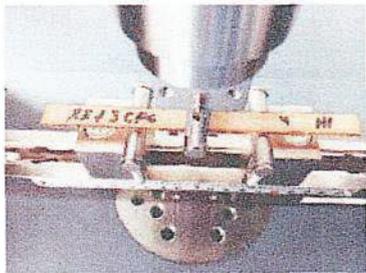
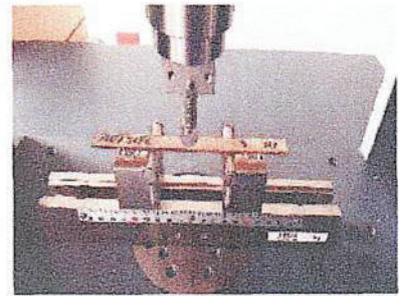
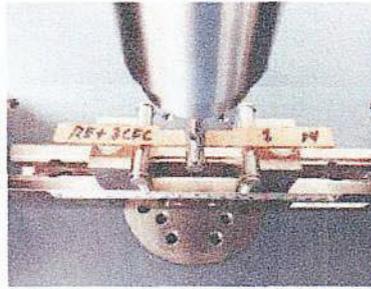
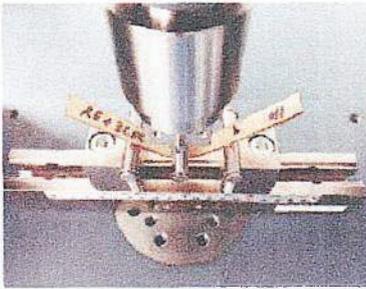
#	Identificación de probeta	Temp (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Tensión Maxima (Mpa)	Desplazamiento mm	% Deformación máxima
				Ancho	Espesor					
1	RE + 2CFCT - 1	21,3	57,1	12,50	2,00	28,0221	134506	53,8025	9,26516	2,71440
2	RE + 2CFCT - 2			12,50	2,00	24,8989	119515	47,8058	5,90916	1,73120
3	RE + 2CFCT - 3			12,50	2,00	23,6591	113564	45,4254	5,85766	1,71611
4	RE + 2CFCT - 4			12,50	2,00	21,8789	105019	42,0075	5,34449	1,56577
5	RE + 2CFCT - 5			12,50	2,00	26,6552	127945	51,1780	6,83549	2,00259
				Promedio		25,023	120109,800	48,044	6,642	1,946
				Mediana		24,899	119515,000	47,806	5,909	1,731
				Desviación estándar		2,420	11614,371	4,646	1,562	0,457
				Coeficiente de variación		0,097	0,097	0,097	0,235	0,235
				Maximo		28,022	134506,000	53,803	9,265	2,714
				Minimo		21,879	105019,000	42,008	5,344	1,566
				Rango		6,143	29487,000	11,795	3,921	1,149

ANEXOS FOTOGRAFICOS



#	Identificación de probeta	Temp (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Tensión Maxima (Mpa)	Desplazamiento mm	% Deformación máxima
				Ancho	Espesor					
6	RE + 3CFC - 1	21,6	50,4	12,50	2,00	34,6740	166435	66,5741	15,5292	4,54956
7	RE + 3CFC - 2			12,50	2,00	40,7219	195465	78,1860	14,6977	4,30596
8	RE + 3CFC - 3			12,50	2,00	41,2067	197792	79,1168	10,6187	3,11093
9	RE + 3CFC - 4			12,50	2,00	37,7973	181427	72,5708	12,2568	3,59087
10	RE + 3CFC - 5			12,50	2,00	39,7126	190621	76,2482	11,5937	3,39658
				Promedio		38,823	186348,000	74,539	12,939	3,791
				Mediana		39,713	190621,000	76,248	12,257	3,591
				Desviación estándar		2,662	12777,785	5,111	2,089	0,612
				Coeficiente de variación		0,069	0,069	0,069	0,161	0,161
				Maximo		41,207	197792,000	79,117	15,529	4,550
				Minimo		34,674	166435,000	66,574	10,619	3,111
				Rango		6,533	31357,000	12,543	4,911	1,439

ANEXOS FOTOGRAFICOS





Realizado por: Ing. Christian Pérez
TÉCNICO DE LABORATORIO MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



Supervisado por: Ing. Sebastian Villegas
TÉCNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

INGENIERÍA MECÁNICA

RESISTENCIA DE IMPACTO SEGÚN ASTM D 5628-10

MAYO 2023

AMBATO - ECUADOR

INFORME TÉCNICO

CTT-2023 – 131

OBJETIVO

Establecer y mantener un método para evaluar la energía media de impacto en polímeros.

ALCANCE

Determinación de energía necesaria para el fallo de polímeros por impacto de dardo según las especificaciones señaladas en la norma ASTM D 5628-10.

ANTECEDENTES:

Con fecha 19 de mayo de 2023, el Ingeniero. Víctor Patricio Pachacama Nasimba, solicita al Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, realizar ensayos de laboratorio para medir la energía media de impacto en muestras de material compuesto.

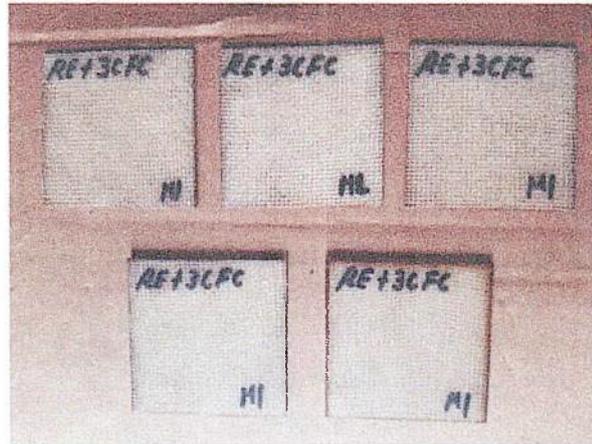
Se reciben 10 muestras o probetas, en 2 grupos de 5 probetas, bajo las designaciones:

- RE + 3CFC-1
- RE + 3CFC-2
- RE + 3CFC-3
- RE + 3CFC-4
- RE + 3CFC-5
- RE + 2CFCT-1
- RE + 2CFCT-2
- RE + 2CFCT-3
- RE + 2CFCT-4
- RE + 2CFCT-5

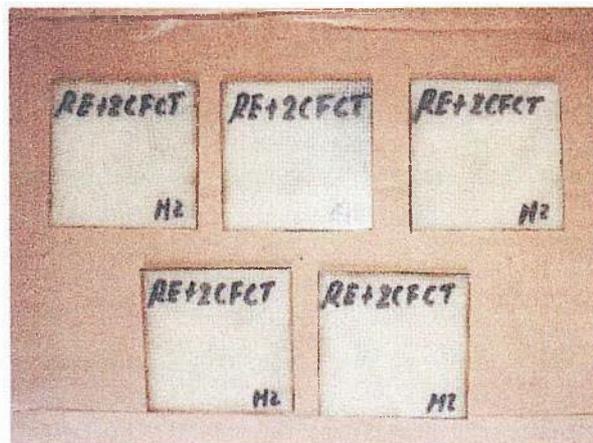
Con la numeración de 1 a 5 en dos grupos (Probetas para Ensayo de Impacto en Material Compuesto de Resina epóxica reforzado con Fibra de cabuya tejida mercerizada); se realizó el ensayo de un total de 10 probetas, de dimensiones de 58 x 58 mm. Todas las probetas presentan superficies lisas.

PROBETAS PARA ENSAYO DE IMPACTO

RE+3CFC



RE+2CFCT

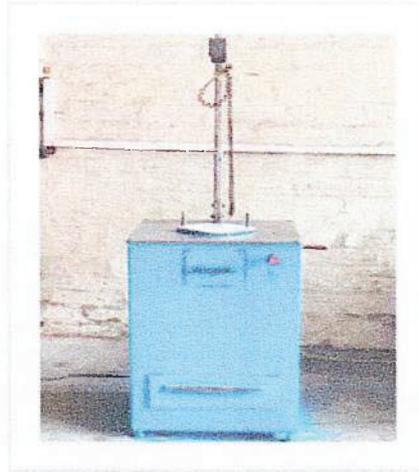


PROCESO GENERAL:

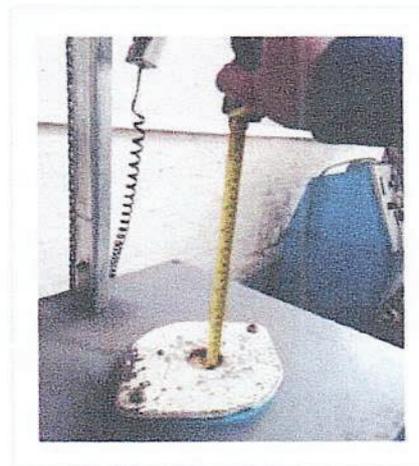
- Determinación de número de especímenes para cada muestra.
- Mantener hermetizadas las muestras hasta el ensayo y marcarlas para su identificación.
- Preparación de la máquina de ensayos para la geometría preestablecida (FA, FB, FC, FD, FE) en este caso para el tipo FE dadas las dimensiones de la probeta.

Geometría	Diámetro de la Probeta mm	Probeta Cuadrada mm
FA	89	89
FB	51	51
FC	140	140
FD	89	89
FE	58	58

- Medición y registro del espesor de cada muestra, el cual se muestra en los resultados del ensayo.
- Realizar la prueba de impacto con probetas de calibración, fuera de los grupos mostrados anteriormente y localizamos el rango de falla del material.
- Se colocan las mordazas utilizando una fuerza que permita la inmovilidad de la probeta al momento del impacto.



- Colocar la masa a la altura preestablecida, según el método de prueba seleccionado.
- Se libera el dardo asegurándonos que golpee justo en el centro de la muestra, impidiendo cualquier rebote del dardo.



- Retirar la muestra y revisar si ha fallado o no. Considerando que una falla es cualquier grieta o ruptura generado por el impacto el cual pueda ser distinguido por el ojo humano bajo luz normal en condiciones normales.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
 MECÁNICA

 Centro de Transferencia y Tecnología
FICHA DE RECOLECCION DE DATOS

DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	25/05/2023	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorios de Materiales		Campus Huachi
Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Ing. Christian Pérez	Supervisado por:	Ing. Sebastián Villegas S.
Tipo de material:	Material polimérico RE+3CFC		Orden: 2023-131
Composición	Resina epóxica reforzado con Fibra de cabuya tejida mercerizada		
PARAMETROS DE ENSAYO			
Tipo de Medición:	Energía Media de impacto (J)	Norma:	ASTM D5628-10
Dimensiones (mm):	58mm x 58mm	Nº de probetas:	5



CODIFICACIÓN (%fibra)	Ancho (mm)	Largo(mm)	Espesor (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Criterio de falla
RE+3CFC-1	58	58	2	0.287	0	150	0.4223	No falla
RE+3CFC-2	58	58	2	0.287	0	300	0.8446	No falla
RE+3CFC-3	58	58	2	0.287	0	450	1.2669	Falla
RE+3CFC-4	58	58	2	0.287	0	600	1.6893	Falla
RE+3CFC-5	58	58	2	0.287	0	700	1.9708	Falla

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
 MECÁNICA

Centro de Transferencia y Tecnología

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS
DATOS INFORMATIVOS:

Fecha:	25/05/2023	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorios de Materiales		Campus Huachi
Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Ing. Christian Pérez	Supervisado por:	Ing. Sebastián Villegas S.
Tipo de material:	Material polimérico RE+2CFCT	Orden:	2023-131
Composición	Resina epóxica reforzado con Fibra de cabuya tejida mercerizada		

PARAMETROS DE ENSAYO

Tipo de Medición:	Energía Media de impacto (J)	Norma:	ASTM D5628-10
Dimensiones (mm):	58mm x 58mm	Nº de probetas:	5



CODIFICACIÓN (%fibra)	Ancho (mm)	Largo(mm)	Espesor (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Criterio de falla
RE+2CFCT-1	58	58	2.5	0.287	0	100	0.2815	No falla
RE+2CFCT-2	58	58	2.5	0.287	0	150	0.4223	No falla
RE+2CFCT-3	58	58	2.5	0.287	0	200	0.5631	No Falla
RE+2CFCT-4	58	58	2.5	0.287	0	400	1.1262	Falla
RE+2CFCT-5	58	58	2.5	0.287	0	600	1.6893	Falla

CONCLUSIONES

- Las probetas RE+3CFC tienen una energía de fallo de 1.6893 J.
- Las probetas RE+2CFCT tienen una energía de fallo de 1.1262 J.
- Todas las probetas se las ensayó con el método de prueba FE y fueron impactadas con un dardo de 0,287 Kg.



REALIZADO POR:
Ing. Christian Pérez
LABORATORIO DE MATERIALES



SUPERVISADO POR:
Ing. Sebastián Villegas S.
TÉCNICO DE LABORATORIO

ANEXO F: Proforma de un retrovisor marca Chevrolet Spark Lt 2008
PROFORMA DE REPUESTOS



30/05/2023
11:43:25

CONTRIBUYENTE ESPECIAL
RUC: 1790009289001

Página 1 de 1

ESTA NO ES UNA FACTURA

Agencia LABRADOR
Nombre VICTOR PATRICIO PACHACAMA NASIMBA
Dirección QUEVEDO CERCA UNIVERSIDAD
Identificación 0104685284001
Telefono / 0986410602

Nro. Proforma **2837647**

Fecha 30/05/2023
Vendedor MICHAEL TACO

N° de Parte	Descripción	Cantidad Solicitada	Cantidad Disponible	% Desc	Precio Venta	Descuento	Precio Final
	ESPEJO EXTERIOR RH/ MANDO INTERIOR	1.00	0.00	0.00	99.42	0.00	99.42

Subtotal	99.42
Descuento	0.00
Imponible	99.42
IVA	11.93
Total	111.35

Usr: mtaco

Solo los textos originales de la CEPE surten efectos jurídicos con arreglo al Derecho internacional público. La situación y la fecha de entrada en vigor del presente Reglamento deben consultarse en la última versión del documento de situación CEPE TRANS/WP.29/343, que puede consultarse en:

<http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29fdocstts.html>.

**Reglamento nº 46 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas:
Prescripciones uniformes sobre la homologación de los dispositivos de visión indirecta y los
vehículos de motor en lo referente a la instalación de dichos dispositivos**

Incluye todo texto válido hasta:

el suplemento 3 de la serie 03 de enmiendas, con fecha de entrada en vigor: 9 de octubre de 2014

el suplemento 1 de la serie 04 de enmiendas, con fecha de entrada en vigor: 9 de octubre de 2014

ÍNDICE

REGLAMENTO

1. Ámbito de aplicación
- I. Dispositivos de visión indirecta
2. Definiciones
3. Solicitud de homologación
4. Marcado
5. Homologación
6. Requisitos
7. Modificación del tipo de dispositivo de visión indirecta y extensión de la homologación
8. Conformidad de la producción
9. Sanciones por la falta de conformidad de la producción
10. Cese definitivo de la producción
11. Nombres y direcciones de los servicios técnicos responsables de realizar los ensayos de homologación y de los organismos de homologación de tipo
- II. Instalación de dispositivos de visión indirecta
12. Definiciones
13. Solicitud de homologación
14. Homologación
15. Requisitos
16. Modificaciones del tipo de vehículo y extensión de la homologación
17. Conformidad de la producción
18. Sanciones por la falta de conformidad de la producción
19. Cese definitivo de la producción
20. Nombres y direcciones de los servicios técnicos responsables de realizar los ensayos de homologación y de los organismos de homologación de tipo
21. Disposiciones transitorias

ANEXOS

1. Ficha de características para la homologación de dispositivos de visión indirecta
2. Ficha de características para la homologación de vehículos en lo referente a la instalación de dispositivos de visión indirecta
3. Notificación relativa a la concesión o a la denegación, la extensión o la retirada de la homologación o al cese definitivo de la producción de un tipo de dispositivo de visión indirecta con arreglo al Reglamento no 46
4. Notificación relativa a la concesión o a la denegación, la extensión o la retirada de la homologación o al cese definitivo de la producción de un tipo de vehículo respecto a la instalación de dispositivos de visión indirecta con arreglo al Reglamento no 46
5. Disposición de la marca de homologación de los dispositivos de visión indirecta
6. Método de ensayo para la determinación de la reflectividad
7. Procedimiento para determinar el radio de curvatura r de la superficie reflectante del retrovisor
8. Procedimiento de determinación del punto H y del ángulo real del torso en las plazas de asiento de los vehículos de motor
9. (Reservado)
10. Cálculo de la distancia de detección
11. Determinación del tamaño del objeto expuesto

1. ÁMBITO DE APLICACIÓN

El presente Reglamento se aplicará:

- a) a los dispositivos obligatorios y optativos de visión indirecta que figuran en el cuadro del apartado 15.2.1.1.1 del presente Reglamento, destinados a ser instalados en vehículos de motor de las categorías M y N⁽¹⁾, y a los dispositivos obligatorios y optativos de visión indirecta que figuran en los apartados 15.2.1.1.3 y 15.2.1.1.4 del presente Reglamento, destinados a ser instalados en vehículos de motor de la categoría L⁽¹⁾ cuyo conductor esté cubierto, al menos parcialmente, por una carrocería;
- b) a la instalación de dispositivos de visión indirecta en vehículos de las categorías M y N y en vehículos de la categoría L⁽¹⁾ cuyo conductor esté cubierto, al menos parcialmente, por una carrocería.

- I. **DISPOSITIVOS DE VISIÓN INDIRECTA**

2. DEFINICIONES

A los efectos del presente Reglamento, se entenderá por:

- 2.1. «Dispositivos de visión indirecta», los dispositivos para observar el área de circulación adyacente al vehículo que no se puede observar de forma directa. Puede tratarse de espejos retrovisores convencionales, cámaras con monitores u otros dispositivos que puedan dar información sobre el campo de visión indirecto del conductor.
 - 2.1.1. «Retrovisor», un dispositivo, exceptuándose dispositivos tales como los periscopios, cuyo fin es garantizar una visibilidad clara hacia atrás, hacia el lateral o hacia delante del vehículo, en los campos de visión definidos en el apartado 15.2.4 del presente Reglamento.
 - 2.1.1.1. «Retrovisor interior», un dispositivo definido en el apartado 2.1 destinado a ser instalado en el interior del habitáculo del vehículo.
 - 2.1.1.2. «Retrovisor exterior», un dispositivo según la definición del apartado 2.1, destinado a ir montado en la superficie exterior del vehículo.

⁽¹⁾ Con arreglo a la definición que figura en la Resolución consolidada sobre la construcción de vehículos (R.E.3), documento ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.2, apartado 2. www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29resolutions.html.

- 2.1.1.3. «Retrovisor de vigilancia», un retrovisor distinto de los definidos en el apartado 2.1.1, destinado a ser instalado en el interior o en el exterior del vehículo para proporcionar campos de visión distintos de los especificados en el apartado 15.2.4 del presente Reglamento.
- 2.1.1.4. «Sistema de soporte de visión», un sistema que permite al conductor detectar o ver objetos en el área adyacente al vehículo.
- 2.1.1.5. « r », la media de los radios de curvatura medidos sobre la superficie reflectante, con arreglo al método descrito en el anexo 7.
- 2.1.1.6. «Radios de curvatura principales en un punto de la superficie reflectante (r_i)», los valores, obtenidos con ayuda del instrumental definido en el anexo 7, y medidos en el arco de la superficie reflectante que pasa por el centro de dicha superficie y paralelo al segmento b , tal como se define en el apartado 6.1.2.1.2.1 del presente Reglamento, y en el arco perpendicular a dicho segmento.

- 2.1.1.7. «Radio de curvatura en un punto de la superficie reflectante (r_p)», la media aritmética de los radios de curvatura principales r_i' y r_i es decir:

$$r_p = \frac{r_i + r_i'}{2}$$

- 2.1.1.8. «Superficie esférica», una superficie que tiene un radio constante e igual en todas las direcciones.
- 2.1.1.9. «Superficie esférica», una superficie que solo tiene un radio constante en un único plano.

- 2.1.1.10. «Retrovisor esférico», un retrovisor con una parte esférica y otra esférica, en el que debe marcarse la transición la parte esférica a la parte esférica en la superficie reflectante. La curvatura del eje principal del retrovisor se define en el sistema de coordenadas x/y por el radio de la envolvente esférica primaria donde:

$$y = R - \sqrt{(R^2 - x^2) + k(x - a)^3}$$

- R: radio nominal de la parte esférica
 k: constante de la variación de curvatura
 a: constante de la dimensión esférica de la envolvente esférica primaria.

- 2.1.1.11. «Centro de la superficie reflectante», el centro de la zona visible de la superficie reflectante.
- 2.1.1.12. «Radio de curvatura de las partes constitutivas del retrovisor», el radio « c » del arco del círculo que más se aproxima a la forma curvada de la parte considerada.
- 2.1.1.13. «Clase de retrovisor», el conjunto de los dispositivos que tienen en común una o más características o funciones. Se clasifican de la manera siguiente:
- clase I: «retrovisor interior», que permite obtener el campo de visión definido en el apartado 15.2.4.1 del presente Reglamento;
 - clases II y III: «retrovisor exterior principal», que permite obtener los campos de visión definidos en los apartados 15.2.4.2 y 15.2.4.3 del presente Reglamento;
 - clase IV: «retrovisor exterior de gran angular», que permite obtener el campo de visión definido en el apartado 15.2.4.4 del presente Reglamento;
 - clase V: «retrovisor exterior de proximidad», que permite obtener el campo de visión definido en el apartado 15.2.4.5 del presente Reglamento;
 - clase VI «Retrovisor frontal», que permite obtener el campo de visión definido en el apartado 15.2.4.6 del presente Reglamento;
 - clase VII: retrovisores destinados a vehículos de la categoría L con carrocería, que permiten obtener el campo de visión definido en el apartado 15.2.4.7 del presente Reglamento.

- 2.1.2. «Dispositivo de visión indirecta con cámara y monitor», un dispositivo como el definido en el apartado 2.1, en el que el campo de visión se obtiene mediante una combinación de cámara y monitor, conforme a las definiciones de los apartados 2.1.2.1 y 2.1.2.2.
- 2.1.2.1. «Cámara», un dispositivo que transmite una imagen del mundo exterior y, posteriormente, convierte esta imagen en una señal (por ejemplo, una señal de vídeo).
- 2.1.2.2. «Monitor», un dispositivo que convierte una señal en imágenes transmitidas en el espectro visual.
- 2.1.2.3. «Detección», la capacidad de distinguir un objeto del medio circundante a una determinada distancia.
- 2.1.2.4. «Contraste de luminancia», la relación de brillo entre un objeto y el medio inmediatamente circundante que permite al objeto distinguirse de este medio.
- 2.1.2.5. «Resolución», el detalle más nimio que puede distinguirse mediante un sistema perceptual, es decir, que puede percibirse de forma separada de un conjunto mayor. La resolución del ojo humano se indica como «agudeza visual».
- 2.1.2.6. «Objeto crítico», un objeto cilíndrico con una altura de 0,50 m y un diámetro de 0,30 m.
- 2.1.2.7. «Percepción crítica», el nivel de percepción que puede obtenerse en condiciones críticas a través del sistema de visualización que se utilice. Esta percepción corresponde a la situación en que la que la escala representativa del objeto crítico es varias veces mayor que el detalle más nimio que pueda percibirse a través del sistema de visualización.
- 2.1.2.8. «Campo de visión», la sección del espacio tridimensional que se controla con ayuda de un dispositivo de visión indirecta. A menos que se indique lo contrario, se basa en la visión a nivel del suelo que ofrecen dispositivos distintos de los retrovisores. Podrá estar limitado por la distancia de detección pertinente que corresponda al objeto crítico.
- 2.1.2.9. «Distancia de detección», la distancia medida desde el centro de la lente de la cámara hasta el punto en el que pueda percibirse un objeto crítico (según la definición de la percepción crítica).
- 2.1.2.10. (Reservado)
- 2.1.2.11. (Reservado)
- 2.1.2.12. «Espectro visual», una luz con una longitud de onda dentro de la amplitud en los límites perceptuales de la visión humana: 380-780 nm.
- 2.1.2.13. «Dispositivo de vigilancia con cámara y monitor de grabación», una cámara y un monitor o un aparato de grabación distinto del dispositivo con cámara y monitor definido en el apartado 2.1.2 que puede instalarse dentro o fuera del vehículo para proporcionar campos de visión distintos de los especificados en el apartado 15.2.4 del presente Reglamento o para proporcionar un sistema de seguridad en el vehículo o alrededor del mismo.
- 2.1.2.14. «Mancha lumínica vertical» o «mancha», barra vertical brillante que aparece en el monitor cuando la lente de la cámara recibe directamente la luz del sol o de otras fuentes de luz brillante. La mancha es un efecto óptico.
- 2.1.3. «Otros dispositivos de visión indirecta», dispositivos definidos en el punto 2.1 en los que el campo de visión no se obtiene mediante un retrovisor o un dispositivo de visión indirecta del tipo con cámara y monitor.
- 2.1.4. «Tipo de dispositivo de visión indirecta», los dispositivos que no difieren entre sí en las características esenciales siguientes:
- diseño del dispositivo, incluida, si procede, la fijación a la carrocería;
 - en el caso de los retrovisores, la clase, forma, dimensiones y radio de curvatura de la superficie reflectante del retrovisor;
 - en el caso de los dispositivos con cámara y monitor, la distancia de detección y el campo de visión.

3. SOLICITUD DE HOMOLOGACIÓN
 - 3.1. La solicitud de homologación de un tipo de dispositivo de visión indirecta será presentada por el titular de la marca de fábrica o comercial o por su representante debidamente autorizado.
 - 3.2. En el anexo 1 figura un modelo de documento de información.
 - 3.3. Para cada tipo de dispositivo de visión indirecta la solicitud irá acompañada de:
 - 3.3.1. En el caso de los retrovisores, cuatro ejemplares de los mismos: tres retrovisores para los ensayos y un retrovisor que conservará el laboratorio para cualquier verificación que pueda ser necesaria más adelante. A petición del laboratorio, podrán exigirse más ejemplares.
 - 3.3.2. En el caso de otros dispositivos de visión indirecta: una muestra de todas las partes.
4. MARCADO
 - 4.1. Las muestras de dispositivos de visión indirecta presentados para su homologación llevarán la marca de fábrica o comercial del fabricante, que será claramente legible e indeleble.
 - 4.2. Los dispositivos tendrán un espacio lo suficientemente grande para que quepa la marca de homologación, que deberá ser legible cuando el dispositivo se haya instalado en el vehículo; dicho espacio figurará en los dibujos mencionados en el anexo 1.
5. HOMOLOGACIÓN
 - 5.1. Si las muestras presentadas para su homologación cumplen los requisitos del apartado 6 del presente Reglamento, se concederá la homologación del tipo pertinente de dispositivo de visión indirecta.
 - 5.2. Se asignará un número de homologación a cada tipo homologado. Los dos primeros dígitos (actualmente 04) indicarán la serie correspondiente de enmiendas que incorpora las últimas modificaciones técnicas importantes del Reglamento en el momento en que se expidió la homologación. La misma Parte Contratante no asignará el mismo número a otro tipo de dispositivo de visión indirecta.
 - 5.3. Se comunicará a las Partes del Acuerdo que apliquen el presente Reglamento la concesión, la denegación, la extensión, o la retirada de la homologación, así como el cese definitivo de la producción, de un tipo de dispositivo de visión indirecta con arreglo al presente Reglamento, por medio de un formulario cuyo modelo figura en el anexo 3 del presente Reglamento.
 - 5.4. Además de la marca prevista en el apartado 4.1, en todos los dispositivos de visión indirecta que se ajusten a un tipo homologado con arreglo al presente Reglamento se colocará, de manera visible y en el espacio mencionado en el apartado 4.2, una marca de homologación internacional consistente en:
 - 5.4.1. un círculo con la letra «E» en su interior, seguido del número que identifica al país que ha concedido la homologación ⁽¹⁾;
 - 5.4.2. un número de homologación;
 - 5.4.3. un símbolo adicional I, II, III, IV, V o VI, especificando la clase a la que pertenece el tipo de retrovisor o el símbolo S en caso de que se trate de un dispositivo de visión indirecta distinto de un retrovisor; el símbolo adicional deberá colocarse cerca del círculo en el que va inscrita la letra «E», en una posición cualquiera con relación a este.
 - 5.5. La marca de homologación y el símbolo adicional deberán ser claramente legibles e indelebles.
 - 5.6. En el anexo 5 del presente Reglamento figura un ejemplo de la disposición de la marca de homologación mencionada y del símbolo adicional.
6. REQUISITOS
 - 6.1. Retrovisores

⁽¹⁾ Los números distintivos de las Partes Contratantes del Acuerdo de 1958 se reproducen en el anexo 3 de la Resolución consolidada sobre la fabricación de vehículos (R.E.3), documento ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.2/Amend.3. www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29resolutions.html.

6.1.1. Requisitos generales

6.1.1.1. Todos los retrovisores serán regulables.

a) Retrovisores exteriores (clases II a III)

El contorno de la superficie reflectante deberá estar rodeado por una carcasa de protección (un reborde, etc.) que, en su perímetro deberá tener en todos los puntos y en todas las direcciones un valor de «c» superior o igual a 2,5 mm. Si la superficie reflectante sobresale la carcasa o envoltura de protección, el radio de curvatura «c» en el contorno de la parte que sobresalga no deberá ser menor de 2,5 mm y la superficie reflectante deberá embutirse en la carcasa de protección con una fuerza de 50 N aplicada en el punto más saliente con relación a dicha carcasa, en una dirección horizontal y aproximadamente paralela al plano longitudinal mediano del vehículo.

b) Retrovisores interiores (clase I)

Cuando el contorno de la superficie reflectante esté rodeado por una carcasa de protección (un reborde, etc.), el radio de curvatura «c» de su perímetro no será inferior a 2,5 mm en todos los puntos y en todas las direcciones. Cuando el contorno de la superficie reflectante sobresalga la carcasa de protección, este requisito se aplicará al contorno de la parte sobresaliente.

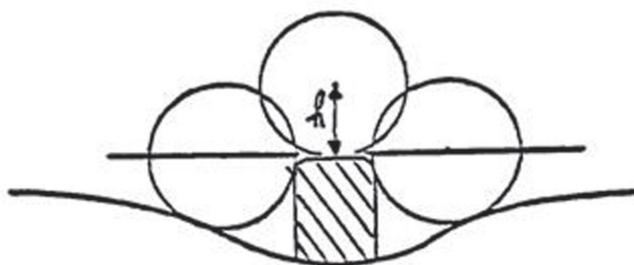
6.1.1.3. Cuando el retrovisor esté montado sobre una superficie plana, todas sus partes, en todas las posiciones de regulación del dispositivo (incluidas las partes que permanezcan unidas al soporte después del ensayo establecido en el apartado 6.1.3.2), que puedan entrar en contacto en condición estática con una esfera de 165 mm de diámetro, si se trata de retrovisores interiores, o de 100 mm de diámetro, si se trata de retrovisores exteriores, deberán tener un radio de curvatura «c» de al menos 2,5 mm.

6.1.1.4. Los requisitos de los apartados 6.1.1.2 y 6.1.1.3 no se aplicarán a las partes de la superficie exterior que sobresalgan menos de 5 mm, pero los ángulos de dichas partes orientados hacia el exterior deberán carecer de filo, salvo que estas partes sobresalgan menos de 1,5 mm. Para determinar las dimensiones de los salientes, se aplicará el método siguiente:

6.1.1.4.1. La dimensión del saliente de un elemento montado sobre una superficie convexa podrá determinarse directamente o por referencia al dibujo de una sección apropiada de dicho elemento instalado.

6.1.1.4.2. Si la dimensión del saliente de un elemento montado sobre una superficie no convexa no pudiera determinarse por simple medición, se determinará por la variación máxima de la distancia entre el centro de una esfera de 100 mm de diámetro y la línea nominal de la superficie cuando la esfera se desplace permaneciendo constantemente en contacto con dicho elemento. La figura 1 muestra un ejemplo de cómo utilizar dicho método.

Figura 1



6.1.1.5. Las especificaciones del apartado 6.1.1.3 respecto al radio no se aplicarán a los bordes de los orificios o muescas de fijación cuyo mayor diámetro o cuya mayor diagonal sea inferior a 12 mm y que carezcan de filo.

- 6.1.1.6. El dispositivo de fijación de los retrovisores en el vehículo deberá diseñarse de tal forma que el eje de un cilindro de 70 mm de radio (50 mm en el caso de un vehículo de la categoría L) y cuyo eje sea el eje, o uno de los ejes, de giro o de rotación que permiten al retrovisor ceder en la dirección de impacto de que se trate, corte al menos parcialmente la superficie a la que vaya fijado el dispositivo.
- 6.1.1.7. Las especificaciones correspondientes no se aplicarán a las piezas de los retrovisores exteriores contempladas en los apartados 6.1.1.2 y 6.1.1.3, y fabricadas en material cuya dureza Shore A sea inferior o igual a 60.
- 6.1.1.8. En el caso de las piezas de los retrovisores interiores fabricadas con material cuya dureza Shore A sea inferior a 50 y que estén montadas en un soporte rígido, las especificaciones de los apartados 6.1.1.2 y 6.1.1.3 se aplicarán únicamente a dicho soporte.

6.1.2. Especificaciones especiales

6.1.2.1. Dimensiones

6.1.2.1.1. Retrovisores interiores (clase I)

La superficie reflectante deberá tener unas dimensiones que permitan inscribir en ella un rectángulo, uno de cuyos lados medirá 40 mm y el otro, «a» mm de longitud, donde:

$$a = 150 \times \frac{1}{1 + \frac{1000}{r}} \text{ mm}$$

y «r» es el radio de curvatura.

6.1.2.1.2. Retrovisores exteriores principales (clases II y III)

6.1.2.1.2.1. La superficie reflectante deberá tener unas dimensiones que permitan inscribir en ella:

- un rectángulo de 40 mm de altura y cuya base, expresada en mm, tenga la longitud del valor «a»;
- un segmento paralelo a la altura del rectángulo y cuya longitud, expresada en mm, tenga el valor «b».

6.1.2.1.2.2. Los valores mínimos de «a» y «b» son los que figuran en el siguiente cuadro:

Clases de retrovisores	a (mm)	b (mm)
II	$\frac{170}{1 + \frac{1000}{r}}$	200
III	$\frac{130}{1 + \frac{1000}{r}}$	70

6.1.2.1.3. Retrovisores exteriores de gran angular (clase IV)

La superficie reflectante deberá tener una forma geométrica simple y dimensiones tales que su empleo permita obtener el campo de visión establecido en el apartado 15.2.4.4 del presente Reglamento, si fuera necesario, en conjunción con un retrovisor exterior de clase II.

6.1.2.1.4. Retrovisores exteriores de proximidad (clase V)

La superficie reflectante deberá tener una forma geométrica simple y dimensiones tales que el retrovisor permita obtener el campo de visión establecido en el apartado 15.2.4.5 del presente Reglamento.

6.1.2.1.5. Retrovisores frontales (clase VI)

La superficie reflectante deberá tener una forma geométrica simple y dimensiones tales que el retrovisor permita obtener el campo de visión establecido en el apartado 15.2.4.6 del presente Reglamento.

6.1.2.1.6. Retrovisores para vehículos de la categoría L con carrocería (clase VII)

6.1.2.1.6.1. Retrovisores exteriores «principales» (clase VII)

Las dimensiones mínimas de la superficie reflectante serán las necesarias para que:

- a) la zona luminosa no sea inferior a 6 900 mm²;
- b) en los retrovisores circulares, el diámetro no sea inferior a 94 mm;
- c) en los retrovisores no circulares, las dimensiones permitan inscribir un círculo de un diámetro de 78 mm en la superficie reflectante.

Las dimensiones máximas de la superficie reflectante serán las necesarias para que:

- a) en los retrovisores circulares, el diámetro no supere los 150 mm;
- b) la superficie reflectante de los retrovisores no circulares se sitúe en un rectángulo que mida 120 mm x 200 mm.

6.1.2.2. Superficie reflectante y coeficiente de reflexión

6.1.2.2.1. La superficie reflectante de un retrovisor deberá ser plana o esférica convexa. Los retrovisores exteriores podrán estar equipados con una parte esférica suplementaria, siempre que el retrovisor principal cumpla los requisitos del campo de visión indirecta.

6.1.2.2.2. Diferencias entre los radios de curvatura de los retrovisores

6.1.2.2.2.1. La diferencia entre r_i o r_i' y r_p en cada punto de referencia no deberá ser superior a 0,15 r.

6.1.2.2.2.2. La diferencia entre cualquiera de los radios de curvatura (r_{p1} , r_{p2} , y r_{p3}) y r no deberá ser superior a 0,15 r.

6.1.2.2.2.3. Cuando «r» no sea inferior a 3 000 mm, el valor de 0,15 r citado en los apartados 6.1.2.2.2.1 y 6.1.2.2.2.2 se sustituirá por 0,25 r.

6.1.2.2.3. Requisitos relativos a las partes esféricas de los retrovisores

6.1.2.2.3.1. Los retrovisores esféricos deberán tener unas dimensiones y una configuración suficientes para ofrecer información útil al conductor. Esto significa, normalmente, una anchura mínima de 30 mm en algún punto.

6.1.2.2.3.2. El radio de curvatura r_i de la parte esférica no deberá ser inferior a 150 mm.

6.1.2.2.4. El valor de «r» de los retrovisores esféricos no deberá ser inferior a:

6.1.2.2.4.1. 1 200 mm en los retrovisores interiores (clase I);

6.1.2.2.4.2. 1 200 mm en los retrovisores exteriores principales de clase II y III;

6.1.2.2.4.3. 300 mm en los retrovisores exteriores de gran angular (clase IV) y en los retrovisores exteriores de proximidad (clase V);

6.1.2.2.4.4. 200 mm en los retrovisores frontales (clase VI).

6.1.2.2.4.5. 1 000 mm o más de 1 500 mm en los retrovisores de clase VII.

6.1.2.2.5. El valor del coeficiente de reflexión normal, determinado con el método descrito en el anexo 6, no deberá ser inferior al 40 %.

Si la superficie reflectante tuviera un cierto grado de reflexión, la posición «día» permitirá reconocer los colores de las señales utilizadas para el tráfico por carretera. El valor del coeficiente de reflexión normal en la posición «noche» no deberá ser inferior al 4 %.

6.1.2.2.6. La superficie reflectante deberá conservar las características establecidas en el apartado 6.1.2.2.5 a pesar de una exposición prolongada a los agentes atmosféricos en condiciones normales de utilización.

6.1.3. Prueba

6.1.3.1. Los retrovisores de clase I a VI y los de clase VII equipados con accesorios idénticos a los de clase III se someterán a los ensayos descritos en los apartados 6.1.3.2.1 y 6.1.3.2.2. Los retrovisores de clase VII con brazo de sujeción se someterán a los ensayos descritos en el apartado 6.1.3.2.3.

6.1.3.1.1. En los retrovisores exteriores que se encuentren como mínimo a 2 m del suelo en todas sus partes, cualquiera que sea la regulación adoptada, cuando el vehículo tenga una carga correspondiente a la masa máxima técnicamente autorizada, no será necesario el ensayo establecido en el apartado 6.1.3.2.

La excepción anterior será también aplicable cuando algunos elementos de fijación de los retrovisores (placas de fijación, brazos, rótulas, etc.) estén situados a menos de 2 m del suelo y no rebasen la anchura total del vehículo, medida en el plano vertical transversal que pasa por los elementos de fijación más bajos del retrovisor o por cualquier otro punto anterior a dicho plano en caso de que esta última configuración dé una anchura exterior mayor.

En tales casos, deberá presentarse una descripción que precise que el retrovisor ha de montarse de tal manera que el emplazamiento de sus elementos de montaje en el vehículo concuerde con el descrito más arriba.

Cuando se recurra a esta excepción, el brazo deberá marcarse de forma indeleble con el símbolo

Δ
2m

y el certificado de homologación deberá contener una mención a este efecto.

6.1.3.2. Ensayo de impacto

El ensayo definido en el presente apartado no se efectuará cuando se trate de dispositivos integrados en la carrocería del vehículo y que formen una zona frontal de deflexión con un ángulo igual o inferior a 45°, medido en relación con el plano mediano longitudinal del vehículo, o dispositivos que no sobresalgan más de 100 mm en relación con la carrocería circundante del vehículo, con arreglo al Reglamento nº 26.

6.1.3.2.1. Descripción del dispositivo de ensayo

6.1.3.2.1.1. El dispositivo de ensayo estará formado por un péndulo que pueda oscilar alrededor de dos ejes horizontales perpendiculares entre sí, uno de los cuales será perpendicular al plano que contenga la trayectoria de lanzamiento del péndulo.

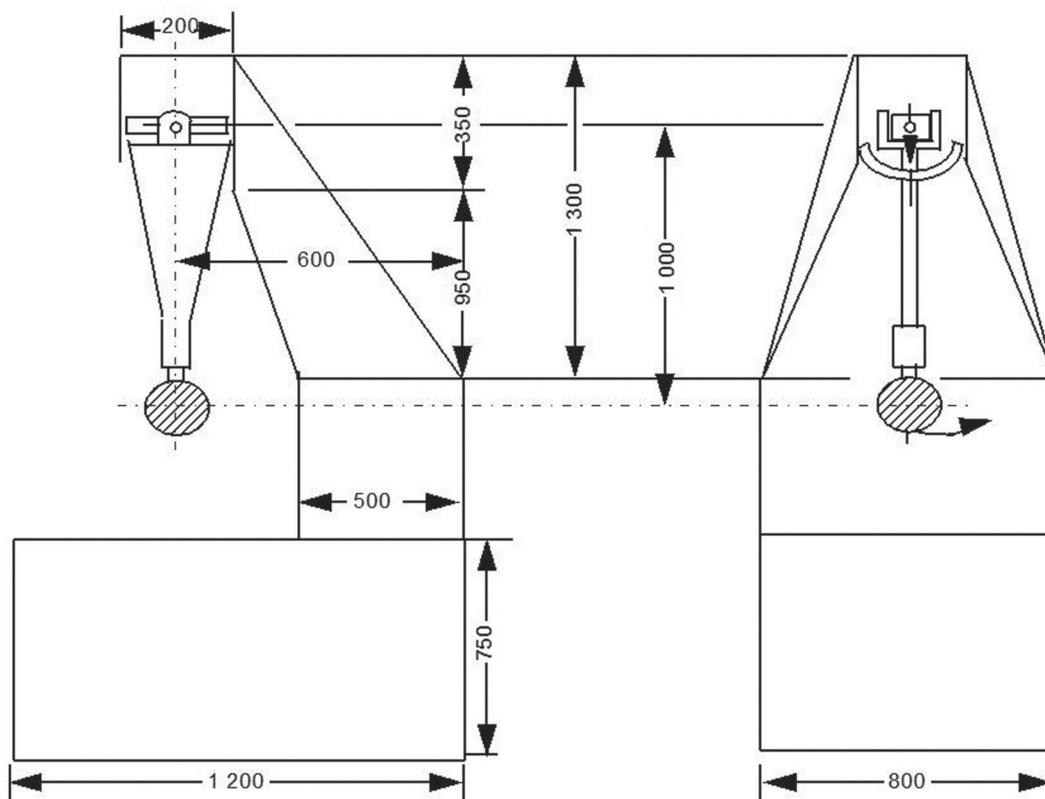
El extremo del péndulo llevará un martillo formado por una esfera rígida de un diámetro de 165 ± 1 mm y recubierta por una capa de 5 mm de espesor de caucho de dureza Shore A 50.

Deberá haber un dispositivo que permita determinar el ángulo máximo trazado por el brazo en el plano de lanzamiento.

Un soporte fijado rígidamente al armazón del péndulo servirá para fijar las muestras en las condiciones de impacto precisadas en el apartado 6.1.3.2.2.6.

La figura 1 siguiente indica las dimensiones (en mm) del dispositivo de ensayo y los detalles de construcción.

Figura 1



- 6.1.3.2.1.2. El centro de percusión del péndulo coincidirá con el centro de la esfera que constituye el martillo. Su distancia «1» al eje de oscilación en el plano de lanzamiento será igual a $1\text{ m} \pm 5\text{ mm}$. La masa reducida del péndulo será de $m_0 = 6,8 \pm 0,05$ kilogramos. La relación de m_0 con la masa total «m» del péndulo y con la distancia «d» existente entre el centro de gravedad del péndulo y su eje de rotación se expresa en la ecuación siguiente:

$$m_0 = m \times \frac{d}{l}$$

- 6.1.3.2.2. Descripción del ensayo

- 6.1.3.2.2.1. La fijación del retrovisor en el soporte se realizará por el procedimiento indicado por el fabricante del dispositivo o, en su caso, por el constructor del vehículo.

- 6.1.3.2.2.2. Orientación del retrovisor para el ensayo:

- 6.1.3.2.2.2.1. Los retrovisores se colocarán en el dispositivo de ensayo de péndulo de manera que estén situados en una posición similar a la que estarían en posición horizontal y vertical si el retrovisor estuviera montado en el vehículo de acuerdo con las instrucciones de montaje previstas por el solicitante.

- 6.1.3.2.2.2.2. Cuando un retrovisor sea regulable con relación a su base, el ensayo deberá efectuarse en la posición en la que el retrovisor ofrezca la mayor resistencia a la pivotación, dentro de los límites de regulación del dispositivo previstos por el solicitante.

- 6.1.3.2.2.2.3. Cuando el retrovisor contenga un dispositivo para regular la distancia respecto a la base, dicho dispositivo deberá colocarse en la posición en que sea más corta la distancia entre la carcasa y la base.

6.1.3.2.2.2.4. Cuando la superficie reflectante sea móvil dentro de la carcasa, la regulación deberá ser tal que su ángulo superior más alejado del vehículo esté en la posición más saliente con relación a la carcasa.

6.1.3.2.2.3. Excepto en el ensayo 2 para los retrovisores interiores (véase el apartado 6.1.3.2.2.6.1), el péndulo estará en posición vertical y los planos horizontal y longitudinal vertical que pasan por el centro del martillo deberán pasar por el centro de la superficie reflectante, tal como se define en el apartado 2.1.1.11 del presente Reglamento. La dirección longitudinal de oscilación del péndulo deberá ser paralela al plano longitudinal mediano del vehículo.

6.1.3.2.2.4. Cuando, en las condiciones de regulación previstas en los apartados 6.1.3.2.2.1 y 6.1.3.2.2.2, los elementos del retrovisor limiten el retorno del martillo, el punto de impacto deberá desplazarse en una dirección perpendicular al eje de rotación o de giro considerado.

Dicho desplazamiento deberá ser el estrictamente necesario para la realización del ensayo. Deberá limitarse de tal manera que:

- a) o bien la esfera que delimita el martillo sea por lo menos tangente al cilindro conforme a lo dispuesto en el apartado 6.1.1.6;
- b) o el punto de contacto con el martillo tenga lugar a una distancia de al menos 10 mm del perímetro de la superficie reflectante.

6.1.3.2.2.5. El ensayo consistirá en dejar caer el martillo desde una altura correspondiente a un ángulo de 60° del péndulo con relación a la vertical, de manera que el martillo choque con el retrovisor en el momento en que el péndulo alcance la posición vertical.

6.1.3.2.2.6. Los retrovisores se golpearán en las diversas condiciones siguientes:

6.1.3.2.2.6.1. Retrovisores interiores

- a) Ensayo 1: los puntos de impacto serán los que se indican en el apartado 6.1.3.2.2.3. El martillo deberá golpear el retrovisor en el lado de la superficie reflectante.
- b) Ensayo 2: el martillo deberá golpear al retrovisor en el borde de la carcasa de protección, de tal manera que el impacto producido forme un ángulo de 45° con el plano de la superficie reflectante y esté situado en el plano horizontal que pasa por el centro de dicha superficie. El impacto deberá producirse en el lado de la superficie reflectante.

6.1.3.2.2.6.2. Retrovisores exteriores

- a) Ensayo 1: el punto de impacto será el que se indica en los apartados 6.1.3.2.2.3 o 6.1.3.2.2.4. El martillo deberá golpear el retrovisor en el lado de la superficie reflectante.
- b) Ensayo 2: el punto de impacto será el que se indica en los apartados 6.1.3.2.2.3 o 6.1.3.2.2.4. El martillo deberá golpear el retrovisor en el lado opuesto al de la superficie reflectante.

Cuando se trate de retrovisores de clase II o III que estén fijados en un brazo común con retrovisores de clase IV, los citados ensayos se efectuarán con el retrovisor inferior. No obstante, el servicio técnico encargado de los ensayos podrá repetir los mismos, o uno de ellos, en el retrovisor superior, si este estuviese situado a menos de 2 m del suelo.

6.1.3.2.3. Ensayo de flexión de la carcasa de protección unida al brazo (clase VII)

6.1.3.2.3.1. Descripción del ensayo

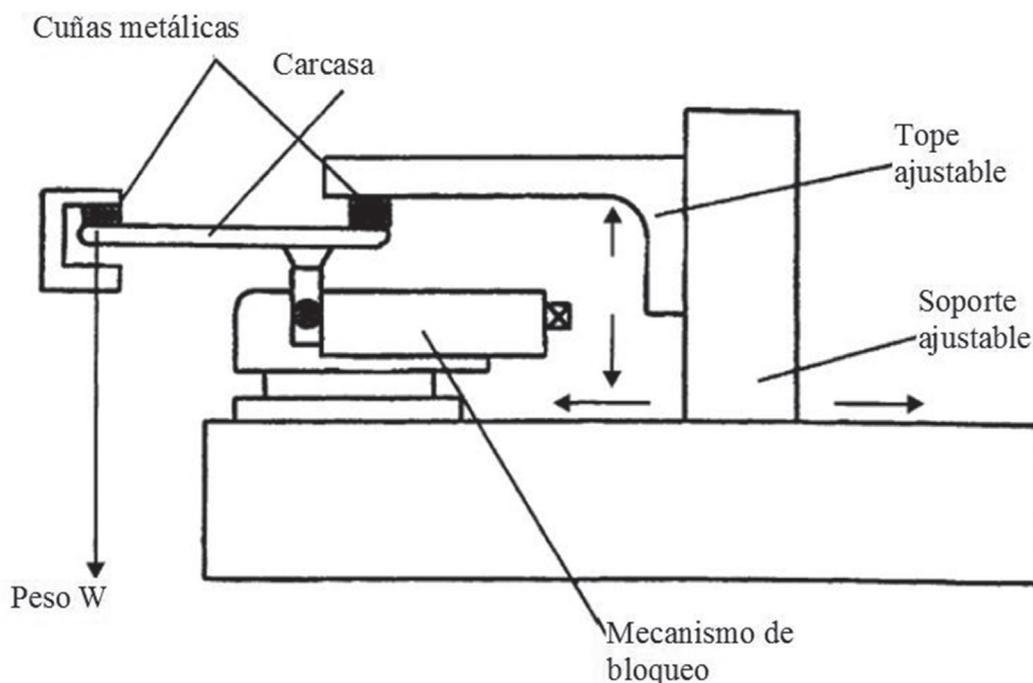
La carcasa de protección se colocará horizontalmente en un dispositivo de manera que sea posible bloquear completamente los elementos de ajuste del soporte de fijación. Se inmovilizará el extremo más cercano al punto de fijación en el elemento de ajuste del soporte mediante un tope rígido de 15 mm de ancho que cubra toda la anchura de la carcasa en el sentido de la dimensión mayor de la carcasa.

En el otro extremo, se colocará en la carcasa otro tope idéntico al anteriormente descrito para aplicar sobre este la carga de ensayo prevista (figura 2).

Se podrá fijar el extremo de la carcasa opuesto a aquel sobre el que se ejerce la fuerza en vez de mantenerlo en su posición, como muestra la figura 2.

Figura 2

Ejemplo de dispositivo para el ensayo de flexión de los retrovisores



6.1.3.2.3.2. La carga de ensayo será de 25 kilogramos. Se mantendrá durante un minuto.

6.1.3.3. Resultados de los ensayos

6.1.3.3.1. En los ensayos previstos en el apartado 6.1.3.2, el péndulo deberá continuar su movimiento tras el impacto de tal manera que la proyección sobre el plano de lanzamiento de la postura tomada por el brazo forme un ángulo de al menos 20° con la vertical. La precisión de medida del ángulo será de $\pm 1^\circ$.

6.1.3.3.1.1. Dicha prescripción no se aplicará a los retrovisores sujetos por encolado al parabrisas, a los que se aplicará, después del ensayo, la prescripción establecida en el apartado 6.1.3.3.2.

6.1.3.3.1.2. El ángulo con la vertical requerido se reducirá de 20° a 10° para todos los retrovisores de clase II y IV, y para los retrovisores de clase III que vayan fijados en un brazo común con retrovisores de clase IV.

6.1.3.3.2. En caso de ruptura del soporte del retrovisor durante los ensayos previstos en el apartado 6.1.3.2 para los retrovisores sujetos por encolado al parabrisas, la parte restante no deberá presentar, con relación al apoyo, ninguna protuberancia de más de 10 mm y la configuración después del ensayo deberá reunir las condiciones del apartado 6.1.3.3 del presente Reglamento.

6.1.3.3.3. Durante los ensayos contemplados en el apartado 6.1.3.2, la superficie reflectante no deberá romperse. No obstante, se admitirá una ruptura de la superficie reflectante si se diera una de las condiciones siguientes:

6.1.3.3.3.1. que los fragmentos de cristal queden adheridos al fondo de la carcasa o a una superficie unida sólidamente a esta; no obstante, se admitirá un despegue parcial del cristal con la condición de que no sea superior a 2,5 mm en ambas partes de las grietas; se admitirá que se desprendan pequeños fragmentos de la superficie del cristal en el punto de impacto;

6.1.3.3.3.2. que la superficie reflectante sea de cristal de seguridad.

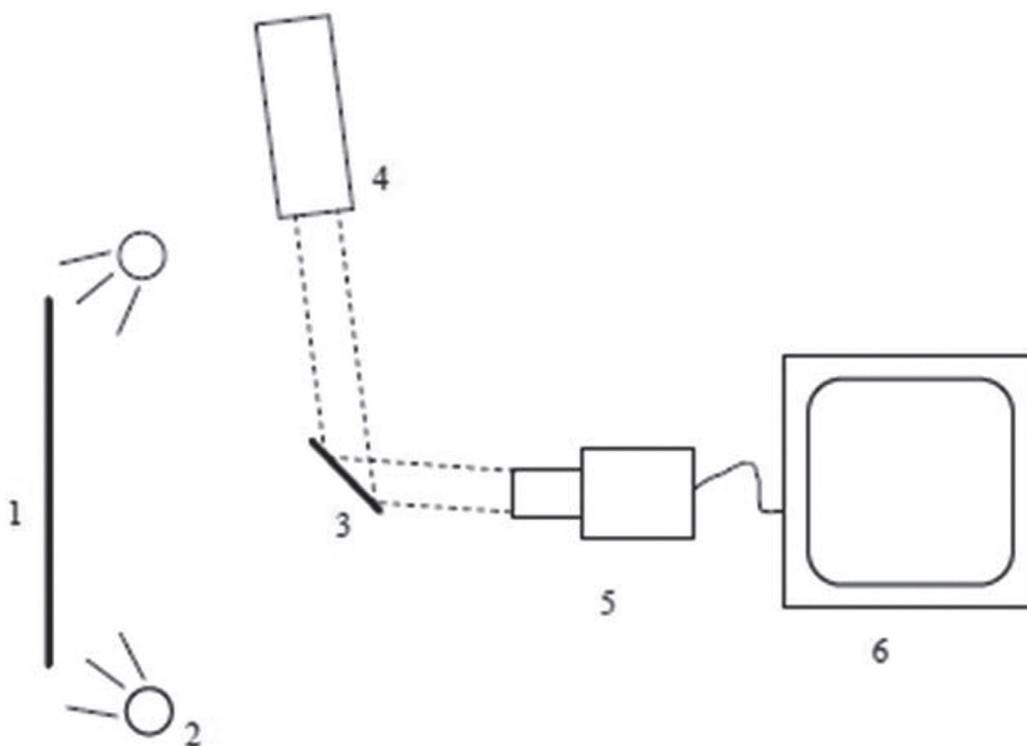
6.2. Dispositivos de visión indirecta distintos de los retrovisores

6.2.1. Obligaciones generales

- 6.2.1.1. Si se requiere que el usuario regule el dispositivo de visión indirecta, este ajuste se hará sin recurrir a herramientas.
- 6.2.1.2. Si un dispositivo de visión indirecta solo puede transmitir el campo de visión total especificado mediante barrido, la totalidad del proceso de barrido, transmisión y restablecimiento de la posición inicial no deberá durar más de dos segundos.
- 6.2.2. Dispositivos de visión indirecta con cámara y monitor
- 6.2.2.1. Obligaciones generales
- 6.2.2.1.1. Cuando el dispositivo de visión indirecta con cámara y monitor esté montado sobre una superficie plana, todas sus partes, en todas las posiciones de regulación del dispositivo, que puedan entrar en contacto en condición estática con una esfera de 165 mm de diámetro, si se trata de un monitor, o de 100 mm de diámetro, si se trata de una cámara, deberán tener un radio de curvatura «C» de al menos 2,5 mm.
- 6.2.2.1.2. Las especificaciones del apartado 6.1.1.3 respecto al radio no se aplicarán a los bordes de los orificios o muescas de fijación cuyo mayor diámetro o cuya mayor diagonal sea inferior a 12 mm y que carezcan de filo.
- 6.2.2.1.3. En el caso de las partes de la cámara y del monitor fabricadas con material cuya dureza Shore A sea inferior a 60 y que estén montadas en un soporte rígido, las especificaciones del apartado 6.2.2.1.1 se aplicarán únicamente a dicho soporte.
- 6.2.2.2. Requisitos funcionales
- 6.2.2.2.1. La cámara deberá funcionar correctamente en condiciones en las que la luz solar incida en la cámara. La zona saturada, definida como la zona en la que la relación del contraste de luminancia ($C = L_w/L_b$) de un patrón de contraste elevado se sitúe por debajo de 2,0, no deberá cubrir más del 15 por ciento de la imagen visible en las condiciones que se estipulan en los apartados 6.2.2.2.1.1 a 6.2.2.2.1.4 siguientes.
- En caso de que el sistema de cámaras muestre cambios dinámicos en la zona sometida al «borrón lumínico» (efecto *blooming*) durante el ensayo, la zona máxima de distorsión debe cumplir este requisito.
- 6.2.2.2.1.1. Se colocará delante de la cámara un patrón de ensayo en blanco y negro con una relación de contraste mínima de 20.
- El patrón de ensayo contará con una iluminación uniforme de $3\,000 \pm 300$ lux.
- El patrón de ensayo será, de media, de color gris intermedio y cubrirá todo el campo visual de la cámara; la cámara, a su vez, no visualizará más objetos que el patrón de ensayo.
- 6.2.2.2.1.2. La cámara se expondrá a una luz solar simulada de 40 kLx que abarque un ángulo de entre 0,6 y 0,9 grados y se eliminará un ángulo de elevación de 10 grados (directa o indirectamente a través de un retrovisor) del eje óptico del sensor.
- La fuente luminosa deberá:
- a) tener un espectro D65 con una tolerancia de $\pm 1\,500$ K;
- b) ser homogénea en espacio y tiempo dentro de una tolerancia de 2 kLx.
- La emisión de la fuente luminosa en infrarrojo será insignificante.
- 6.2.2.2.1.3. No habrá iluminación ambiente del monitor durante el ensayo.
- 6.2.2.2.1.4. En la figura A que se presenta a continuación se ofrece un ejemplo de la configuración.

Figura A

Diagrama de la configuración para la medición del borrón lumínico



- 1.: Patrón de ensayo en blanco y negro
- 2.: Lámparas para que el patrón de ensayo esté iluminado de modo uniforme.
- 3.: Retrovisor
- 4.: Luz de alta intensidad
- 5.: Cámara
- 6.: Monitor

6.2.2.2.2. El monitor tendrá un contraste mínimo, en distintas condiciones de iluminación, según se especifica en la norma ISO 15008:2003.

6.2.2.2.3. Deberá ser posible ajustar la luminancia media del monitor, ya sea manual o automáticamente, a las condiciones ambiente.

6.2.2.2.4. Las medidas del contraste de luminancia se efectuarán con arreglo a la norma ISO 15008:2009.

6.2.3. Otros dispositivos de visión indirecta

Deberá demostrarse que el dispositivo cumple las especificaciones siguientes:

6.2.3.1. El dispositivo percibirá el espectro visual y siempre restituirá esta imagen sin necesidad de interpretarlo.

6.2.3.2. La funcionalidad se garantizará en las circunstancias de uso en las que funcionará el sistema. En función de la tecnología empleada para obtener y presentar las imágenes, el apartado 6.2.2.2 se aplicará total o parcialmente. En otros casos, esto se logrará estableciendo y demostrando, mediante un sistema cuya sensibilidad sea semejante a la del contemplado en el apartado 6.2.2.2, que está asegurada una función dada, de manera comparable o mejor de lo requerido, y que se garantiza una funcionalidad equivalente o mejor a la requerida para dispositivos de visión indirecta de tipo retrovisor o con cámara y monitor.

7. MODIFICACIÓN DEL TIPO DE DISPOSITIVO DE VISIÓN INDIRECTA Y EXTENSIÓN DE LA HOMOLOGACIÓN
- 7.1. Cualquier modificación de tipo del dispositivo de visión indirecta, incluida su fijación a la carrocería, se notificará al organismo de homologación de tipo que homologó el tipo de dispositivo de visión indirecta. En tal caso, el organismo de homologación de tipo podrá:
- decidir, en consulta con el fabricante, que debe concederse una nueva homologación de tipo, o
 - aplicar el procedimiento que se recoge en el apartado 7.1.1 (revisión) y, si procede, el procedimiento previsto en el apartado 7.1.2 (extensión).
- 7.1.1. Revisión
- Cuando hayan cambiado los datos registrados en la ficha de homologación y el organismo de homologación de tipo considere improbable que las modificaciones realizadas tengan consecuencias negativas apreciables y que, en cualquier caso, el dispositivo de visión indirecta sigue cumpliendo los requisitos correspondientes, la modificación será considerada una «revisión».
- En estos casos, el organismo de homologación de tipo deberá expedir las páginas revisadas de la ficha de homologación, según proceda, señalando claramente en cada página revisada qué tipo de cambio se ha producido y en qué fecha tuvo lugar la nueva emisión. Se considerará cumplido este requisito mediante una copia consolidada y actualizada de la ficha de homologación que lleve adjunta una descripción detallada de los cambios.
- 7.1.2. Extensión
- La modificación se considerará una «extensión» si, además de la modificación de los datos registrados en la ficha de homologación,
- deben realizarse nuevas inspecciones o nuevos ensayos, o
 - ha cambiado cualquier información de la notificación (a excepción de sus documentos adjuntos), o
 - se pide la homologación de una serie posterior de enmiendas después de su entrada en vigor.
- 7.2. La confirmación o denegación de la homologación se comunicará, mediante el procedimiento indicado en el apartado 5.3, a las Partes en el Acuerdo que apliquen el presente Reglamento, especificándose las modificaciones. Además, el índice del expediente de homologación, que debe adjuntarse a la notificación, se modificará en consecuencia para que conste la fecha de la extensión o revisión más reciente.
- 7.3. (Reservado)
- 7.4. El organismo de homologación de tipo que otorgue la extensión de la homologación asignará un número de serie a cada formulario de comunicación emitido para dicha extensión.
8. CONFORMIDAD DE LA PRODUCCIÓN
- 8.1. El procedimiento de conformidad de la producción se ajustará a los establecidos en el apéndice 2 del Acuerdo- (E/ECE/324-E/ECE/TRANS/505/Rev.2).
- 8.2. Todo dispositivo de visión indirecta homologado con arreglo al presente Reglamento será fabricado de conformidad con el tipo homologado cumpliendo las prescripciones expuestas en el apartado 6.
9. SANCIONES POR LA FALTA DE CONFORMIDAD DE LA PRODUCCIÓN
- 9.1. La homologación concedida a un tipo de dispositivo de visión indirecta con arreglo al presente Reglamento podrá retirarse si no se cumplen los requisitos establecidos en el apartado 8.1 o si el tipo de dispositivo no se ajusta a los requisitos que se establecen en el apartado 8.2.
- 9.2. Si una Parte en el Acuerdo que aplica el presente Reglamento retira una homologación anteriormente concedida, lo notificará inmediatamente a las demás Partes Contratantes que apliquen el presente Reglamento mediante una copia del formulario de comunicación con la indicación «HOMOLOGACIÓN RETIRADA», firmada y fechada, que figurará en grandes caracteres al final del mismo.

10. CESE DEFINITIVO DE LA PRODUCCIÓN

Si el titular de una homologación cesa por completo de fabricar un tipo de dispositivo de visión indirecta homologado con arreglo al presente Reglamento, informará inmediatamente de ello al organismo de homologación de tipo que le haya concedido la homologación. Tras la recepción de la correspondiente notificación, dicho organismo informará de ello a las demás Partes del Acuerdo que apliquen el presente Reglamento mediante una copia del formulario de homologación con la indicación «CESE DE PRODUCCIÓN», firmada y fechada, que figurará en grandes caracteres al final del mismo.

11. NOMBRES Y DIRECCIONES DE LOS SERVICIOS TÉCNICOS RESPONSABLES DE REALIZAR LOS ENSAYOS DE HOMOLOGACIÓN Y DE LOS ORGANISMOS DE HOMOLOGACIÓN DE TIPO

Las Partes del Acuerdo de 1958 que apliquen el presente Reglamento comunicarán a la Secretaría de las Naciones Unidas los nombres y las direcciones de los servicios técnicos responsables de la realización de los ensayos de homologación y de los organismos de homologación de tipo que concedan la homologación y a los cuales deberán enviarse los certificados de concesión, extensión, denegación o retirada de la homologación expedidos en otros países.

II. INSTALACIÓN DE DISPOSITIVOS DE VISIÓN INDIRECTA

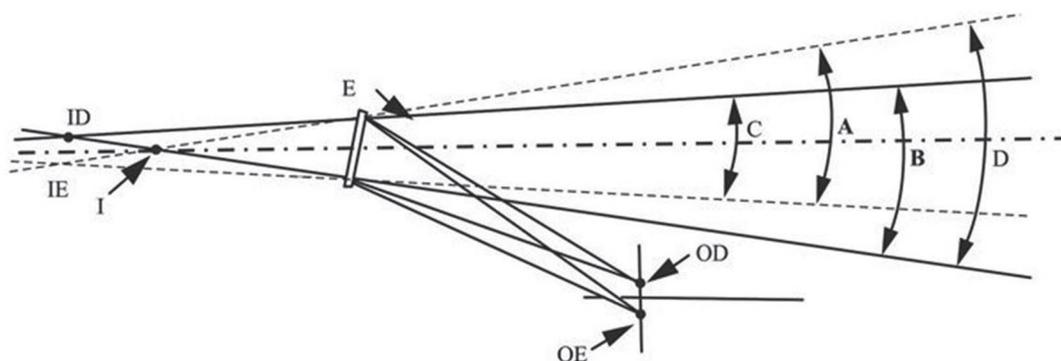
12. DEFINICIONES

A efectos del presente Reglamento, se entenderá por:

12.1. «Puntos oculares del conductor», dos puntos distantes entre sí 65 mm, situados verticalmente a 635 mm por encima del punto R, correspondiente a la plaza del conductor y definido en el anexo 8. La recta que los une es perpendicular al plano vertical longitudinal mediano del vehículo. El centro del segmento que tenga por extremidades los dos puntos oculares estará situado en un plano vertical longitudinal que debe pasar por el centro del asiento del conductor, tal como indique el fabricante del vehículo.

12.2. «Visión ambinocular», la totalidad del campo de visión obtenido por la superposición de los campos monoculares del ojo derecho y del ojo izquierdo (véase la figura 3 siguiente):

Figura 3



- E = retrovisor interior
 OD = ojos del conductor
 OE = ojos del conductor
 ID = imágenes monoculares virtuales
 IE = imágenes monoculares virtuales
 I = imagen ambinocular virtual
 A = ángulo de visión del ojo izquierdo
 B = ángulo de visión del ojo derecho
 C = ángulo de visión binocular
 D = ángulo de visión ambinocular

- 12.3. «Tipo de vehículo en lo referente a la visión indirecta», los vehículos de motor que no presenten entre sí diferencias en cuanto a los elementos esenciales siguientes:
- 12.3.1. el tipo de dispositivo de visión indirecta;
- 12.3.2. las características de la carrocería que reducen el campo de visión;
- 12.3.3. las coordenadas del punto R (en su caso);
- 12.3.4. las posiciones prescritas y las marcas de homologación de los dispositivos de visión indirecta obligatorios y facultativos (si los hubiera).
- 12.4. «Vehículos de las categorías L₂, L₅, M₁, M₂, M₃, N₁, N₂ y N₃», los vehículos de estas categorías según la definición que figura en la Resolución consolidada sobre la construcción de vehículos (R.E.3) (documento TRANS/WP.29/78/Rev.2, apartado 2).
- 12.5. «Conducción avanzada», la configuración en la que más de la mitad de la longitud del motor se halle situada por detrás del punto más avanzado de la base del parabrisas, y el eje del volante, en el cuarto anterior de la longitud del vehículo.
13. SOLICITUD DE HOMOLOGACIÓN
- 13.1. El fabricante del vehículo o su representante debidamente acreditado deberán presentar la solicitud de homologación de un tipo de vehículo en lo que concierne a la instalación de dispositivos de visión indirecta.
- 13.2. En el anexo 2 figura un modelo de ficha de características.
- 13.3. Se facilitará al servicio técnico encargado de llevar a cabo los ensayos de homologación un vehículo representativo del tipo cuya homologación se solicite.
- 13.4. El organismo de homologación de tipo comprobará la existencia de disposiciones adecuadas que garanticen un control eficaz de la conformidad de la producción previamente a la concesión de la homologación.
14. HOMOLOGACIÓN
- 14.1. Si el tipo de vehículo presentado para su homologación con arreglo al apartado 13 satisface los requisitos del apartado 15 del presente Reglamento, deberá concederse su homologación.
- 14.2. Se asignará un número de homologación a cada tipo homologado. Los dos primeros dígitos (actualmente 04) indicarán la serie de enmiendas que incorporan las últimas modificaciones técnicas introducidas en el Reglamento en el momento de expedirse la homologación. La misma Parte Contratante no asignará el mismo número a otro tipo de vehículo.
- 14.3. La notificación de la concesión, denegación, extensión o retirada de la homologación de un tipo de vehículo con arreglo al presente Reglamento se comunicará a las Partes del Acuerdo que apliquen el presente Reglamento por medio de un formulario que deberá ajustarse al modelo que figura en su anexo 4.
15. REQUISITOS
- 15.1. Generalidades
- 15.1.1. Los dispositivos de visión indirecta obligatorios y optativos, que figuran en el cuadro del apartado 15.2.1.1.1, instalados en el vehículo deberán ser de un tipo homologado con arreglo al presente Reglamento.
- 15.1.2. Todo retrovisor u otro dispositivo de visión indirecta deberá instalarse de tal manera que no se desplace hasta el punto de modificar sensiblemente el campo de visión medido ni vibre hasta el punto de que el conductor interprete de manera errónea la naturaleza de la imagen recibida.
- 15.1.3. Las condiciones establecidas en el apartado 15.1.2 deberán mantenerse cuando el vehículo circule a velocidades no superiores al 80 % de la velocidad máxima prevista, pero sin superar los 150 km/h.

- 15.1.4. Los campos de visión definidos a continuación deberán obtenerse en visión ambinocular, debiendo por ello coincidir los ojos del observador con los «puntos oculares del conductor» definidos en el apartado 12.1. Los campos de visión se determinarán cuando el vehículo esté en orden de marcha, con arreglo a la definición que figura en la Resolución consolidada sobre la construcción de vehículos (R.E.3) (documento ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.2, apartado 2.2.5.4), junto con, en el caso de los vehículos M₁ y N₁, la masa de un pasajero en el asiento delantero (75 kg). Cuando se establezcan a través de las ventanillas, el acristalamiento tendrá un factor total de transmisión luminosa conforme al Reglamento nº 43, anexo 21.
- 15.2. Retrovisores
- 15.2.1. Número
- 15.2.1.1. Número mínimo obligatorio de retrovisores
- 15.2.1.1.1. Deberán conseguirse los campos de visión especificados en el apartado 15.2.4 con el número mínimo obligatorio de retrovisores indicado en el siguiente cuadro. Cuando no se disponga de manera obligatoria la presencia de un retrovisor, no podrá exigirse la presencia obligatoria de ningún otro sistema de visión indirecta.

Categoría de vehículo	Retrovisor interior	Retrovisores exteriores				
	Retrovisor interior Clase I	Retrovisor principal (grande) Clase II	Retrovisor principal (pequeño) Clase III	Retrovisor de gran angular Clase IV	Retrovisor de proximidad Clase V	Retrovisor frontal Clase VI
M ₁	Obligatorio A menos que el vehículo tenga instalado un material distinto del acristalamiento de seguridad en el campo de visión prescrito en el apartado 15.2.4.1.	Optativo	Obligatorio Uno en el lado del conductor y uno en el lado del pasajero. Como alternativa, pueden instalarse retrovisores de clase II.	Optativo Uno en el lado del conductor y/o uno en el lado del pasajero.	Optativo Uno en el lado del conductor y uno en el lado del pasajero. (ambos deben estar instalados, como mínimo, 2 m por encima del suelo).	Optativo (ambos deben estar instalados, como mínimo, 2 m por encima del suelo).
M ₂	Optativo (sin requisitos respecto al campo de visión)	Obligatorio Uno en el lado del conductor y uno en el lado del pasajero.	No está permitido.	Optativo Uno en el lado del conductor y/o uno en el lado del pasajero.	Optativo Uno en el lado del conductor y uno en el lado del pasajero (ambos deben estar instalados, como mínimo, 2 m por encima del suelo).	Optativo (ambos deben estar instalados, como mínimo, 2 m por encima del suelo).
M ₃	Optativo (sin requisitos respecto al campo de visión).	Obligatorio Uno en el lado del conductor y uno en el lado del pasajero.	No está permitido.	Optativo Uno en el lado del conductor y/o uno en el lado del pasajero.	Optativo Uno en el lado del conductor y uno en el lado del pasajero (ambos deben montarse al menos a 2 m por encima del suelo).	Optativo (ambos deben estar instalados, como mínimo, 2 m por encima del suelo).

Categoría de vehículo	Retrovisor interior	Retrovisores exteriores				
	Retrovisor interior Clase I	Retrovisor principal (grande) Clase II	Retrovisor principal (pequeño) Clase III	Retrovisor de gran angular Clase IV	Retrovisor de proximidad Clase V	Retrovisor frontal Clase VI
N ₁	Obligatorio A menos que el vehículo tenga instalado un material distinto del acristalamiento de seguridad en el campo de visión prescrito en el apartado 15.2.4.1.	Optativo	Obligatorio Uno en el lado del conductor y uno en el lado del pasajero. Como alternativa, pueden instalarse retrovisores de clase II.	Optativo Uno en el lado del conductor y/o uno en el lado del pasajero.	Optativo Uno en el lado del conductor y uno en el lado del pasajero (ambos deben montarse al menos a 2 m por encima del suelo).	Optativo (ambos deben estar instalados, como mínimo, 2 m por encima del suelo).
N ₂ ≤ 7,5 t	Optativo (sin requisitos respecto al campo de visión).	Obligatorio Uno en el lado del conductor y uno en el lado del pasajero.	No está permitido.	Obligatorio Para ambos lados si puede instalarse un retrovisor de clase V. Optativo En caso contrario, se permite en ambos lados. Además, conforme a los apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.11, en el caso de los vehículos con una altura de instalación del retrovisor de clase V no inferior a 2,4 m (véase el apartado 15.2.4.5.12), puede lograrse el campo de visión prescrito (apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.9) mediante una combinación de dispositivos de visión directa y visión indirecta (de clase IV, V y VI).	Obligatorio (véanse los apartados 15.2.2.7 y 15.2.4.5.5). Uno en el lado del pasajero. Optativo Uno en el lado del conductor (ambos deben montarse al menos a 2 m por encima del suelo). Podrá aplicarse una tolerancia de + 10 cm. Además, conforme a los apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.11, en el caso de los vehículos con una altura de instalación del retrovisor de clase V no inferior a 2,4 m (véase el apartado 15.2.4.5.12), puede lograrse el campo de visión prescrito (apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.9) mediante una combinación de dispositivos de visión directa y visión indirecta (de clase IV, V y VI).	Optativo Un retrovisor frontal (debe estar instalado, como mínimo, 2 m por encima del suelo). Además, conforme a los apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.11, en el caso de los vehículos con una altura de instalación del retrovisor de clase V no inferior a 2,4 m (véase el apartado 15.2.4.5.12), puede lograrse el campo de visión prescrito (apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.9) mediante una combinación de dispositivos de visión directa y visión indirecta (de clase IV, V y VI).

Categoría de vehículo	Retrovisor interior	Retrovisores exteriores				
	Retrovisor interior Clase I	Retrovisor principal (grande) Clase II	Retrovisor principal (pequeño) Clase III	Retrovisor de gran angular Clase IV	Retrovisor de proximidad Clase V	Retrovisor frontal Clase VI
N ₂ > 7,5 t	Optativo (sin requisitos respecto al campo de visión).	Obligatorio Uno en el lado del conductor y uno en el lado del pasajero.	No está permitido.	Obligatorio Uno en el lado del conductor y uno en el lado del pasajero. Además, conforme a los apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.11, en el caso de los vehículos con una altura de instalación del retrovisor de clase V no inferior a 2,4 m (véase el apartado 15.2.4.5.12), puede lograrse el campo de visión prescrito (apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.9) mediante una combinación de dispositivos de visión directa y visión indirecta (de clase IV, V y VI).	Obligatorio (véanse los apartados 15.2.2.7 y 15.2.4.5.5). Uno en el lado del pasajero. Optativo Uno en el lado del conductor (ambos deben montarse al menos a 2 m por encima del suelo). Además, conforme a los apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.11, en el caso de los vehículos con una altura de instalación del retrovisor de clase V no inferior a 2,4 m (véase el apartado 15.2.4.5.12), puede lograrse el campo de visión prescrito (apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.9) mediante una combinación de dispositivos de visión directa y visión indirecta (de clase IV, V y VI).	Obligatorio (véase el apartado 15.2.1.1.2). Un retrovisor frontal (debe estar instalado como mínimo 2 m por encima del suelo). Además, conforme a los apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.11, en el caso de los vehículos con una altura de instalación del retrovisor de clase V no inferior a 2,4 m (véase el apartado 15.2.4.5.12), puede lograrse el campo de visión prescrito (apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.9) mediante una combinación de dispositivos de visión directa y visión indirecta (de clase IV, V y VI).
N ₃	Optativo (sin requisitos respecto al campo de visión).	Obligatorio Uno en el lado del conductor y uno en el lado del pasajero.	No está permitido.	Obligatorio Uno en el lado del conductor y uno en el lado del pasajero. Además, conforme a los apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.11, en el caso de los vehículos	Obligatorio (véanse los apartados 15.2.2.7 y 15.2.4.5.5). Uno en el lado del pasajero. Optativo Uno en el lado del conductor (ambos deben montarse al menos a 2 m	Obligatorio (véase el apartado 15.2.1.1.2). Un retrovisor frontal (debe estar instalado, como mínimo, 2 m por encima del suelo). Además, conforme a los

Categoría de vehículo	Retrovisor interior	Retrovisores exteriores				
	Retrovisor interior Clase I	Retrovisor principal (grande) Clase II	Retrovisor principal (pequeño) Clase III	Retrovisor de gran angular Clase IV	Retrovisor de proximidad Clase V	Retrovisor frontal Clase VI
				con una altura de instalación del retrovisor de clase V no inferior a 2,4 m (véase el apartado 15.2.4.5.12), puede lograrse el campo de visión prescrito (apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.9) mediante una combinación de dispositivos de visión directa y visión indirecta (de clase IV, V y VI).	por encima del suelo). Además, conforme a los apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.11, en el caso de los vehículos con una altura de instalación del retrovisor de clase V no inferior a 2,4 m (véase el apartado 15.2.4.5.12), puede lograrse el campo de visión prescrito (apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.9) mediante una combinación de dispositivos de visión directa y visión indirecta (de clase IV, V y VI).	apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.11, en el caso de los vehículos con una altura de instalación del retrovisor de clase V no inferior a 2,4 m (véase el apartado 15.2.4.5.12), puede lograrse el campo de visión prescrito (apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.9) mediante una combinación de dispositivos de visión directa y visión indirecta (de clase IV, V y VI).

15.2.1.1.2. En caso de que el campo de visión descrito de un retrovisor frontal previsto en el apartado 15.2.4.6 y/o un retrovisor de proximidad descrito en el apartado 15.2.4.5 pueda obtenerse con otro dispositivo de visión indirecta, homologado de conformidad con el apartado 6.2 del presente Reglamento e instalado de conformidad con el apartado 15, podrá utilizarse tal dispositivo en lugar del retrovisor o retrovisores pertinentes.

En caso de que se utilice un dispositivo con cámara y monitor, el monitor mostrará exclusivamente:

- a) el campo de visión establecido en el apartado 15.2.4.5 cuando se haya sustituido el retrovisor de proximidad;
- b) el campo de visión establecido en el apartado 15.2.4.6 cuando se haya sustituido el retrovisor frontal mientras el vehículo se mueve hacia adelante a una velocidad de hasta 10 km/h, o bien
- c) los campos de visión descritos en los apartados 15.2.4.5 y 15.2.4.6, simultáneamente, cuando se hayan sustituido el retrovisor de proximidad y el retrovisor frontal. En caso de que el vehículo se mueva hacia delante a una velocidad superior a 10 km/h o se mueva hacia atrás, el monitor podrá utilizarse para facilitar otra información, siempre que se muestre permanentemente el campo de visión previsto en el apartado 15.2.4.5.

15.2.1.1.3. Retrovisores que se requieren para vehículos de la categoría L con carrocería

Categoría de vehículo	Retrovisor interior (clase I)	Retrovisores exteriores principales (clases III y VII)
Vehículos de motor de la categoría L con una carrocería que rodee parcial o plenamente al conductor.	1 ⁽¹⁾	1, en caso de haber retrovisor interior; 2, en caso de no haber retrovisor interior.

⁽¹⁾ No se requiere ningún retrovisor interior si no se dan las condiciones de visibilidad a que se hace referencia en el apartado 15.2.5.4.1. En este caso, se requieren dos retrovisores exteriores, uno en el lado izquierdo y otro en el lado derecho del vehículo.

En caso de que esté instalado un solo retrovisor exterior, este se situará en la parte izquierda del vehículo, en los países en los que se circule por la derecha, y en la parte derecha del vehículo, en los países en los que se circule por la izquierda.

15.2.1.1.4. Retrovisores optativos para vehículos de la categoría L

Se admitirá la instalación de un retrovisor exterior en el lado opuesto al del retrovisor obligatorio contemplado en el apartado 15.2.1.1.3. El retrovisor deberá ajustarse a lo dispuesto en el presente Reglamento.

15.2.1.2. Las disposiciones del presente Reglamento no se aplicarán a los retrovisores de vigilancia definidos en el apartado 2.1.1.3. Sin embargo, los retrovisores de vigilancia exteriores deberán montarse, como mínimo, 2 m por encima del suelo cuando el vehículo tenga una carga correspondiente a su masa máxima técnicamente autorizada.

15.2.2. Posición

15.2.2.1. Los retrovisores deberán estar colocados de tal manera que permitan al conductor, sentado en su posición normal de conducción, observar claramente la parte posterior, lateral(es) o frontal del vehículo.

15.2.2.2. Los retrovisores exteriores deberán ser visibles a través de los cristales laterales o de la parte del parabrisas barrida por el limpiaparabrisas. No obstante, por razones de diseño, esta última disposición, es decir, la relativa a la parte barrida por el limpiaparabrisas, no se aplicará a:

a) los retrovisores exteriores en el lado del pasajero y los retrovisores exteriores optativos en el lado del conductor de los vehículos de las categorías M₂ y M₃;

b) los retrovisores de clase VI.

15.2.2.3. En todo vehículo que, en el momento de la medición del campo de visión, solo tenga el bastidor y el habitáculo, el fabricante deberá precisar las anchuras mínima y máxima de la carrocería y, en su caso, simularlas con paneles de ensayo provisionales. Todas las configuraciones de vehículos y de retrovisores tomadas en consideración en los ensayos deberán indicarse en el certificado de homologación de un tipo de vehículo en lo referente a la instalación de los retrovisores (véase el anexo 4).

15.2.2.4. El retrovisor exterior previsto para el lado del conductor deberá estar instalado de manera que el ángulo entre el plano vertical longitudinal mediano del vehículo y el plano vertical que pasa por el centro del retrovisor y por el centro del segmento de 65 mm que une los dos puntos oculares del conductor no sea superior a 55°.

- 15.2.2.5. Los retrovisores no deberán sobresalir del gálibo del vehículo sensiblemente más de lo que sea necesario para respetar los campos de visión establecidos en el apartado 15.2.4.
- 15.2.2.6. Cuando el borde inferior de un retrovisor exterior esté situado a menos de 2 m del suelo, estando el vehículo cargado con la masa de carga máxima técnicamente admisible, dicho retrovisor no deberá sobresalir más de 250 mm en relación con la anchura total del vehículo medida sin contar los retrovisores.
- 15.2.2.7. Los retrovisores de clase V y VI deberán instalarse en los vehículos de tal manera que, en todas las posiciones posibles de regulación, ningún punto de dichos retrovisores o de sus rebordes esté situado a una altura de menos de 2 m del suelo, estando el vehículo con la carga correspondiente a su masa de carga máxima técnicamente admisible.

No obstante, dichos retrovisores estarán prohibidos en los vehículos cuyo habitáculo tenga tal altura que no sea posible cumplir esta disposición; en este caso no se solicitará ningún otro dispositivo de visión indirecta.

- 15.2.2.8. En las condiciones que figuran en los apartados 15.2.2.5, 15.2.2.6 y 15.2.2.7, los retrovisores podrán sobrepasar las anchuras máximas autorizadas de los vehículos.
- 15.2.2.9. Todo retrovisor de clase VII se fijará de manera que se mantenga en una posición estable en las condiciones normales de conducción del vehículo.

15.2.3. Ajuste

- 15.2.3.1. El retrovisor interior deberá ser regulable por el conductor desde su puesto de conducción.
- 15.2.3.2. El retrovisor exterior colocado del lado del conductor deberá ser regulable desde el interior del vehículo con la puerta cerrada, pudiendo estar la ventanilla abierta o cerrada. No obstante, podrá bloquearse dicho retrovisor en la posición deseada desde el exterior.
- 15.2.3.3. Las especificaciones del apartado 15.2.3.2 no serán aplicables a los retrovisores exteriores que, después de haberse movido por efecto de algún golpe, puedan volverse a colocar en la posición correcta sin necesidad de una nueva regulación.

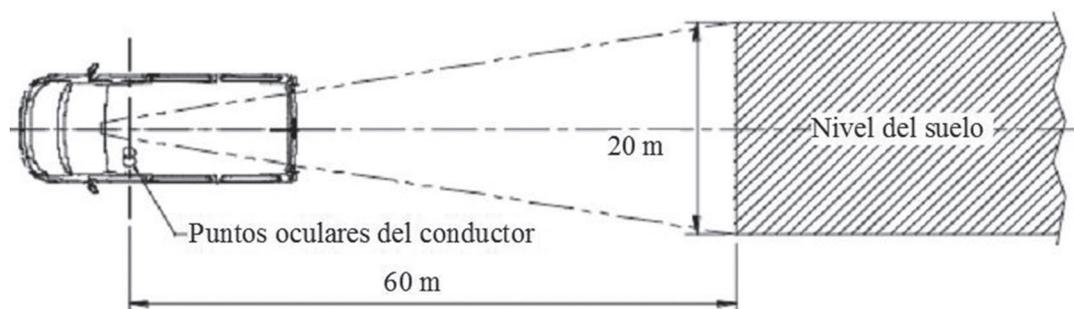
15.2.4. Campos de visión

15.2.4.1. Retrovisores interiores (clase I)

El campo de visión deberá ser tal que el conductor pueda ver al menos una parte de carretera plana y horizontal de 20 m de anchura, centrada en el plano vertical longitudinal mediano del vehículo, desde el horizonte hasta una distancia de 60 m por detrás de los puntos oculares del conductor (figura 4).

Figura 4

Campo de visión de un retrovisor de clase I



15.2.4.2. Retrovisores exteriores principales (clase II)

15.2.4.2.1. Retrovisores exteriores del lado del conductor

El campo de visión deberá ser tal que el conductor pueda ver, como mínimo, una parte de carretera plana y horizontal de 5 m de anchura, delimitada por un plano paralelo al plano vertical longitudinal mediano que pase por el extremo del vehículo del lado del conductor, y que se extienda, hacia atrás, desde una distancia de 30 m de los puntos oculares del conductor hasta el horizonte.

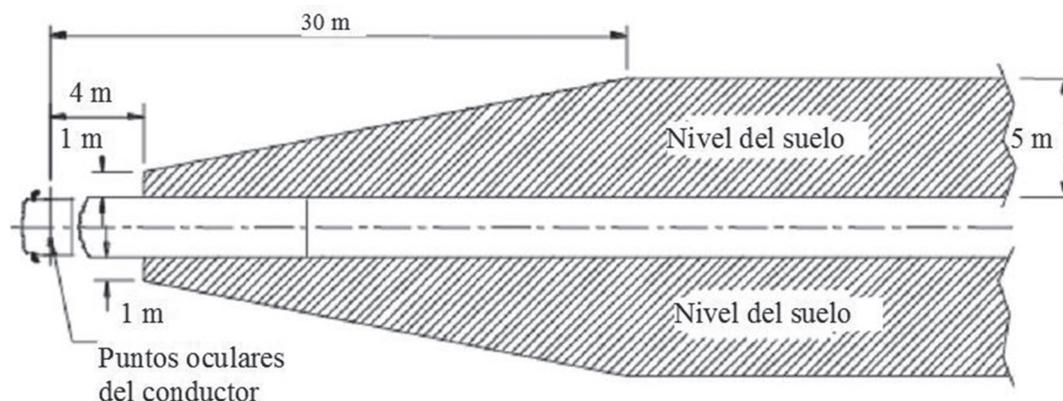
Además, el conductor deberá poder comenzar a ver la carretera en una anchura de 1 m, delimitada por un plano paralelo al plano vertical longitudinal mediano que pase por el extremo del vehículo a partir de un punto situado a 4 m por detrás del plano vertical que pasa por sus puntos oculares (véase la figura 5).

15.2.4.2.2. Retrovisores exteriores del lado del pasajero

El campo de visión deberá ser tal que el conductor pueda ver, como mínimo, una parte de carretera plana y horizontal de 5 m de anchura, delimitada en el lado del pasajero por un plano paralelo al plano vertical longitudinal mediano que pase por el extremo del vehículo del lado del pasajero, y que se extienda, hacia atrás, desde una distancia de 30 m de los puntos oculares del conductor hasta el horizonte.

Además, el conductor deberá poder comenzar a ver la carretera en una anchura de 1 m, delimitada por un plano paralelo al plano vertical longitudinal mediano que pase por el extremo del vehículo a partir de un punto situado a 4 m por detrás del plano vertical que pasa por sus puntos oculares (véase la figura 5).

Figura 5

Campo de visión de los retrovisores de clase II

15.2.4.3. Retrovisores exteriores principales (clase III)

15.2.4.3.1. Retrovisores exteriores del lado del conductor

El campo de visión deberá ser tal que el conductor pueda ver, como mínimo, una parte de carretera plana y horizontal de 4 m de anchura, delimitada por un plano paralelo al plano vertical longitudinal medio que pase por el extremo del vehículo del lado del conductor, y que se extienda, hacia atrás, desde una distancia de 20 m de los puntos oculares del conductor hasta el horizonte (véase la figura 6).

Además, el conductor deberá poder comenzar a ver la carretera en una anchura de 1 m, delimitada por un plano paralelo al plano vertical longitudinal medio que pase por el extremo del vehículo a partir de un punto situado a 4 m por detrás del plano vertical que pasa por sus puntos oculares.

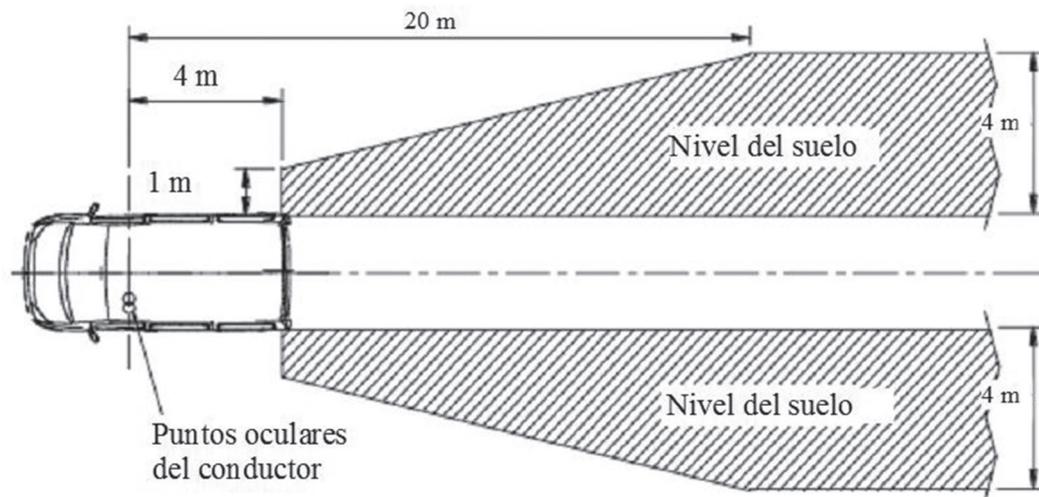
15.2.4.3.2. Retrovisores exteriores del lado del pasajero

El campo de visión deberá ser tal que el conductor pueda ver, como mínimo, una parte de carretera plana y horizontal de 4 m de anchura, delimitada por un plano paralelo al plano vertical longitudinal medio que pase por el extremo del vehículo del lado del pasajero, y que se extienda, hacia atrás, desde una distancia de 20 m de los puntos oculares del conductor hasta el horizonte (véase la figura 6).

Además, el conductor deberá poder comenzar a ver la carretera en una anchura de 1 m, limitada por un plano paralelo al plano vertical longitudinal medio que pase por el extremo del vehículo a partir de un punto situado a 4 m por detrás del plano vertical que pasa por sus puntos oculares.

Figura 6

Campo de visión de los retrovisores de clase III



15.2.4.4. Retrovisores exteriores de gran angular (clase IV)

15.2.4.4.1. Retrovisores exteriores de gran angular del lado del conductor

El campo de visión deberá ser tal que el conductor pueda ver, como mínimo, una parte de carretera plana y horizontal de 15 m de anchura, delimitada por un plano paralelo al plano vertical longitudinal medio que pase por el extremo del vehículo del lado del conductor, y que se extienda, hacia atrás, desde una distancia de, al menos, 10 a 25 m de los puntos oculares del conductor.

Además, el conductor deberá poder comenzar a ver la carretera en una anchura de 4,5 m, delimitada por un plano paralelo al plano vertical longitudinal mediano que pase por el extremo del vehículo a partir de un punto situado a 1,5 m por detrás del plano vertical que pasa por sus puntos oculares (véase la figura 7).

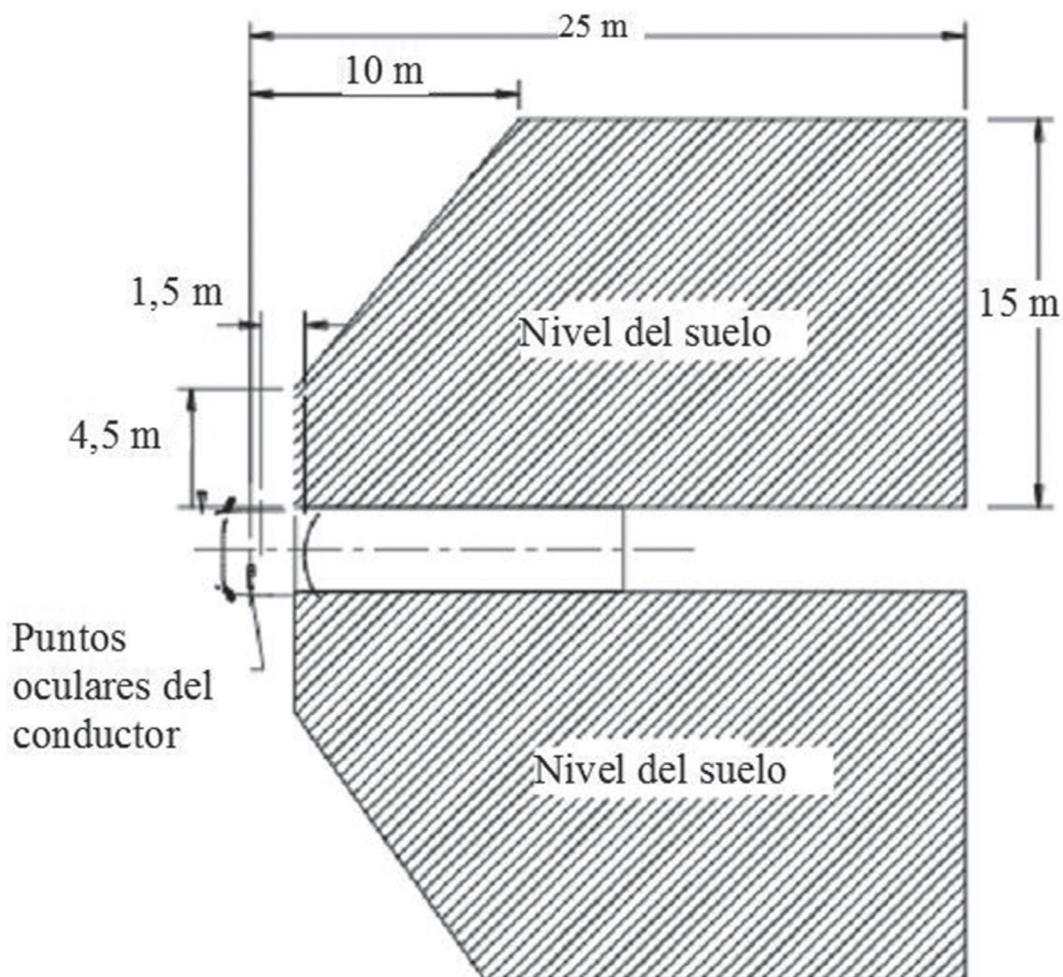
15.2.4.4.2. Retrovisores exteriores de gran angular del lado del pasajero

El campo de visión deberá ser tal que el conductor pueda ver, como mínimo, una parte de carretera plana y horizontal de 15 m de anchura, delimitada por un plano paralelo al plano vertical longitudinal medio que pase por el extremo del vehículo del lado del pasajero, y que se extienda, hacia atrás, desde una distancia de, al menos, 10 a 25 m de los puntos oculares del conductor.

Además, el conductor deberá poder comenzar a ver la carretera en una anchura de 4,5 m, delimitada por un plano paralelo al plano vertical longitudinal mediano que pase por el extremo del vehículo a partir de un punto situado a 1,5 m por detrás del plano vertical que pasa por sus puntos oculares (véase la figura 7).

Figura 7

Campo de visión de los retrovisores exteriores de gran angular de clase IV



15.2.4.5. Retrovisores exteriores de proximidad (clase V)

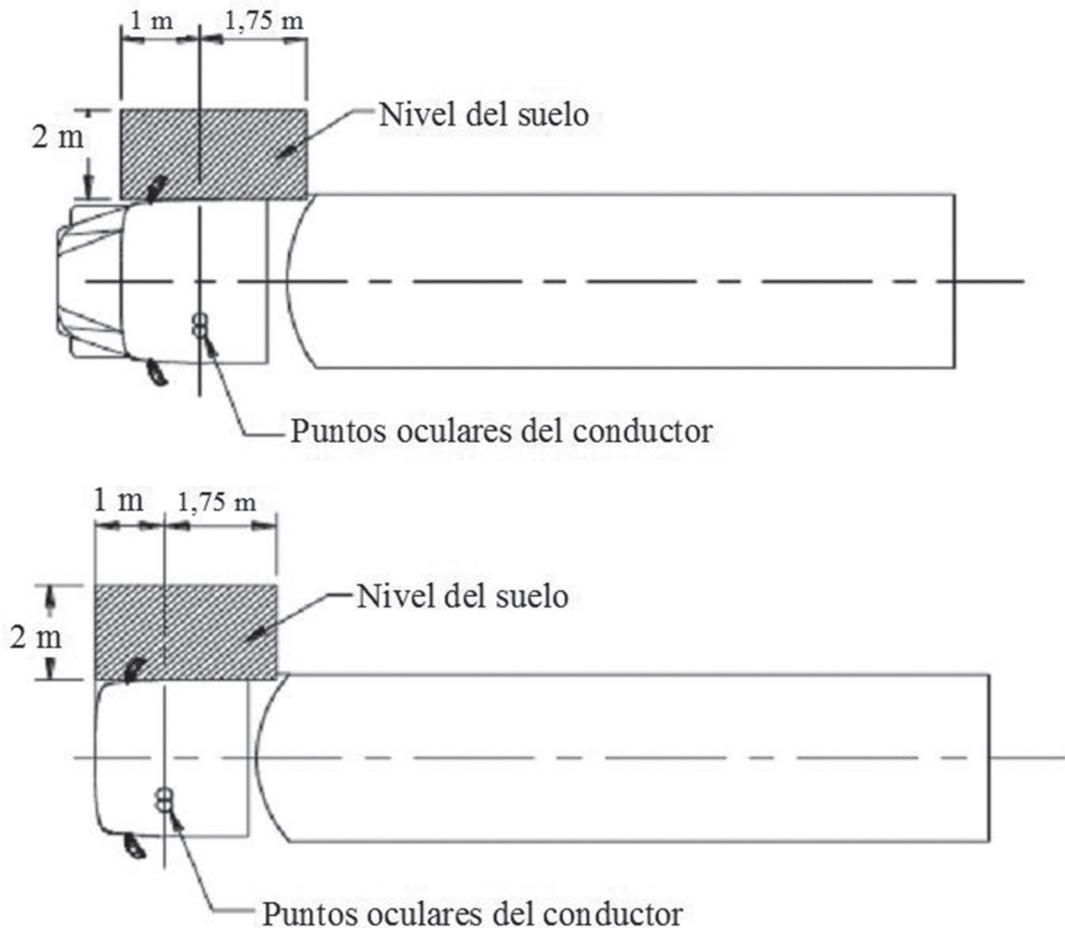
El campo de visión deberá ser tal que el conductor pueda ver, en el lado exterior del vehículo, una parte de carretera plana y horizontal delimitada por los planos verticales siguientes [véanse las figuras 8 a y 8 b]:

- 15.2.4.5.1. el plano paralelo al plano vertical longitudinal mediano que pase por el extremo del habitáculo del vehículo del lado del pasajero;
- 15.2.4.5.2. en dirección transversal, el plano paralelo que pase 2 m por delante del plano mencionado en el apartado 15.2.4.5.1;
- 15.2.4.5.3. por detrás, el plano paralelo al plano vertical que pase por los puntos oculares del conductor situado a 1,75 m por detrás de este último plano;
- 15.2.4.5.4. por delante, el plano paralelo al plano vertical que pase por los puntos oculares del conductor situado a 1 m por delante de este último plano. En caso de que el plano transversal vertical que pasa por el borde de ataque del parachoques del vehículo esté situado a menos de 1 m por delante del plano vertical que pasa por los puntos oculares del conductor, el campo de visión estará limitado por dicho plano.

- 15.2.4.5.5. En caso de que el campo de visión descrito en las figuras 8 a y 8 b pueda obtenerse mediante una combinación del campo de visión de un retrovisor de gran angular de clase IV y un retrovisor frontal de clase VI, no será obligatoria la instalación de un retrovisor de proximidad de clase V.

Figuras 8 a y 8 b

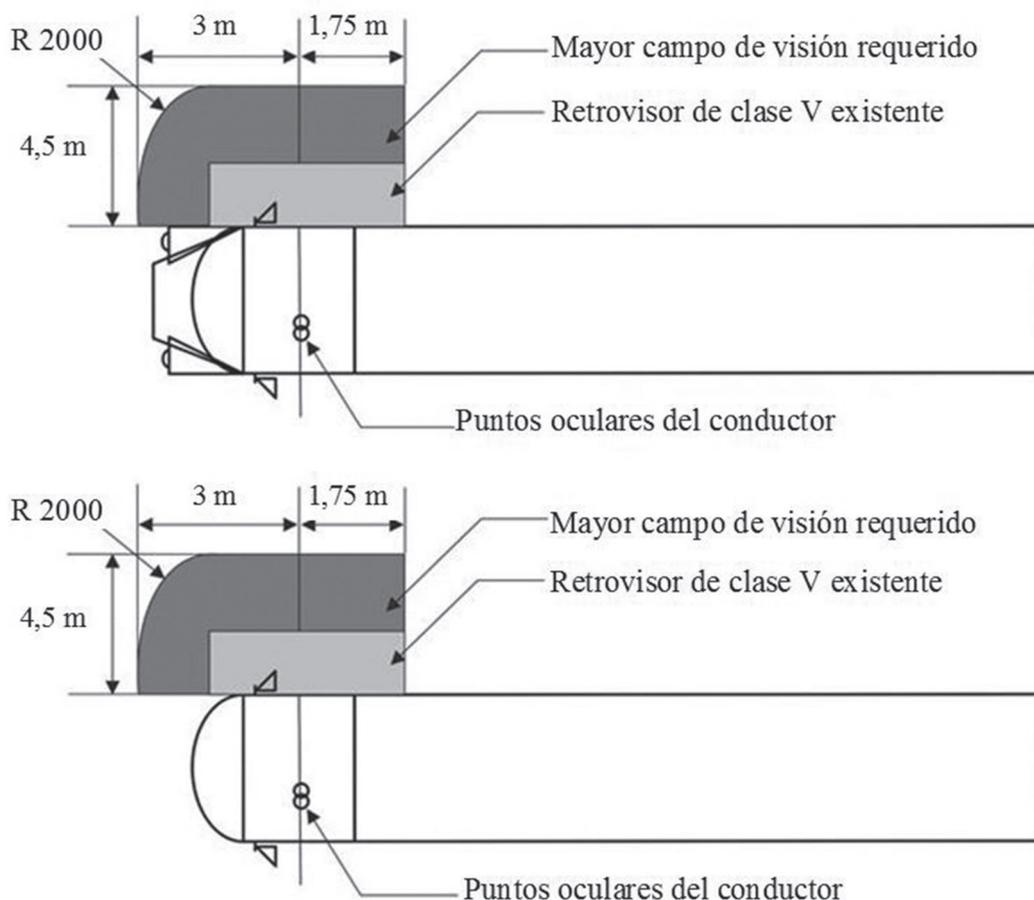
Campo de visión de los retrovisores de proximidad de clase V



- 15.2.4.5.6. El campo de visión del lado del pasajero deberá ser tal que el conductor pueda ver, en el lado exterior del vehículo, una parte de carretera plana y horizontal que se encuentre fuera del campo definido en los apartados 15.2.4.5.1 a 15.2.4.5.4, pero dentro del ámbito delimitado por los planos verticales siguientes: la parte frontal de este campo de visión podrá redondearse con un radio de 2 000 mm (véanse las figuras 8 c y 8 d);
- 15.2.4.5.7. en dirección transversal, el plano paralelo que pase 4,5 m por delante del plano mencionado en el apartado 15.2.4.5.1;
- 15.2.4.5.8. por detrás, el plano paralelo al plano vertical que pase por los puntos oculares del conductor situado a 1,75 m por detrás de este último plano;
- 15.2.4.5.9. por delante, el plano paralelo al plano vertical que pase por los puntos oculares del conductor situado a 3 m por delante de este último plano. Un retrovisor frontal puede ofrecer, en parte, este campo de visión (clase VI).
- 15.2.4.5.10. Es posible ofrecer el campo de visión descrito en los apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.9 mediante un retrovisor exterior de gran angular (clase IV) o una combinación de un retrovisor exterior de proximidad (clase V) y un retrovisor frontal (clase VI).
- 15.2.4.5.11. Puede verse el área establecida en los apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.9 mediante una combinación de dispositivos de visión directa e indirecta (de clase IV, V y VI).

- 15.2.4.5.11.1. Si se utiliza un dispositivo de visión indirecta de clase IV para ofrecer una parte del campo de visión establecido en los apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.9, se ajustará de tal modo que ofrezca simultáneamente el campo de visión indicado en el apartado 15.2.4.4.2.
- 15.2.4.5.11.2. Si se utiliza un dispositivo de visión indirecta de clase V para ofrecer una parte del campo de visión establecido en los apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.9, se ajustará de tal modo que ofrezca simultáneamente el campo de visión indicado en los apartados 15.2.4.5.1 a 15.2.4.5.4.
- 15.2.4.5.11.3. Si se utiliza un dispositivo de visión indirecta de clase VI para ofrecer una parte del campo de visión establecido en los apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.9, se ajustará de tal modo que ofrezca simultáneamente el campo de visión indicado en el apartado 15.2.4.6.1.
- 15.2.4.5.12. Puede lograrse el campo de visión prescrito en los apartados 15.2.4.5.1 a 15.2.4.5.4 mediante una combinación de un retrovisor exterior de proximidad (clase V) y un retrovisor exterior de gran angular (clase IV).
- En tales casos, el retrovisor exterior de proximidad (clase V) ofrecerá, como mínimo, el 90 por ciento del campo de visión prescrito en los apartados 15.2.4.5.1 a 15.2.4.5.4, y el retrovisor de clase IV se ajustará de tal modo que ofrezca simultáneamente el campo de visión indicado en el apartado 15.2.4.4.2.
- 15.2.4.5.13. Los apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.12 no se aplicarán a los vehículos en caso de que cualquier parte del retrovisor de clase V, o de su reborde, esté situada a menos de 2,4 m por encima del suelo, independientemente de su posición tras el ajuste.
- 15.2.4.5.14. Los apartados 15.2.4.5.6 a 15.2.4.5.12 no se aplicarán a los vehículos de la categoría M₂ o M₃.

Figuras 8 c y 8 d

Mayor campo de visión del lado del pasajero

15.2.4.6. Retrovisor frontal (clase VI)

15.2.4.6.1. El campo de visión deberá ser tal que el conductor pueda ver al menos una parte de carretera plana y horizontal, delimitada por:

- a) un plano transversal vertical que pase por el extremo de la parte frontal del vehículo;
- b) un plano transversal vertical 2 000 mm por delante del plano definido en la letra a);
- c) un plano longitudinal vertical paralelo al plano vertical longitudinal mediano que pase por el extremo lateral del vehículo del lado del conductor, y
- d) un plano longitudinal vertical paralelo al plano vertical longitudinal mediano situado a 2 000 mm hacia afuera del extremo lateral del vehículo del lado opuesto al del conductor.

La parte frontal de este campo de visión del lado opuesto al del conductor podrá redondearse con un radio de 2 000 mm (véase la figura 9).

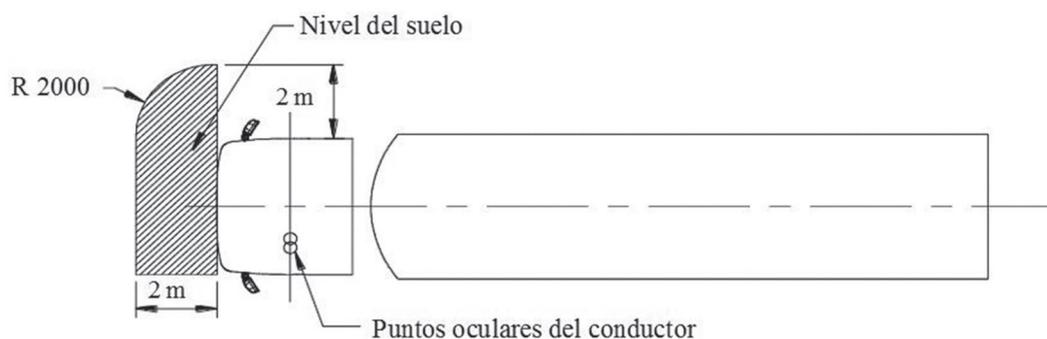
Para el campo de visión definido, véase también el apartado 15.2.4.9.2.

Las especificaciones relativas a los retrovisores frontales serán obligatorias para los vehículos de conducción avanzada (con arreglo a la definición del apartado 12.5 del presente Reglamento) de las categorías $N_2 > 7,5$ t y N_3 .

Si los vehículos de estas categorías no pueden cumplir los requisitos utilizando un retrovisor frontal o un dispositivo con cámara y monitor, se utilizará un sistema de soporte de visión. En caso de utilizarse un sistema de soporte de visión, este dispositivo deberá poder detectar un objeto de 50 cm de altura con un diámetro de 30 cm situado dentro del campo definido en la figura 9.

Figura 9

Campo de visión de los retrovisores frontales de clase VI



15.2.4.6.2. No obstante, no se exigirá un retrovisor frontal de clase VI si el conductor, teniendo en cuenta las obstrucciones de los pilares A, puede ver una línea recta situada a 300 mm por delante del vehículo y a una altura de 1 200 mm por encima de la superficie de la carretera, situada entre el plano longitudinal vertical paralelo al plano longitudinal vertical mediano que pasa por el extremo del vehículo del lado del conductor y un plano longitudinal vertical paralelo al plano longitudinal vertical mediano situado a 900 mm hacia afuera del extremo del vehículo del lado opuesto del conductor.

15.2.4.6.3. A efectos de los apartados 15.2.4.6.1 y 15.2.4.6.2, al definir la parte delantera del vehículo, no se tendrán en cuenta las partes fijadas permanentemente al vehículo que estén situadas tanto por encima de los puntos oculares del conductor como delante del plano vertical transversal que pasa a través de la superficie más avanzada del parachoques delantero del vehículo.

15.2.4.7. Retrovisores para vehículos de la categoría L (clase VII)

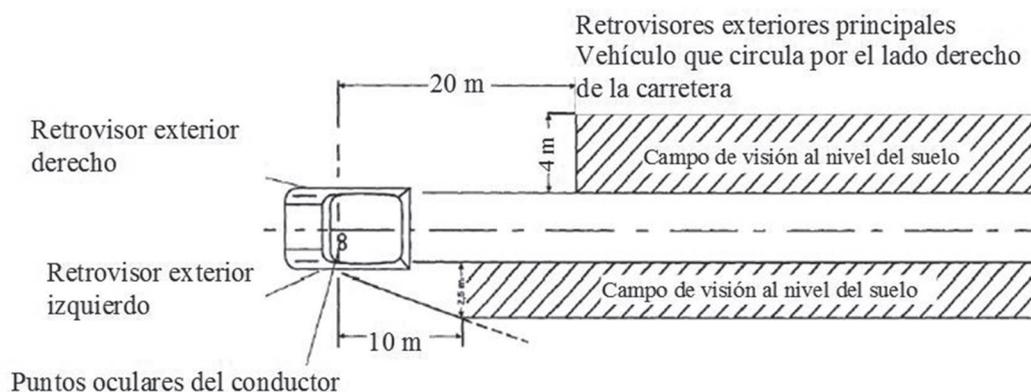
15.2.4.7.1. Retrovisores exteriores del lado del conductor

El campo de visión deberá ser tal que el conductor pueda ver, como mínimo, una parte de carretera plana y horizontal de 2,50 m de anchura, delimitada por un plano paralelo al plano vertical longitudinal medio que pase por el extremo del vehículo del lado del conductor, y que se extienda, hacia atrás, desde una distancia de 10 m de los puntos oculares del conductor hasta el horizonte (véase la figura 10).

15.2.4.7.2. Retrovisores exteriores del lado del pasajero

El campo de visión deberá ser tal que el conductor pueda ver, como mínimo, una parte de carretera plana y horizontal de 4 m de anchura, delimitada por un plano paralelo al plano vertical longitudinal medio que pase por el extremo del vehículo del lado del pasajero, y que se extienda, hacia atrás, desde una distancia de 20 m de los puntos oculares del conductor hasta el horizonte (véase la figura 10).

Figura 10

Campo de visión de los retrovisores de clase VII

15.2.4.8. En el caso de los retrovisores formados por varias superficies reflectantes de curvatura diferente o que formen un ángulo entre sí, al menos una de las superficies reflectantes deberá permitir obtener el campo de visión y tener las dimensiones (véase el apartado 6.1.2.1.2.2 del presente Reglamento) establecidas para la clase a la que pertenezcan.

15.2.4.9. Obstrucciones

15.2.4.9.1. Retrovisores interiores (clase I)

El campo de visión podrá reducirse por la presencia de dispositivos como parasoles, limpiaparabrisas, elementos de calefacción y luces de freno de la categoría S3, a condición de que el conjunto de todos estos dispositivos no disminuya por encima del 15 % el campo de visión prescrito. Se excluirán de este cálculo los reposacabezas y componentes de la carrocería como las columnas de las ventanillas de las dobles puertas traseras. Este requisito se someterá a ensayo mediante la proyección en un plano vertical perpendicular al plano medio longitudinal del vehículo. El grado de obstrucción se medirá con los parasoles recogidos.

15.2.4.9.2. Retrovisores exteriores (clases II, III, IV, V, VI y VII)

En los campos de visión indicados previamente, no se tendrán en cuenta las obstrucciones debidas a la carrocería y sus elementos, como otros retrovisores, tiradores de las puertas, luces de gálibo, indicadores de dirección o parachoques delanteros y traseros, así como a los elementos de limpieza de las superficies reflectantes, si el conjunto de dichas obstrucciones es inferior al 10 % del campo de visión especificado. En el caso de los vehículos diseñados y fabricados construido con fines especiales en los que, debido a sus características especiales, no sea posible cumplir este requisito, la obstrucción del campo de visión necesario de un retrovisor de clase VI, causada por las características especiales podrá ser superior al 10 %, pero solo en la medida necesaria para su función especial.

15.2.4.10. Procedimiento de ensayo

El campo de visión se determinará mediante la colocación de fuentes luminosas potentes en los puntos oculares y examinando la luz reflejada en una pantalla vertical de control. Podrán utilizarse otros métodos equivalentes.

15.3. Dispositivos de visión indirecta distintos de los retrovisores

15.3.1. Los dispositivos de visión indirecta deberán funcionar de tal forma que pueda observarse un objeto crítico dentro del campo de visión descrito, habida cuenta de la percepción crítica y según el procedimiento establecido en el anexo 10.

Como procedimiento alternativo, podrá determinarse el tamaño de la muestra expuesta con arreglo a lo dispuesto en el anexo 11.

15.3.2. Se reducirá al mínimo la obstrucción de la visión directa del conductor causada por la instalación de un dispositivo de visión indirecta.

15.3.3. (Reservado)

15.3.4. Especificaciones de instalación del monitor

La dirección de visualización del monitor deberá ser aproximadamente la misma que la del retrovisor principal.

15.3.5. Los vehículos podrán estar equipados con dispositivos de visión indirecta adicionales.

15.3.6. Las disposiciones del presente Reglamento no se aplicarán a los dispositivos de vigilancia con cámara y monitor de grabación definidos en el apartado 2.1.2.13 del presente Reglamento. Las cámaras de vigilancia exteriores deberán montarse como mínimo 2 m por encima del suelo cuando el vehículo tenga una carga correspondiente a su masa máxima técnicamente autorizada o, si su borde inferior está a menos de 2 m por encima del suelo, no sobresaldrán más de 50 mm de la anchura global del vehículo medido sin dicho dispositivo y tendrán unos radios de curvatura no inferiores a 2,5 mm.

16. MODIFICACIONES DEL TIPO DE VEHÍCULO Y EXTENSIÓN DE LA HOMOLOGACIÓN

16.1. Toda modificación del tipo homologado deberá notificarse al organismo de homologación de tipo que lo haya homologado. En tal caso, el organismo de homologación de tipo podrá:

- a) decidir, en consulta con el fabricante, que debe concederse una nueva homologación de tipo, o
- b) aplicar el procedimiento que se recoge en el apartado 16.1.1 (revisión) y, si procede, el procedimiento previsto en el apartado 16.1.2 (extensión).

16.1.1. Revisión

Cuando hayan cambiado los datos registrados en la ficha de homologación y el organismo de homologación de tipo considere improbable que las modificaciones realizadas tengan consecuencias negativas apreciables y que, en cualquier caso, el dispositivo de visión indirecta sigue cumpliendo los requisitos correspondientes, la modificación será considerada una «revisión».

En estos casos, el organismo de homologación de tipo deberá expedir las páginas revisadas de la ficha de homologación, según proceda, señalando claramente en cada página revisada qué tipo de cambio se ha producido y en qué fecha tuvo lugar la nueva emisión. Se considerará cumplido este requisito mediante una copia consolidada y actualizada de la ficha de homologación que lleve adjunta una descripción detallada de los cambios.

16.1.2. Extensión

La modificación se considerará una «extensión» si, además de la modificación de los datos registrados en la ficha de homologación,

- a) deben realizarse nuevas inspecciones o nuevos ensayos, o bien
- b) ha cambiado cualquier información de la notificación (a excepción de sus documentos adjuntos), o
- c) se pide la homologación de una serie posterior de enmiendas después de su entrada en vigor.

- 16.2. La confirmación o denegación de la homologación, especificando las modificaciones, se comunicará a las Partes en el Acuerdo que apliquen el presente Reglamento mediante un formulario conforme al modelo recogido en el anexo 4 del presente Reglamento. Además, el índice del expediente de homologación, que debe adjuntarse a la notificación, se modificará en consecuencia para que conste la fecha de la extensión o revisión más reciente.
- 16.3. El organismo de homologación de tipo que otorgue la extensión de la homologación asignará un número de serie a cada formulario de comunicación emitido para dicha extensión.
17. CONFORMIDAD DE LA PRODUCCIÓN
- 17.1. El procedimiento de conformidad de la producción se ajustará a los establecidos en el apéndice 2 del Acuerdo (E/ECE/324-E/ECE/TRANS/505/Rev.2).
- 17.2. Todo vehículo homologado con arreglo al presente Reglamento será fabricado de conformidad con el tipo homologado cumpliendo las prescripciones expuestas en el apartado 15.
18. SANCIONES POR LA FALTA DE CONFORMIDAD DE LA PRODUCCIÓN
- 18.1. La homologación concedida a un tipo de vehículo con arreglo al presente Reglamento podrá retirarse si no se cumplen los requisitos recogidos en el apartado 17.1 o si el vehículo no supera los controles que se establecen en el apartado 17.2.
- 18.2. Si una Parte en el Acuerdo que aplica el presente Reglamento retira una homologación anteriormente concedida, lo notificará inmediatamente a las demás Partes Contratantes que apliquen el presente Reglamento mediante una copia del formulario de homologación con la indicación «HOMOLOGACIÓN RETIRADA», firmada y fechada, que figurará en grandes caracteres al final del mismo.
19. CESE DEFINITIVO DE LA PRODUCCIÓN
- Si el titular de una homologación cesa por completo de fabricar un tipo de vehículo homologado con arreglo al presente Reglamento, informará de ello al organismo que concedió la homologación. Tras la recepción de la correspondiente notificación, dicho organismo informará de ello a las demás Partes Contratantes del Acuerdo que apliquen el presente Reglamento mediante una copia del formulario de homologación con la indicación «CESE DE PRODUCCIÓN», firmada y fechada, que figurará en grandes caracteres al final del mismo.
20. NOMBRES Y DIRECCIONES DE LOS SERVICIOS TÉCNICOS RESPONSABLES DE REALIZAR LOS ENSAYOS DE HOMOLOGACIÓN Y DE LOS ORGANISMOS DE HOMOLOGACIÓN DE TIPO
- Las Partes del Acuerdo de 1958 que apliquen el presente Reglamento comunicarán a la Secretaría de las Naciones Unidas los nombres y las direcciones de los servicios técnicos responsables de la realización de los ensayos de homologación y de los organismos de homologación de tipo que concedan la homologación y a los cuales deberán enviarse los certificados de concesión, extensión, denegación o retirada de la homologación expedidos en otros países.
21. DISPOSICIONES TRANSITORIAS
- 21.1. A partir de la fecha oficial de entrada en vigor de la serie 03 de enmiendas del presente Reglamento, ninguna Parte Contratante que lo aplique denegará una solicitud de homologación con arreglo al presente Reglamento modificado por dicha serie de enmiendas.
- 21.2. Doce meses después de la fecha oficial de entrada en vigor de la serie 03 de enmiendas del presente Reglamento, las Partes Contratantes que lo apliquen concederán homologaciones a tipos de dispositivos de visión indirecta únicamente si los tipos en cuestión cumplen los requisitos del presente Reglamento modificado por la serie 03 de enmiendas.
- 21.3. Doce meses después de la fecha oficial de entrada en vigor de la serie 03 de enmiendas del presente Reglamento, las Partes Contratantes que lo apliquen concederán homologaciones a tipos de vehículos en lo que respecta a la instalación de dispositivos de visión indirecta únicamente si los tipos en cuestión cumplen los requisitos del presente Reglamento modificado por la serie 03 de enmiendas.

- 21.4. Veinticuatro meses después de la fecha oficial de entrada en vigor de la serie 03 de enmiendas del presente Reglamento, las Partes Contratantes que lo apliquen podrán denegar el reconocimiento de las homologaciones de tipos de vehículos en lo que respecta a la instalación de dispositivos de visión indirecta con cámara y monitor o de tipos de dispositivos de visión indirecta con cámara y monitor cuya concesión no se ajuste a las disposiciones de la serie 03 de enmiendas del presente Reglamento.
- 21.5. A partir del 26 de enero de 2010, en el caso de los vehículos de las categorías M₁ y N₁, y del 26 de enero de 2007, en el caso de los vehículos de otras categorías, las Partes Contratantes que apliquen el presente Reglamento podrán denegar el reconocimiento de las homologaciones de dispositivos de visión indirecta cuya concesión no se ajuste a las disposiciones de la serie 02 de enmiendas del presente Reglamento.
- 21.6. Seguirán siendo válidas las homologaciones que se hayan concedido a los dispositivos de visión indirecta de clase I o III con arreglo al presente Reglamento en su forma original (serie 00) o que fueran modificadas por las series 01 o 02 de enmiendas antes de la fecha de entrada en vigor de la serie 03 de enmiendas y las Partes Contratantes deberán seguir aceptándolas. Las Partes Contratantes no denegarán la concesión de extensiones a homologaciones concedidas conforme a la versión original ni a las series 01 o 02 de enmiendas.
- 21.7. No obstante lo dispuesto en el apartado 21.2, seguirán siendo válidas las homologaciones concedidas a retrovisores de clase II, IV, V, VI o VII conforme al presente Reglamento modificado por la serie 02 de enmiendas antes de la fecha de la entrada en vigor de la serie 03 de enmiendas y las Partes Contratantes deberán seguir aceptándolas. Las Partes Contratantes no denegarán la concesión de extensiones a homologaciones concedidas conforme a la serie 02 de enmiendas.
- 21.8. Las disposiciones del presente Reglamento no prohibirán la homologación de tipos de vehículos respecto al montaje de dispositivos de visión indirecta con arreglo al presente Reglamento, en su versión modificada por la serie 03 de enmiendas, si todos o parte de dichos dispositivos de clase I o III con los que estén equipados llevan la marca de homologación prescrita por la versión original (serie 00) del presente Reglamento o bien por las series 01 o 02 de enmiendas.
- 21.9. Las disposiciones del presente Reglamento no prohibirán la homologación de tipos de vehículos respecto al montaje de dispositivos de visión indirecta con arreglo al presente Reglamento, si todos o parte de los retrovisores de clase II, IV, V, VI o VII con los que estén equipados llevan la marca de homologación prescrita por la serie 02 de enmiendas del presente Reglamento.
- 21.10. No obstante lo dispuesto en los apartados 21.2, 21.4 y 21.5, a efectos del recambio de piezas, las Partes Contratantes que apliquen el presente Reglamento seguirán concediendo homologaciones con arreglo a la serie 02 de enmiendas del presente Reglamento a los dispositivos de visión indirecta destinados a ser utilizados en tipos de vehículos que hayan sido homologados antes de la fecha indicada en el apartado 21.2 de conformidad con la serie 02 de enmiendas del Reglamento nº 46 y, cuando proceda, extensiones posteriores a dichas homologaciones.
- 21.11. A partir de la fecha oficial de entrada en vigor de la serie 04 de enmiendas del presente Reglamento, ninguna Parte Contratante que lo aplique denegará una solicitud de homologación con arreglo al presente Reglamento modificado dicha serie de enmiendas.
- 21.12. A partir del 30 de junio de 2014, las Partes Contratantes que apliquen el presente Reglamento concederán homologaciones a tipos de dispositivos de visión indirecta únicamente si los tipos en cuestión cumplen los requisitos del presente Reglamento modificado por la serie 04 de enmiendas.
- 21.13. A partir del 30 de junio de 2014, las Partes Contratantes que apliquen el presente Reglamento concederán homologaciones a tipos de vehículos en lo que respecta a la instalación de dispositivos de visión indirecta únicamente si los tipos en cuestión cumplen los requisitos del presente Reglamento modificado por la serie 04 de enmiendas.

- 21.14. A partir del 30 de junio de 2015, las Partes Contratantes que apliquen el presente Reglamento no estarán obligadas a aceptar las homologaciones de tipos de vehículos o de dispositivos de visión indirecta que no se hayan concedido con arreglo a la serie 04 de enmiendas del presente Reglamento.
- 21.15. No obstante lo dispuesto en el apartado 21.14, seguirán siendo válidas las homologaciones de vehículos concedidas con arreglo a las series anteriores de enmiendas del presente Reglamento que no se vean afectadas por la serie 04 y las Partes contratantes que apliquen el presente Reglamento deberán seguir aceptándolas.
- 21.16. Las Partes Contratantes que apliquen el presente Reglamento no denegarán la concesión de extensiones a las homologaciones de tipos de vehículos o de dispositivos ya existentes que no se vean afectadas por la serie 04 de enmiendas y que se hubieran concedido con arreglo a las series 02 o 03 de enmiendas del presente Reglamento.
- 21.17. No obstante lo dispuesto en los apartados 21.2, 21.4, 21.5, 21.13 y 21.15, a efectos del recambio de piezas, las Partes Contratantes que apliquen el presente Reglamento seguirán concediendo homologaciones con arreglo a la serie 01 de enmiendas del presente Reglamento a los dispositivos de visión indirecta de clase I a V destinados a ser utilizados en tipos de vehículos que hayan sido homologados antes del 26 de enero de 2006 con arreglo a la serie 01 de enmiendas del Reglamento nº 46 y, cuando proceda, extensiones posteriores a dichas homologaciones.
-



Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D 3039/D 3039M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

^{ε1} NOTE—Eq 5 was revised editorially in December 2002.

1. Scope

1.1 This test method determines the in-plane tensile properties of polymer matrix composite materials reinforced by high-modulus fibers. The composite material forms are limited to continuous fiber or discontinuous fiber-reinforced composites in which the laminate is balanced and symmetric with respect to the test direction.

1.2 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. Within the text, the inch-pound units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement²
- D 883 Terminology Relating to Plastics²
- D 2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins³
- D 2734 Test Method for Void Content of Reinforced Plastics³
- D 3171 Test Methods for Constituent Content of Composites Materials⁴
- D 3878 Terminology for Composite Materials⁴
- D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption

Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials⁴

- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁵
- E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus⁵
- E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process⁶
- E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature⁵
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁶
- E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages⁵
- E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics⁶
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶
- E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading⁵
- E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages⁵

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terminology D 3878 defines terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology D 883 defines terms relating to plastics. Terminology E 6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E 456 and Practice E 177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D 3878 shall have precedence over the other standards.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

NOTE—If the term represents a physical quantity, its analytical dimensions are stated immediately following the term (or letter symbol) in fundamental dimension form, using the following ASTM standard symbology for fundamental

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.04 on Lamina and Laminate Test Methods.

Current edition approved April 10, 2000. Published July 2000. Originally published as D 3039 – 71T. Last previous edition D 3039 – 95a.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.02.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.03.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.



dimensions, shown within square brackets: $[M]$ for mass, $[L]$ for length, $[T]$ for time, $[Θ]$ for thermodynamic temperature, and $[nd]$ for nondimensional quantities. Use of these symbols is restricted to analytical dimensions when used with square brackets, as the symbols may have other definitions when used without the brackets.

3.2.1 *nominal value, n* —a value, existing in name only, assigned to a measurable property for the purpose of convenient designation. Tolerances may be applied to a nominal value to define an acceptable range for the property.

3.2.2 *transition region, n* —a strain region of a stress-strain or strain-strain curve over which a significant change in the slope of the curve occurs within a small strain range.

3.2.3 *transition strain, $ε^{transition}$ $[nd]$, n* —the strain value at the mid range of the transition region between the two essentially linear portions of a bilinear stress-strain or strain-strain curve.

3.2.3.1 *Discussion*—Many filamentary composite materials show essentially bilinear behavior during loading, such as seen in plots of either longitudinal stress versus longitudinal strain or transverse strain versus long longitudinal strain. There are varying physical reasons for the existence of a transition region. Common examples include: matrix cracking under tensile loading and ply delamination.

3.3 Symbols:

3.3.1 A —minimum cross-sectional area of a coupon.

3.3.2 B_y —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about y axis of the specimen (about the narrow direction).

3.3.3 B_z —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about z axis of the specimen (about the wide direction).

3.3.4 CV —coefficient of variation statistic of a sample population for a given property (in percent).

3.3.5 E —modulus of elasticity in the test direction.

3.3.6 F^{tu} —ultimate tensile strength in the test direction.

3.3.7 F^{su} —ultimate shear strength in the test direction.

3.3.8 h —coupon thickness.

3.3.9 L_g —extensometer gage length.

3.3.10 L_{min} —minimum required bonded tab length.

3.3.11 n —number of coupons per sample population.

3.3.12 P —load carried by test coupon.

3.3.13 P^f —load carried by test coupon at failure.

3.3.14 P^{max} —maximum load carried by test coupon before failure.

3.3.15 s_{n-1} —standard deviation statistic of a sample population for a given property.

3.3.16 w —coupon width.

3.3.17 x_i —test result for an individual coupon from the sample population for a given property.

3.3.18 \bar{x} —mean or average (estimate of mean) of a sample population for a given property.

3.3.19 $δ$ —extensional displacement.

3.3.20 $ε$ —general symbol for strain, whether normal strain or shear strain.

3.3.21 $ε$ —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

3.3.22 $σ$ —normal stress.

3.3.23 $ν$ —Poisson's ratio.

4. Summary of Test Method

4.1 A thin flat strip of material having a constant rectangular cross section is mounted in the grips of a mechanical testing machine and monotonically loaded in tension while recording load. The ultimate strength of the material can be determined from the maximum load carried before failure. If the coupon strain is monitored with strain or displacement transducers then the stress-strain response of the material can be determined, from which the ultimate tensile strain, tensile modulus of elasticity, Poisson's ratio, and transition strain can be derived.

5. Significance and Use

5.1 This test method is designed to produce tensile property data for material specifications, research and development, quality assurance, and structural design and analysis. Factors that influence the tensile response and should therefore be reported include the following: material, methods of material preparation and lay-up, specimen stacking sequence, specimen preparation, specimen conditioning, environment of testing, specimen alignment and gripping, speed of testing, time at temperature, void content, and volume percent reinforcement. Properties, in the test direction, which may be obtained from this test method include the following:

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interferences

6.1 *Material and Specimen Preparation*—Poor material fabrication practices, lack of control of fiber alignment, and damage induced by improper coupon machining are known causes of high material data scatter in composites.

6.2 *Gripping*—A high percentage of grip-induced failures, especially when combined with high material data scatter, is an indicator of specimen gripping problems. Specimen gripping methods are discussed further in 7.2.4, 8.2, and 11.5.

6.3 *System Alignment*—Excessive bending will cause premature failure, as well as highly inaccurate modulus of elasticity determination. Every effort should be made to eliminate excess bending from the test system. Bending may occur as a result of misaligned grips or from specimens themselves if improperly installed in the grips or out-of-tolerance caused by poor specimen preparation. If there is any doubt as to the alignment inherent in a given test machine, then the alignment should be checked as discussed in 7.2.5.

6.4 *Edge Effects in Angle Ply Laminates*—Premature failure and lower stiffnesses are observed as a result of edge softening in laminates containing off-axis plies. Because of this, the strength and modulus for angle ply laminates can be drastically underestimated. For quasi-isotropic laminates containing significant 0° plies, the effect is not as significant.

7. Apparatus

7.1 *Micrometers*—A micrometer with a 4- to 5-mm [0.16- to 0.20-in] nominal diameter double-ball interface shall be

used to measure the thickness of the specimen. A micrometer with a flat anvil interface shall be used to measure the width of the specimen. The accuracy of the instruments shall be suitable for reading to within 1 % of the sample width and thickness. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of $\pm 2.5 \mu\text{m}$ [$\pm 0.0001 \text{ in.}$] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of $\pm 25 \mu\text{m}$ [$\pm 0.001 \text{ in.}$] is adequate for width measurement.

7.2 *Testing Machine*—The testing machine shall be in conformance with Practices E 4 and shall satisfy the following requirements:

7.2.1 *Testing Machine Heads*—The testing machine shall have both an essentially stationary head and a movable head.

7.2.2 *Drive Mechanism*—The testing machine drive mechanism shall be capable of imparting to the movable head a controlled velocity with respect to the stationary head. The velocity of the movable head shall be capable of being regulated as specified in 11.3.

7.2.3 *Load Indicator*—The testing machine load-sensing device shall be capable of indicating the total load being carried by the test specimen. This device shall be essentially free from inertia lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy over the load range(s) of interest of within $\pm 1 \%$ of the indicated value. The load range(s) of interest may be fairly low for modulus evaluation, much higher for strength evaluation, or both, as required.

NOTE 1—Obtaining precision load data over a large range of interest in the same test, such as when both elastic modulus and ultimate load are being determined, place extreme requirements on the load cell and its calibration. For some equipment, a special calibration may be required. For some combinations of material and load cell, simultaneous precision measurement of both elastic modulus and ultimate strength may not be possible and measurement of modulus and strength may have to be performed in separate tests using a different load cell range for each test.

7.2.4 *Grips*—Each head of the testing machine shall carry one grip for holding the test specimen so that the direction of load applied to the specimen is coincident with the longitudinal axis of the specimen. The grips shall apply sufficient lateral pressure to prevent slippage between the grip face and the coupon. If tabs are used the grips should be long enough that they overhang the beveled portion of the tab by approximately 10 to 15 mm [0.5 in.]. It is highly desirable to use grips that are rotationally self-aligning to minimize bending stresses in the coupon.

NOTE 2—Grip surfaces that are lightly serrated, approximately 1 serration/mm [25 serrations/in.], have been found satisfactory for use in wedge-action grips when kept clean and sharp; coarse serrations may produce grip-induced failures in untabbed coupons. Smooth gripping surfaces have been used successfully with either hydraulic grips or an emery cloth interface, or both.

7.2.5 *System Alignment*—Poor system alignment can be a major contributor to premature failure, to elastic property data scatter, or both. Practice E 1012 describes bending evaluation guidelines and describes potential sources of misalignment during tensile testing. In addition to Practice E 1012, the degree of bending in a tensile system can also be evaluated using the following related procedure. Specimen bending is considered separately in 11.6.1.

7.2.5.1 A rectangular alignment coupon, preferably similar in size and stiffness to the test specimen of interest, is instrumented with a minimum of three longitudinal strain gages of similar type, two on the front face across the width and one on the back face of the specimen, as shown in Fig. 1. Any difference in indicated strain between these gages during loading provides a measure of the amount of bending in the thickness plane (B_y) and width plane (B_z) of the coupon. The strain gage location should normally be located in the middle of the coupon gage section (if modulus determination is a concern), near a grip (if premature grip failures are a problem), or any combination of these areas.

7.2.5.2 When evaluating system alignment, it is advisable to perform the alignment check with the same coupon inserted in each of the four possible installation permutations (described relative to the initial position): initial (top-front facing observer), rotated back to front only (top back facing observer), rotated end for end only (bottom front facing observer), and rotated both front to back and end to end (bottom back facing observer). These four data sets provide an indication of whether the bending is due to the system itself or to tolerance in the alignment check coupon or gaging.

7.2.5.3 The zero strain point may be taken either before gripping or after gripping. The strain response of the alignment coupon is subsequently monitored during the gripping process, the tensile loading process, or both. Eq 1-3 use these indicated strains to calculate the ratio of the percentage of bending strain to average extensional strain for each bending plane of the alignment coupon and the total percent bending, B_{total} . Plotting percent bending versus axial average strain is useful in understanding trends in the bending behavior of the system.

7.2.5.4 Problems with failures during gripping would be reason to examine bending strains during the gripping process in the location near the grip. Concern over modulus data scatter would be reason to evaluate bending strains over the modulus evaluation load range for the typical transducer location. Excessive failures near the grips would be reason to evaluate bending strains near the grip at high loading levels. While the

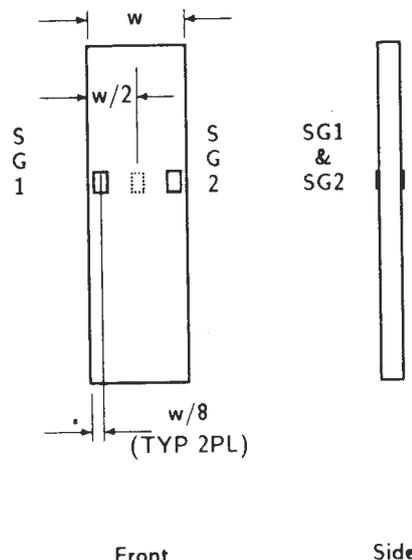


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

maximum advisable amount of system misalignment is material and location dependent, good testing practice is generally able to limit percent bending to a range of 3 to 5 % at moderate strain levels (>1000 $\mu\epsilon$). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

$$B_y = \frac{\epsilon_{ave} - \epsilon_3}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (1)$$

$$B_z = \frac{4/3 (\epsilon_2 - \epsilon_1)}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (2)$$

where:

B_y = percent bending about system y axis (about the narrow plane), as calculated by Eq 1, %;

B_z = percent bending about system z axis (about the wide plane), as calculated by Eq 2, %;

ϵ_1 , ϵ_2 , and ϵ_3 = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, $\mu\epsilon$; and

ϵ_{ave} = $(|\epsilon_1 + |\epsilon_2|)/2 + |\epsilon_3|/2$.

The total bending component is:

$$B_{total} = |B_y| + |B_z| \quad (3)$$

7.3 Strain-Indicating Device—Load-strain data, if required, shall be determined by means of either a strain transducer or an extensometer. Attachment of the strain-indicating device to the coupon shall not cause damage to the specimen surface. If Poisson's ratio is to be determined, the specimen shall be instrumented to measure strain in both longitudinal and lateral directions. If the modulus of elasticity is to be determined, the longitudinal strain should be simultaneously measured on opposite faces of the specimen to allow for a correction as a result of any bending of the specimen (see 11.6 for further guidance).

7.3.1 Bonded Resistance Strain Gage Selection—Strain gage selection is a compromise based on the type of material. An active gage length of 6 mm [0.25 in.] is recommended for most materials. Active gage lengths should not be less than 3 mm [0.125 in.].⁷ Gage calibration certification shall comply with Test Methods E 251. When testing woven fabric laminates, gage selection should consider the use of an active gage length that is at least as great as the characteristic repeating unit of the weave. Some guidelines on the use of strain gages on composites follow. A general reference on the subject is Tuttle and Brinson.⁸

7.3.1.1 Surface preparation of fiber-reinforced composites in accordance with Practice E 1237 can penetrate the matrix material and cause damage to the reinforcing fibers resulting in improper coupon failures. Reinforcing fibers should not be exposed or damaged during the surface preparation process.

⁷ A typical gage would have a 0.25-in. active gage length, 350- Ω resistance, a strain rating of 3 % or better, and the appropriate environmental resistance and thermal coefficient.

⁸ Tuttle, M. E. and Brinson, H. F., "Resistance-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol 24, No. 1, March 1984; pp. 54–65; errata noted in Vol 26, No. 2, June 1986, pp. 153–154.

The strain gage manufacturer should be consulted regarding surface preparation guidelines and recommended bonding agents for composites pending the development of a set of standard practices for strain gage installation surface preparation of fiber-reinforced composite materials.

7.3.1.2 Consideration should be given to the selection of gages having larger resistances to reduce heating effects on low-conductivity materials. Resistances of 350 Ω or higher are preferred. Additional consideration should be given to the use of the minimum possible gage excitation voltage consistent with the desired accuracy (1 to 2 V is recommended) to reduce further the power consumed by the gage. Heating of the coupon by the gage may affect the performance of the material directly, or it may affect the indicated strain as a result of a difference between the gage temperature compensation factor and the coefficient of thermal expansion of the coupon material.

7.3.1.3 Consideration of some form of temperature compensation is recommended, even when testing at standard laboratory atmosphere. Temperature compensation is required when testing in nonambient temperature environments.

7.3.1.4 Consideration should be given to the transverse sensitivity of the selected strain gage. The strain gage manufacturer should be consulted for recommendations on transverse sensitivity corrections and effects on composites. This is particularly important for a transversely mounted gage used to determine Poisson's ratio, as discussed in Note 11.

7.3.2 Extensometers—For most purposes, the extensometer gage length should be in the range of 10 to 50 mm [0.5 to 2.0 in.]. Extensometers shall satisfy, at a minimum, Practice E 83, Class B-1 requirements for the strain range of interest and shall be calibrated over that strain range in accordance with Practice E 83. For extremely stiff materials, or for measurement of transverse strains, the fixed error allowed by Class B-1 extensometers may be significant, in which case Class A extensometers should be considered. The extensometer shall be essentially free of inertia lag at the specified speed of testing, and the weight of the extensometer should not induce bending strains greater than those allowed in 6.3.

NOTE 3—It is generally less difficult to perform strain calibration on extensometers of longer gage length as less precision in displacement is required of the extensometer calibration device.

7.4 Conditioning Chamber—When conditioning materials at nonlaboratory environments, a temperature/vaporlevel-controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required relative vapor level to within $\pm 3\%$. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

7.5 Environmental Test Chamber—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the gage section of the test specimen at the required test environment during the mechanical test.

8. Sampling and Test Specimens

8.1 *Sampling*—Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data, the procedures outlined in Practice E 122 should be consulted. Report the method of sampling.

NOTE 4—If specimens are to undergo environmental conditioning to equilibrium, and are of such type or geometry that the weight change of the material cannot be properly measured by weighing the specimen itself (such as a tabbed mechanical coupon), then use another traveler coupon of the same nominal thickness and appropriate size (but without tabs) to determine when equilibrium has been reached for the specimens being conditioned.

8.2 *Geometry*—Design of mechanical test coupons, especially those using end tabs, remains to a large extent an art rather than a science, with no industry consensus on how to approach the engineering of the gripping interface. Each major composite testing laboratory has developed gripping methods for the specific material systems and environments commonly encountered within that laboratory. Comparison of these methods shows them to differ widely, making it extremely difficult to recommend a universally useful approach or set of approaches. Because of this difficulty, definition of the geometry of the test coupon is broken down into the following three levels, which are discussed further in each appropriate section:

Purpose	Degree of Geometry Definition
8.2.1 <i>General Requirements</i>	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 <i>Specific Recommendations</i>	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 <i>Detailed Examples</i>	Nonmandatory Typical Practices

8.2.1 *General Requirements:*

8.2.1.1 *Shape, Dimensions, and Tolerances*—The complete list of requirements for specimen shape, dimensions, and tolerances is shown in Table 1.

8.2.1.2 *Use of Tabs*—Tabs are not required. The key factor in the selection of specimen tolerances and gripping methods is the successful introduction of load into the specimen and the prevention of premature failure as a result of a significant discontinuity. Therefore, determine the need to use tabs, and specification of the major tab design parameters, by the end

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

Parameter	Requirement
Coupon Requirements:	
shape	constant rectangular cross-section
minimum length	gripping + 2 times width + gage length
specimen width	as needed ^A
specimen width tolerance	± 1 % of width
specimen thickness	as needed
specimen thickness tolerance	± 4 % of thickness
specimen flatness	flat with light finger pressure
Tab Requirements (if used):	
tab material	as needed
fiber orientation (composite tabs)	as needed
tab thickness	as needed
tab thickness variation between tabs	± 1 % tab thickness
tab bevel angle	5 to 90°, inclusive
tab step at bevel to specimen	feathered without damaging specimen

^A See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

result: acceptable failure mode and location. If acceptable failure modes occur with reasonable frequency, then there is no reason to change a given gripping method (see 11.10).

8.2.2 *Specific Recommendations:*

8.2.2.1 *Width, Thickness, and Length*—Select the specimen width and thickness to promote failure in the gage section and assure that the specimen contains a sufficient number of fibers in the cross section to be statistically representative of the bulk material. The specimen length should normally be substantially longer than the minimum requirement to minimize bending stresses caused by minor grip eccentricities. Keep the gage section as far from the grips as reasonably possible and provide a significant amount of material under stress and therefore produce a more statistically significant result. The minimum requirements for specimen design shown in Table 1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and toleranced coupon drawing. Therefore, recommendations on other important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These geometries have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system.

8.2.2.2 *Gripping/Use of Tabs*—There are many material configurations, such as multidirectional laminates, fabric-based materials, or randomly reinforced sheet-molding compounds, which can be successfully tested without tabs. However, tabs are strongly recommended when testing unidirectional materials (or strongly unidirectionally dominated laminates) to failure in the fiber direction. Tabs may also be required when testing unidirectional materials in the matrix direction to prevent gripping damage.

8.2.2.3 *Tab Geometry*—Recommendations on important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These dimensions have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system. The selection of a tab configuration that can successfully produce a gage section tensile failure is dependent upon the coupon material, coupon ply orientation, and the type of grips being used. When pressure-operated nonwedge grips are used with care, squared-off 90° tabs have been used successfully. Wedge-operated grips have been used most successfully with tabs having low bevel angles (7 to 10°) and a feathered smooth transition into the coupon. For alignment purposes, it is essential that the tabs be of matched thickness.

8.2.2.4 *Friction Tabs*—Tabs need not always be bonded to the material under test to be effective in introducing the load into the specimen. Friction tabs, essentially nonbonded tabs held in place by the pressure of the grip, and often used with emery cloth or some other light abrasive between the tab and the coupon, have been successfully used in some applications. In specific cases, lightly serrated wedge grips (see Note 2) have been successfully used with only emery cloth as the interface between the grip and the coupon. However, the abrasive used

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations^A

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, °
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

^A Dimensions in this table and the tolerances of Fig. 2 or Fig. 3 are recommendations only and may be varied so long as the requirements of Table 1 are met.

must be able to withstand significant compressive loads. Some types of emery cloth have been found ineffective in this application because of disintegration of the abrasive.⁹

8.2.2.5 Tab Material—The most consistently used bonded tab material has been continuous E-glass fiber-reinforced polymer matrix materials (woven or unwoven) in a [0/90]_ns laminate configuration. The tab material is commonly applied at 45° to the loading direction to provide a soft interface. Other configurations that have reportedly been successfully used have incorporated steel tabs or tabs made of the same material as is being tested.

8.2.2.6 Bonded Tab Length—When using bonded tabs, estimate the minimum suggested tab length for bonded tabs by the following simple equation. As this equation does not account for the peaking stresses that are known to exist at the ends of bonded joints. The tab length calculated by this equation should normally be increased by some factor to reduce the chances of joint failure:

$$L_{\min} = F^{tu}h/2F^{su} \quad (4)$$

where:

- L_{\min} = minimum required bonded tab length, mm [in.];
- F^{tu} = ultimate tensile strength of coupon material, MPa [psi];
- h = coupon thickness, mm [in.]; and
- F^{su} = ultimate shear strength of adhesive, coupon material, or tab material (whichever is lowest), MPa [psi].

8.2.2.7 Bonded Tab Adhesive—Any high-elongation (tough) adhesive system that meets the environmental requirements may be used when bonding tabs to the material under test. A uniform bondline of minimum thickness is desirable to reduce undesirable stresses in the assembly.

8.2.3 Detailed Examples—The minimum requirements for specimen design discussed in 8.2.1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and toleranced coupon drawing. Dimensionally toleranced specimen drawings for both tabbed and untabbed forms are shown as examples in Fig. 2 (SI) and Fig. 3 (inch-pound). The tolerances on these drawings are fixed, but satisfy the requirements of Table 1 for all of the recommended configurations of Table 2. For a specific configuration, the tolerances on Fig. 2 and Fig. 3 might be able to be relaxed.

8.3 Specimen Preparation:

8.3.1 Panel Fabrication—Control of fiber alignment is critical. Improper fiber alignment will reduce the measured

properties. Erratic fiber alignment will also increase the coefficient of variation. The specimen preparation method shall be reported.

8.3.2 Machining Methods—Specimen preparation is extremely important for this specimen. Mold the specimens individually to avoid edge and cutting effects or cut from them plates. If they are cut from plates, take precautions to avoid notches, undercuts, rough or uneven surfaces, or delaminations caused by inappropriate machining methods. Obtain final dimensions by water-lubricated precision sawing, milling, or grinding. The use of diamond tooling has been found to be extremely effective for many material systems. Edges should be flat and parallel within the specified tolerances.

8.3.3 Labeling—Label the coupons so that they will be distinct from each other and traceable back to the raw material and in a manner that will both be unaffected by the test and not influence the test.

9. Calibration

9.1 The accuracy of all measuring equipment shall have certified calibrations that are current at the time of use of the equipment.

10. Conditioning

10.1 Standard Conditioning Procedure—Unless a different environment is specified as part of the experiment, condition the test specimens in accordance with Procedure C of Test Method D 5229/D 5229M and store and test at standard laboratory atmosphere (23 ± 3°C [73 ± 5°F] and 50 ± 10 % relative humidity).

11. Procedure

11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

11.1.1 The tension specimen sampling method, coupon type and geometry, and conditioning travelers (if required).

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

NOTE 5—Determine specific material property, accuracy, and data reporting requirements before test for proper selection of instrumentation and data-recording equipment. Estimate operating stress and strain levels to aid in transducer selection, calibration of equipment, and determination of equipment settings.

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

11.1.4 If performed, the sampling method, coupon geometry, and test parameters used to determine density and reinforcement volume.

11.2 General Instructions:

11.2.1 Report any deviations from this test method, whether intentional or inadvertent.

⁹ E-Z Flex Metalite K224 cloth, Grit 120-J, available from Norton Company, Troy, NY 12181, has been found satisfactory in this application. Other equivalent types of emery cloth should also be suitable.

- DRAWING NOTES:
1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
 2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

NO DECIMAL	.X	.XX
± 3	± 1	± .3
 3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ± .5°.
 4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ± .5°.
 5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6√ (SYMBOLGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
 6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
 7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

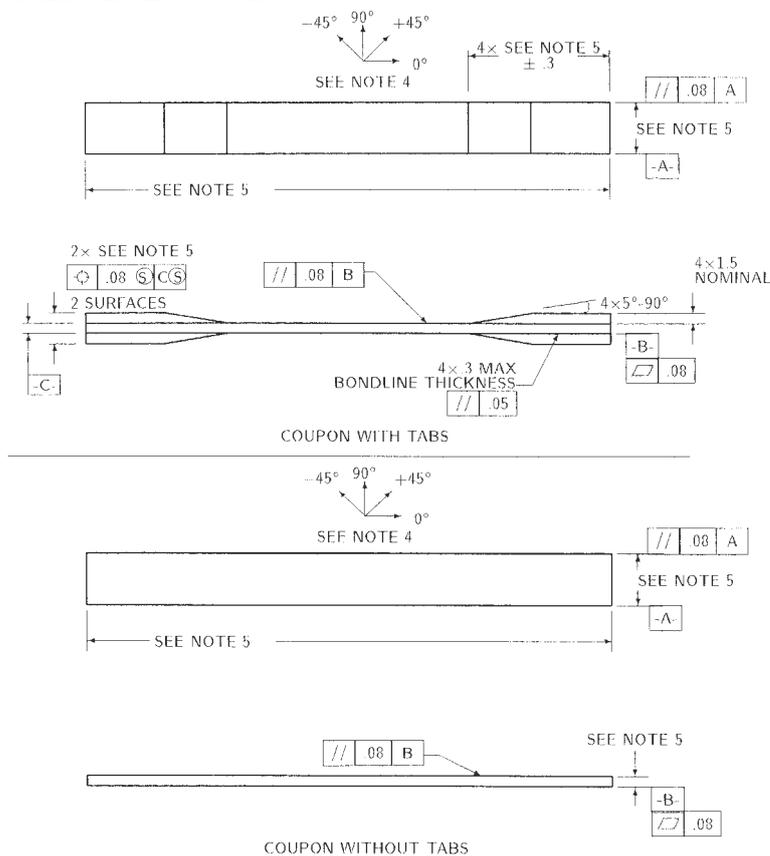


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

11.2.2 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels being tension tested. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D 792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D 3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D 2584. The void content equations of Test Methods D 2734 are applicable to both Test Method D 2584 and the matrix digestion procedures.

11.2.3 Following final specimen machining and any conditioning, but before the tension testing, determine the specimen area as $A = w \times h$, at three places in the gage section, and report the area as the average of these three determinations to the accuracy in 7.1. Record the average area in units of mm^2 (in.^2).

11.3 *Speed of Testing*—Set the speed of testing to effect a nearly constant strain rate in the gage section. If strain control is not available on the testing machine, this may be approximated by repeated monitoring and adjusting of the rate of load application to maintain a nearly constant strain rate, as mea-

sured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

11.3.1 *Strain-Controlled Tests*—A standard strain rate of 0.01 min^{-1} .

11.3.2 *Constant Head-Speed Tests*—A standard head displacement rate of 2 mm/min [0.05 in./min].

NOTE 6—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 50 times lower than estimated by head speeds have been observed.

11.4 *Test Environment*—Condition the specimen to the desired moisture profile and, if possible, test under the same conditioning fluid exposure level. However, cases such as

DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

.X	.XX	.XXX
±.1	±.03	±.01
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ±.5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ±.5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 64√ (SYMBOLGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROINCHES.)
5. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
6. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

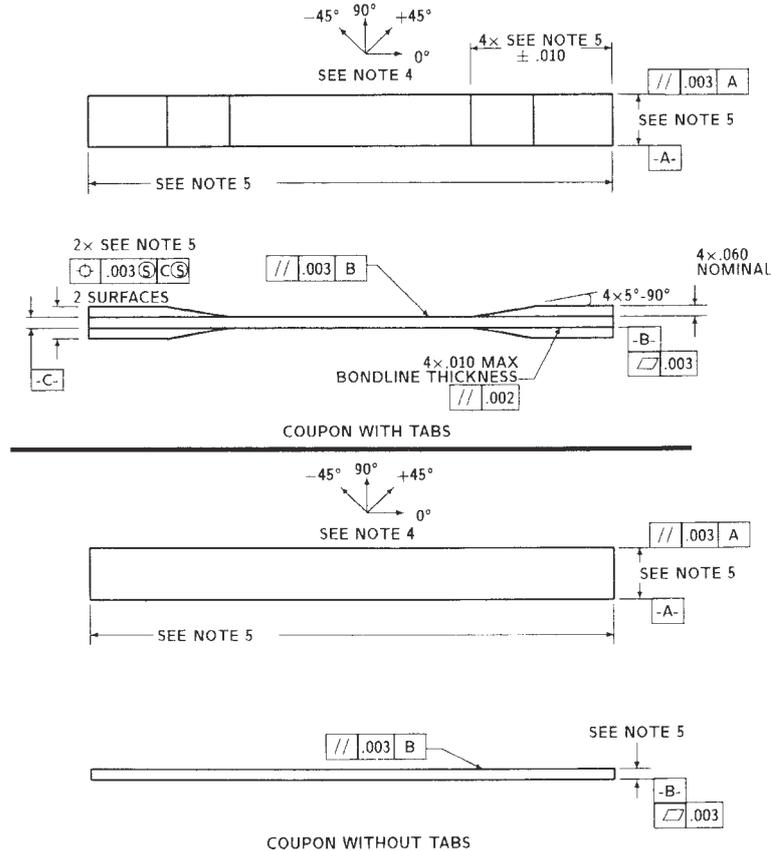


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

elevated temperature testing of a moist specimen place unrealistic requirements on the capabilities of common testing machine environmental chambers. In such cases, the mechanical test environment may need to be modified, for example, by testing at elevated temperature with no fluid exposure control, but with a specified limit on time to failure from withdrawal from the conditioning chamber. Modifications to the test environment shall be recorded.

11.4.1 Store the specimen in the conditioned environment until test time, if the testing area environment is different than the conditioning environment.

11.5 *Specimen Insertion*—Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the gripped specimen with the test direction. Tighten the grips, recording the pressure used on pressure controllable (hydraulic or pneumatic) grips.

NOTE 7—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment that results in premature failure of the specimen at the grip. When using

untabbed specimens, a folded strip of medium grade (80 to 150 grit) emery cloth between the specimen faces and the grip jaws (grit-side toward specimen) provides a nonslip grip on the specimen without jaw serration damage to the surface of the specimen. When using tabbed specimens, insert the coupon so that the grip jaws extend approximately 10 to 15 mm [0.5 in.] past the beginning of the tapered portion of the tab. Coupons having tabs that extend beyond the grips are prone to failure at the tab ends because of excessive interlaminar stresses.

11.6 *Transducer Installation*—If strain response is to be determined attach the strain-indication transducer(s) to the specimen, symmetrically about the mid-span, mid-width location. Attach the strain-recording instrumentation to the transducers on the specimen.

11.6.1 When determining modulus of elasticity, it is recommended that at least one specimen per like sample be evaluated with back-to-back axial transducers to evaluate the percent bending, using Eq 5, at the average axial strain checkpoint value (the mid range of the appropriate chord modulus strain range) shown in Table 3. A single transducer can be used if the

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point $\mu\epsilon^A$	End Point $\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
1000 ^B	3000	2000

^A 1000 $\mu\epsilon$ = 0.001 absolute strain.

^B This strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 6000 $\mu\epsilon$, a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

percent bending is no more than 3 %. When bending is greater than 3 % averaged strains from back-to-back transducers of like kind are recommended.

$$B_y = \frac{|\epsilon_f - \epsilon_b|}{|\epsilon_f + \epsilon_b|} \quad (5)$$

where:

ϵ_f = indicated strain from front transducer, $\mu\epsilon$;
 ϵ_b = indicated strain from back transducer, $\mu\epsilon$; and
 B_y = percent bending in specimen.

11.7 *Loading*—Apply the load to the specimen at the specified rate until failure, while recording data.

11.8 *Data Recording*—Record load versus strain (or transducer displacement) continuously or at frequent regular intervals. If a transition region or initial ply failures are noted, record the load, strain, and mode of damage at such points. If the specimen is to be failed, record the maximum load, the failure load, and the strain (or transducer displacement) at, or as near as possible to, the moment of rupture.

NOTE 8—Other valuable data that can be useful in understanding testing anomalies and gripping or specimen slipping problems includes load versus head displacement data and load versus time data.

11.9 *Failure Mode*—Record the mode and location of failure of the specimen. Choose, if possible, a standard description using the three-part failure mode code that is shown in Fig. 4.

11.10 *Grip/Tab Failures*—Reexamine the means of load introduction into the material if a significant fraction of failures in a sample population occur within one specimen width of the tab or grip. Factors considered should include the tab alignment, tab material, tab angle, tab adhesive, grip type, grip pressure, and grip alignment.

12. Calculation

12.1 *Tensile Stress/Tensile Strength*—Calculate the ultimate tensile strength using Eq 6 and report the results to three significant figures. If the tensile modulus is to be calculated, determine the tensile stress at each required data point using Eq 7.

$$F^{tu} = P^{max}/A \quad (6)$$

$$\sigma_i = P_i/A \quad (7)$$

where:

F^{tu} = ultimate tensile strength, MPa [psi];

P^{max} = maximum load before failure, N [lbf];

σ_i = tensile stress at i th data point, MPa [psi];

P_i = load at i th data point, N [lbf]; and

A = average cross-sectional area from 11.2.3, mm² [in.²].

12.2 *Tensile Strain/Ultimate Tensile Strain*—If tensile modulus or ultimate tensile strain is to be calculated, and material response is being determined by an extensometer, determine the tensile strain from the indicated displacement at each required data point using Eq 8 and report the results to three significant figures.

$$\epsilon_i = \delta_i/L_g \quad (8)$$

where:

ϵ_i = tensile strain at i th data point, $\mu\epsilon$;

δ_i = extensometer displacement at i th data point, mm [in.];
and

L_g = extensometer gage length, mm [in.].

12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

NOTE 9—To minimize potential effects of bending it is recommended that the strain data used for modulus of elasticity determination be the average of the indicated strains from each side of the specimen, as discussed in 7.3 and 11.6.

12.3.1 *Tensile Chord Modulus of Elasticity*—Select the appropriate chord modulus strain range from Table 3. Calculate the tensile chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 9. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Report the tensile chord modulus of elasticity to three significant figures. Also report the strain range used in the calculation. A graphical example of chord modulus is shown in Fig. 5.

12.3.1.1 The tabulated strain ranges should only be used for materials that do not exhibit a transition region (a significant change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range shall be used and reported.

$$E^{chord} = \Delta\sigma/\Delta\epsilon \quad (9)$$

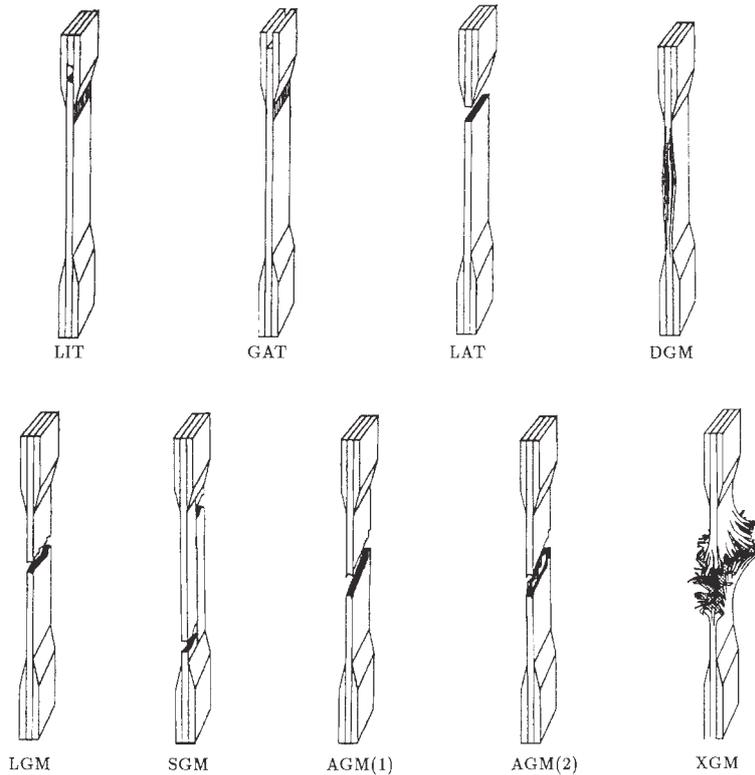
where:

E^{chord} = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];

$\Delta\sigma$ = difference in applied tensile stress between the two strain points of Table 3, MPa [psi]; and

$\Delta\epsilon$ = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.002).

12.3.2 *Tensile Modulus of Elasticity (Other Definitions)*—Other definitions of elastic modulus may be evaluated and reported at the user's discretion. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used,



First Character		Second Character		Third Character	
Failure Type	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Angled	A	Inside grip/tab	I	Bottom	B
edge Delamination	D	At grip/tab	A	Top	T
Grip/tab	G	<1W from grip/tab	W	Left	L
Lateral	L	Gage	G	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Multiple areas	M	Middle	M
long. Splitting	S	Various	V	Various	V
eXplosive	X	Unknown	U	Unknown	U
Other	O				

FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

and the results to three significant figures. Test Method E 111 provides additional guidance in the determination of modulus of elasticity.

NOTE 10—An example of another modulus definition is the secondary chord modulus of elasticity for materials that exhibit essentially bilinear stress-strain behavior. An example of secondary chord modulus is shown in Fig. 5.

12.4 Poisson's Ratio:

NOTE 11—If bonded resistance strain gages are being used, the error produced by the transverse sensitivity effect on the transverse gage will generally be much larger for composites than for metals. An accurate measurement of Poisson's ratio requires correction for this effect. The strain gage manufacturer should be contacted for information on the use of correction factors for transverse sensitivity.

12.4.1 Poisson's Ratio By Chord Method—Select the appropriate chord modulus longitudinal strain range from Table 3. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied load), ϵ_t , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied load), ϵ_l , strain range end points. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use

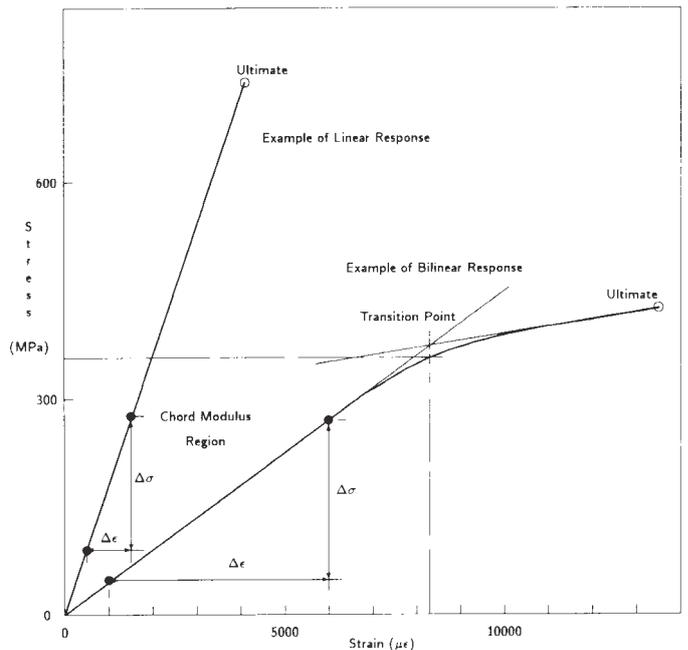


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

the closest available data point. Calculate Poisson's ratio by Eq 10 and report to three significant figures. Also report the strain range used.

$$\nu = -\Delta\epsilon_l/\Delta\epsilon_t \quad (10)$$

where:

- ν = Poisson's ratio;
- $\Delta\epsilon_l$ = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 3, $\mu\epsilon$; and
- $\Delta\epsilon_t$ = difference between the two longitudinal strain points of Table 3 (nominally either 0.001, 0.002, or 0.005).

12.4.2 *Tensile Poisson's Ratio (Other Definitions)*—Other definitions of Poisson's ratio may be evaluated and reported at the user's direction. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E 132 provides additional guidance in the determination of Poisson's ratio.

12.5 *Transition Strain*—Where applicable, determine the transition strain from either the bilinear longitudinal stress versus longitudinal strain curve or the bilinear transverse strain versus longitudinal strain curve. Create a best linear fit or chord line for each of the two linear regions and extend the lines until they intersect. Determine to three significant digits the longitudinal strain that corresponds to the intersection point and record this value as the transition strain. Report also the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined. A graphical example of transition strain is shown in Fig. 5.

12.6 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation and coefficient of variation (in percent) for each property determined:

$$\bar{x} = (\sum_{i=1}^n x_i)/n \quad (11)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2)/(n-1)} \quad (12)$$

$$CV = 100 \times s_{n-1}/\bar{x} \quad (13)$$

where:

- \bar{x} = sample mean (average);
- s_{n-1} = sample standard deviation;
- CV = sample coefficient of variation, in percent;
- n = number of specimens; and
- x_i = measured or derived property.

13. Report

13.1 Report the following information, or references pointing to other documentation containing this information, to the maximum extent applicable (reporting of items beyond the control of a given testing laboratory, such as might occur with material details or panel fabrication parameters, shall be the responsibility of the requestor):

- 13.1.1 The revision level or date of issue of this test method.
- 13.1.2 The date(s) and location(s) of the test.
- 13.1.3 The name(s) of the test operator(s).

13.1.4 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.

13.1.5 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.

13.1.6 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

13.1.8 If requested, report density, volume percent reinforcement, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test results.

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

13.1.11 Method of preparing the test specimen, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, coupon cutting method, identification of tab geometry, tab material, and tab adhesive used.

13.1.12 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.

13.1.13 Type of test machine, grips, jaws, grip pressure, alignment results, and data acquisition sampling rate and equipment type.

13.1.14 Results of system alignment evaluations, if any such were done.

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

13.1.16 Conditioning parameters and results, use of travelers and traveler geometry, and the procedure used if other than that specified in the test method.

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

13.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

13.1.21 Transducer placement on the specimen and transducer type for each transducer used.

13.1.22 If strain gages were used, the type, resistance, size, gage factor, temperature compensation method, transverse sensitivity, lead-wire resistance, and any correction factors used.

13.1.23 Stress-strain curves and tabulated data of stress versus strain for each specimen.

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

13.1.25 Individual strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load before failure.

13.1.26 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.27 Strain range used for chord modulus and Poisson's ratio determination.

13.1.28 If another definition of modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

13.1.29 Individual values of modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.30 If another definition of Poisson's ratio is used in addition to the chordwise definition, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

13.1.31 Individual values of Poisson's ratio, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.32 If transition strain is determined, the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined.

13.1.33 Individual values of transition strain (if applicable), and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

14. Precision and Bias

14.1 Precision:

14.1.1 The precision and bias of tension test strength and modulus measurements depend on strict adherence to the Test Method D 3039/D 3039M and are influenced by mechanical and material factors, specimen preparation, and measurement errors.

14.1.2 Mechanical factors that can affect the test results include: the physical characteristics of the testing machine (stiffness, damping, and mass), accuracy of loading and displacement/strain measurement, speed of loading, alignment of test specimen with applied load, parallelism of the grips, grip pressure, and type of load control (displacement, strain, or load).

14.1.3 Material factors that can affect test results include: material quality and representativeness, sampling scheme, and specimen preparation (dimensional accuracy, tab material, tab taper, tab adhesive, and so forth).

14.1.4 The mean tensile strength for a strain rate sensitive, glass/epoxy tape composite testing in the fiber direction was found to increase by approximately two standard deviations with decreasing time to failure tested at the limits of the recommended time to failure prescribed in Test Method D 3039/D 3039M. This result suggest that caution must be used when comparing test data obtained for strain rate sensitive composite materials tested in accordance with this standard.

14.1.5 Measurement errors arise from the use of specialized measuring instruments such as load cells, extensometers and strain gages, micrometers, data acquisition devices, and so forth.

14.1.6 Data obtained from specimens that fracture outside the gage are should be used with caution as this data may not be representative of the material. Failure in the grip region indicates the stress concentration at the tab is greater than the

natural strength variation of the material in the gage section. A tapered tab, bonded with a ductile low-modulus adhesive has a relatively low-stress concentration and should result in the lowest frequency of grip failures. Low-strength bias increases with the frequency of grip failures by an amount proportional to the stress concentration at the tab.

14.1.7 An interlaboratory test program was conducted where an average of five specimens each, of six different materials and lay-up configurations, were tested by nine different laboratories.¹⁰ Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E 691 for tensile strength, modulus, and failure strain. All data except that for Material B (90° lay-up) was normalized with respect to an average thickness. The materials listed in Table 15 are defined as:

A	IM-6/3501-6 uni-tape (0)n
B	IM-6/3501-6 uni-tape (90)n
C	IM-6/3501-6 uni-tape (90/0)n
F	Glass/epoxy fabric (7781 glass/Ciba R 7376 Epoxy)-warp aligned
G	Carbon/epoxy fabric (66108 carbon/Ciba R 6376

TABLE 4 Precision Statistics

Material	\bar{x}	$s \bar{x}$	S_r	S_R	$S_r/\bar{x}, \%$	$S_R/\bar{x}, \%$
Strength, ksi						
A	342.69	8.49	10.68	12.78	3.12	3.73
B	8.52	0.52	0.85	0.92	9.94	10.84
C	156.37	3.84	10.85	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.92	3.92	3.23	3.23
Modulus, Msi						
A	23.57	0.65	0.63	0.86	2.69	3.66
B	1.30	0.05	0.04	0.06	3.12	4.57
C	12.38	0.29	0.37	0.44	2.98	3.54
F	3.95	0.08	0.04	0.09	1.01	2.28
G	9.47	0.16	0.12	0.20	1.29	2.06
Failure Strain, %						
A	1.36	0.06	0.07	0.08	4.95	6.15
B	0.66	0.04	0.08	0.09	12.47	13.02
C	1.22	0.03	0.06	0.06	5.25	5.27
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19	8.03
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.83	4.13

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of S_r/\bar{X} and S_R/\bar{X} represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively. These averages permit a relative comparison of the repeatability (within laboratory precision) and reproducibility (between laboratory precision) of the tension test parameters. Overall, this indicates that the failure strain measurements exhibit the least repeatability and reproducibility of all the parameters measured while modulus was found to provide the highest repeatability and reproducibility of the parameters measured.

¹⁰ International Harmonization of Composite Materials—Phase 1: Harmonization of ASTM D 3039/D 3039M and ISO 527-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

Parameter	Average of S_r/X , %	Average of S_R/X , %
Strength	5.11	6.00
Modulus	2.22	3.22
Failure strain	5.94	7.32

14.1.9 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on lay-up configuration, mate-

rial and specimen preparation techniques, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

14.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

15. Keywords

15.1 composite materials; modulus of elasticity; Poisson's ratio; tensile properties; tensile strength

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D 7264/D 7264M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method determines the flexural stiffness and strength properties of polymer matrix composites.

1.1.1 *Procedure A*—A three-point loading system utilizing center loading on a simply supported beam.

1.1.2 *Procedure B*—A four-point loading system utilizing two load points equally spaced from their adjacent support points, with a distance between load points of one-half of the support span.

NOTE 1—Unlike Test Method D 6272, which allows loading at both one-third and one-half of the support span, in order to standardize geometry and simplify calculations this standard permits loading at only one-half the support span.

1.2 For comparison purposes, tests may be conducted according to either test procedure, provided that the same procedure is used for all tests, since the two procedures generally give slightly different property values.

1.3 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. Within the text, the inch-pound units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D 790 Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials
- D 2344/D 2344M Test Method for Short-Beam Strength of

- Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates
- D 3878 Terminology for Composite Materials
- D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials
- D 5687/D 5687M Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation
- D 6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending
- D 6856 Guide for Testing Fabric-Reinforced “Textile” Composite Materials
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
- E 18 Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials
- E 122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average for a Characteristic of a Lot or Process
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
- E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics
- E 1309 Guide for Identification of Fiber-Reinforced Polymer-Matrix Composite Materials in Databases
- E 1434 Guide for Recording Mechanical Test Data of Fiber-Reinforced Composite Materials in Databases

2.2 Other Documents:

- ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric³
- ANSI B46.1-1995 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)³

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terminology D 3878 defines the terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology E 6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E 456 and Practice E 177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D 3878 shall have precedence over the other documents.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.04 on Lamina and Laminate Test Methods.

Current edition approved April 1, 2007. Published April 2007. Originally approved in 2006. Last previous edition approved in 2006 as D 7264/D 7264M – 06.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard’s Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, http://www.ansi.org.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 flexural strength, n —the maximum stress at the outer surface of a flexure test specimen corresponding to the peak applied force prior to flexural failure.

3.2.2 flexural modulus, n —the ratio of stress range to corresponding strain range for a test specimen loaded in flexure.

3.3 Symbols:

- b = specimen width
- CV = sample coefficient of variation, in percent
- E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity
- E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity
- h = specimen thickness
- L = support span
- m = slope of the secant of the load-deflection curve
- n = number of specimens
- P = applied force
- s_{n-1} = sample standard deviation
- x_i = measured or derived property
- \bar{x} = sample mean
- δ = mid-span deflection of the specimen
- ϵ = strain at the outer surface at mid-span of the specimen
- σ = stress at the outer surface at mid-span of the specimen

4. Summary of Test Method

4.1 A bar of rectangular cross section, supported as a beam, is deflected at a constant rate as follows:

4.1.1 Procedure A—The bar rests on two supports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports (see Fig. 1).

4.1.2 Procedure B—The bar rests on two supports and is loaded at two points (by means of two loading noses), each an equal distance from the adjacent support point. The distance between the loading noses (that is, the load span) is one-half of the support span (see Fig. 2).

4.2 Force applied to the specimen and resulting specimen deflection at the center of span are measured and recorded until the failure occurs on either one of the outer surfaces, or the deformation reaches some pre-determined value.

4.3 The major difference between four-point and three-point loading configurations is the location of maximum bending moment and maximum flexural stress. With the four-point configuration the bending moment is constant between the central force application members. Consequently, the maximum flexural stress is uniform between the central force application members. In the three-point configuration, the maximum flexural stress is located directly under the center

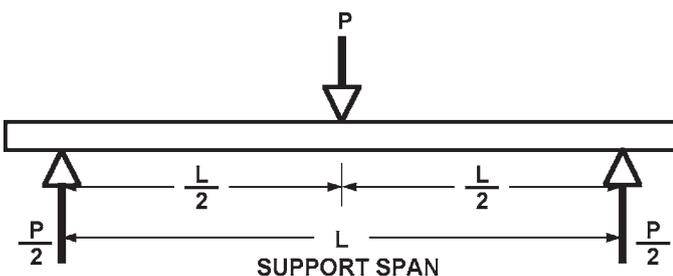


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

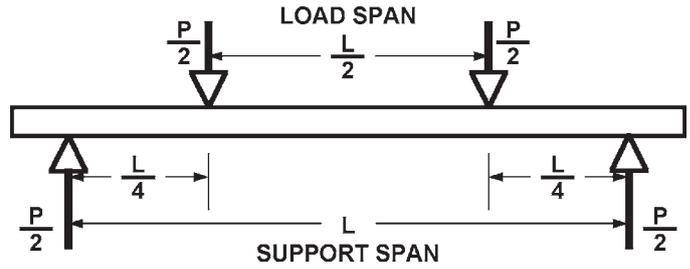


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

force application member. Another difference between the three-point and four-point configurations is the presence of resultant vertical shear force in the three-point configuration everywhere in the beam except right under the mid-point force application member whereas in the four-point configuration, the area between the central force application members has no resultant vertical shear force. The distance between the outer support members is the same as in the equivalent three-point configuration.

4.4 The test geometry is chosen to limit out-of-plane shear deformations and avoid the type of short beam failure modes that are interrogated in Test Method D 2344/D 2344M.

5. Significance and Use

5.1 This test method determines the flexural properties (including strength, stiffness, and load/deflection behavior) of polymer matrix composite materials under the conditions defined. Procedure A is used for three-point loading and Procedure B is used for four-point loading. This test method was developed for optimum use with continuous-fiber-reinforced polymer matrix composites and differs in several respects from other flexure methods, including the use of a standard span-to-thickness ratio of 32:1 versus the 16:1 ratio used by Test Methods D 790 (a plastics-focused method covering three-point flexure) and D 6272 (a plastics-focused method covering four-point flexure).

5.2 This test method is intended to interrogate long-beam strength in contrast to the short-beam strength evaluated by Test Method D 2344/D 2344M.

5.3 Flexural properties determined by these procedures can be used for quality control and specification purposes, and may find design applications.

5.4 These procedures can be useful in the evaluation of multiple environmental conditions to determine which are design drivers and may require further testing.

5.5 These procedures may also be used to determine flexural properties of structures.

6. Interferences

6.1 Flexural properties may vary depending on which surface of the specimen is in compression, as no laminate is perfectly symmetric (even when full symmetry is intended); such differences will shift the neutral axis and will be further affected by even modest asymmetry in the laminate. Flexural properties may also vary with specimen thickness, conditioning and/or testing environments, and rate of straining. When evaluating several datasets these parameters should be equivalent for all data in the comparison.

6.2 For multidirectional laminates with a small or moderate number of laminae, flexural modulus and flexural strength may be affected by the ply-stacking sequence and will not necessarily correlate with extensional modulus, which is not stacking-sequence dependent.

6.3 The calculation of the flexural properties in Section 13 of this standard is based on beam theory, while the specimens in general may be described as plates. The differences may in some cases be significant, particularly for laminates containing a large number of plies in the $\pm 45^\circ$ direction. The deviations from beam theory decrease with decreasing width.

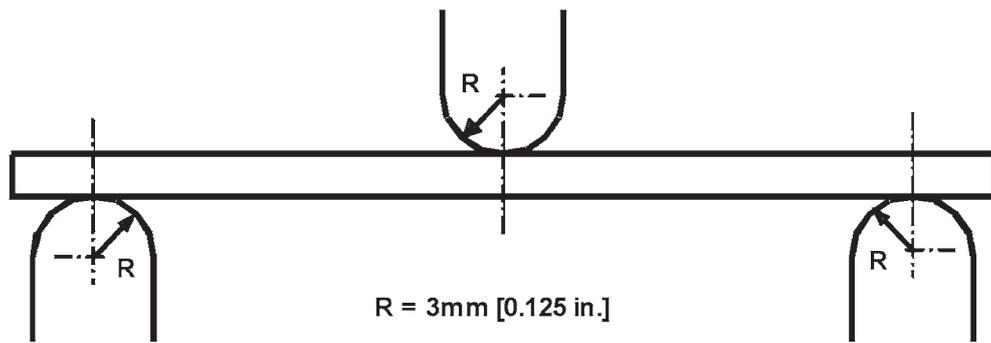
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces and resisting moments on the beam, which superpose with the intended loading. The type of supports used is to be reported as described in Section 14. The loading noses should also uniformly contact the specimen across its width. Lack of

uniform contact can affect flexural properties by initiating damage by crushing and by non-uniformly loading the beam. Formulas used in this standard assume a uniform line loading at the specimen supports across the entire specimen width; deviations from this type of loading is beyond the scope of this standard.

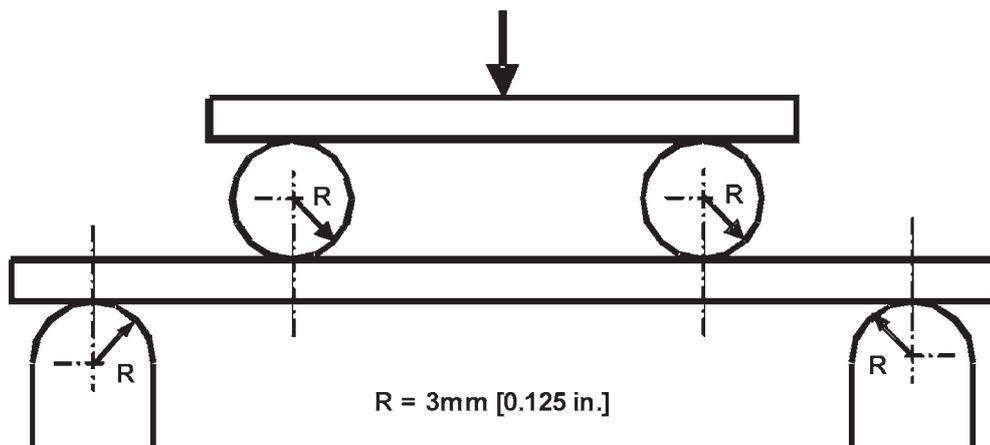
7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—Properly calibrated, which can be operated at a constant rate of crosshead motion, and in which the error in the force application system shall not exceed $\pm 1\%$ of the full scale. The force indicating mechanism shall be essentially free of inertia lag at the crosshead rate used. Inertia lag shall not exceed 1% of the measured force. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

7.2 *Loading Noses and Supports*—The loading noses and supports shall have cylindrical contact surfaces of radius 3.00 mm [0.125 in.] as shown in Fig. 3, with a hardness of 60 to 62 HRC, as specified in Test Methods E 18, and shall have finely



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



Four-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Rolling Loading Noses

FIG. 3 Example Loading Nose and Supports for Procedures A (top) and B (bottom)

ground surfaces free of indentation and burrs with all sharp edges relieved. Loading noses and supports may be arranged in a fixed, rotatable or rolling arrangement. Typically, with composites, rotatable or fixed arrangements are used.

7.3 Micrometers—For width and thickness measurements the micrometers shall use a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in.] nominal diameter ball-interface on an irregular surface such as the bag side of a laminate, and a flat anvil interface on machined edges or very smooth tooled surfaces. A micrometer or caliper with flat anvil faces shall be used to measure the length of the specimen. The accuracy of the instrument(s) shall be suitable for reading to within 1 % or better of the specimen dimensions. For typical section geometries, an instrument with an accuracy of ± 0.02 mm [± 0.001 in.] is desirable for thickness and width measurement, while an instrument with an accuracy of ± 0.1 mm [± 0.004 in.] is adequate for length measurement.

7.4 Deflection Measurement—Specimen deflection at the common center of the loading span shall be measured by a properly calibrated device having an accuracy of ± 1 % or better of the expected maximum displacement. The device shall automatically and continuously record the deflection during the test.

7.5 Conditioning Chamber—When conditioning materials at non-laboratory environments, a temperature/vapor-level controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within $\pm 1^\circ\text{C}$ [$\pm 2^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 3 % relative humidity, as outlined in Test Method **D 5229/D 5229M**. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

7.6 Environmental Test Chamber—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the test specimen at the required temperature

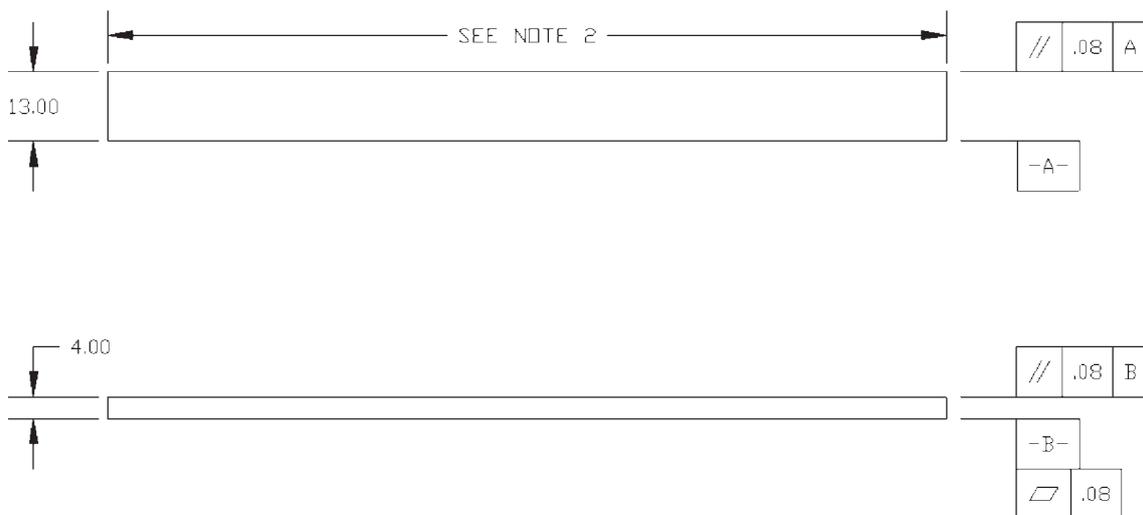
within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 5 % relative humidity.

8. Test Specimens

8.1 Specimen Preparation—Guide **D 5687/D 5687M** provides recommended specimen preparation practices and should be followed when practical.

8.2 Specimen Size is chosen such that the flexural properties are determined accurately from the tests. For flexural strength, the standard support span-to-thickness ratio is chosen such that failure occurs at the outer surface of the specimens, due only to the bending moment (see Notes 2 and 3). The standard span-to-thickness ratio is 32:1, the standard specimen thickness is 4 mm [0.16 in.], and the standard specimen width is 13 mm [0.5 in.] with the specimen length being about 20 % longer than the support span. See **Figs. 4 and 5** for a drawing of the standard test specimen in SI and inch-pound units, respectively. For fabric-reinforced textile composite materials, the width of the specimen shall be at least two unit cells, as defined in Guide **D 6856**. If the standard specimen thickness cannot be obtained in a given material system, an alternate specimen thickness shall be used while maintaining the support span-to-thickness ratio [32:1] and specimen width. Optional support span-to-thickness ratios of 16:1, 20:1, 40:1, and 60:1 may also be used provided it is so noted in the report. Also, the data obtained from a test using one support span-to-thickness ratio may not be compared with the data from another test using a different support span-to-thickness ratio.

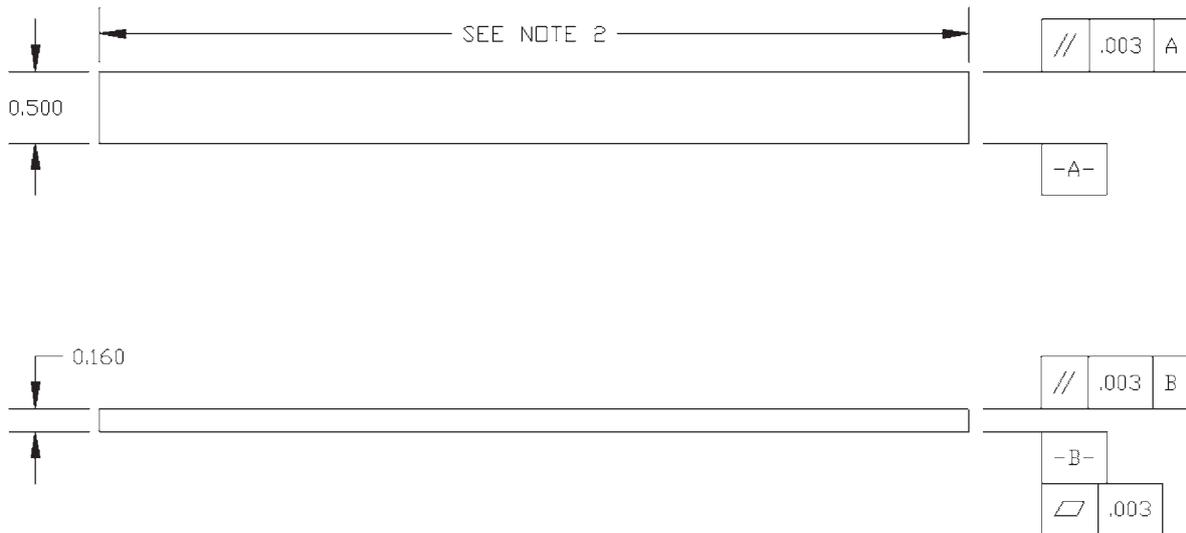
8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.



NOTE 1—Drawing interpretation per **ANSI Y14.5-1999** and **ANSI B46.1-1995**.

NOTE 2—See **8.2** and **11.3** of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)



NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.

NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 5 Standard Flexural Test Specimen Drawing (Inch-Pound)

NOTE 2—A support span-to-thickness ratio of less than 32:1 may be acceptable for obtaining the desired flexural failure mode when the ratio of the lower of the compressive and tensile strength to out-of-plane shear strength is less than 8, but the support span-to-thickness ratio must be increased for composite laminates having relatively low out-of-plane shear strength and relatively high in-plane tensile or compressive strength parallel to the support span.

NOTE 3—While laminate stacking sequence is not limited by this test method, significant deviations from a lay-up of nominal balance and symmetry may induce unusual test behaviors and a shift in the neutral axis.

9. Number of Test Specimens

9.1 Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data the procedures outlined in Practice E 122 should be consulted. Report the method of sampling.

10. Conditioning

10.1 The recommended pre-test specimen condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method D 5229/D5229M; however, if the test requester does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, conditioning is not required and the test specimens may be tested as prepared.

NOTE 4—The term *moisture*, as used in Test Method D 5229/D5229M, includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.

10.2 The pre-test specimen conditioning process, to include specified environmental exposure levels and resulting moisture content, shall be reported with the data.

10.3 If there is no explicit conditioning process, the conditioning process shall be reported as “unconditioned” and the moisture content as “unknown.”

11. Procedure

11.1 Condition the specimens as required. Store the specimens in the conditioned environment until test time.

11.2 Following final specimen machining and any conditioning but before testing, measure and record the specimen width and thickness at the specimen mid-section, and the specimen length, to the specified accuracy.

11.3 Measure the span accurately to the nearest 0.1 mm [0.004 in.] for spans less than 63 mm [2.5 in.] and the nearest 0.3 mm [0.012 in.] for spans greater than or equal to 63 mm [2.5 in.]. Use the measured span for all calculations. See Annex A1 for information on the determination of and setting of the span.

11.4 *Speed of Testing*—Set the speed of testing at a rate of crosshead movement of 1.0 mm/min [0.05 in./min] for a specimen with standard dimensions. For specimens with dimensions that vary greatly from the standard dimensions, a crosshead rate that will give a similar rate of straining at the outer surface can be obtained via the method outlined in Test Methods D 790 for Procedure A and Test Method D 6272 for Procedure B.

11.5 Align the loading nose(s) and supports so that the axes of the cylindrical surfaces are parallel. For Procedure A, the loading nose shall be midway between the supports. For Procedure B, the load span shall be one-half of the support span and symmetrically placed between the supports. The parallelism may be checked by means of plates with parallel grooves into which the loading nose(s) and supports will fit when properly aligned. Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading noses and supports. See Annex A1 for setting and measuring span.

11.6 Apply the force to the specimen at the specified crosshead rate. Measure and record force-deflection data at a

rate such that a minimum of 50 data points comprise the force deflection curve. (A higher sampling rate may be required to properly capture any nonlinearities or progressive failure of the specimen.) Measure deflection by a transducer under the specimen in contact with it at the center of the support span, the transducer being mounted stationary relative to the specimen supports. Do not use the measurement of the motion of the loading nose relative to the supports as this will not take into account the rotation of the specimen about the load and support noses, nor account for the compliance in the loading nose or crosshead.

11.7 *Failure Modes*—To obtain valid flexural strength, it is necessary that the specimen failure occurs on either one of its outer surfaces, without a preceding interlaminar shear failure or a crushing failure under a support or loading nose. Failure on the tension surface may be a crack while that on the compression surface may be local buckling. Buckling may be manifested as fiber micro-buckling or ply-level buckling. Ply-level buckling may result in, or be preceded by delamination of the outer ply.

11.7.1 *Failure Identification Codes*—Record the mode, area, and location of failure for each specimen. Choose a standard failure identification code based on the three-part code shown in Fig. 6. A multimode failure can be described by including each of the appropriate failure-mode codes between the parentheses of the M failure mode.

12. Validation

12.1 Values for properties at failure shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious, fortuitous flaw, unless such flaws constitute a variable being studied. Specimens that fail in an unacceptable failure mode shall not be included in the flexural property calculations. Retests shall be made for any specimen for which values are not calculated. If a significant fraction (>50 %) of the specimens fail in an unacceptable failure mode then the span-to-thickness ratio (for excessive shear failures) or the loading nose diameter (crushing under the loading nose) should be reexamined.

13. Calculation

NOTE 5—In determination of the calculated value of some of the properties listed in this section it is necessary to determine if the toe compensation (see Annex A2) adjustment must be made. This toe compensation correction shall be made only when it has been shown that the toe region of the curve is due to take up of the slack, alignment, or seating of the specimen and is not an authentic material response.

13.1 *Maximum Flexural Stress, Procedure A*—When a beam of homogenous, elastic material is tested in flexure as a

beam simply supported at two points and loaded at the midpoint, the maximum stress at the outer surface occurs at mid-span. The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 6):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \tag{1}$$

where:

- σ = stress at the outer surface at mid-span, MPa [psi],
- P = applied force, N [lbf],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 6—Eq 1 applies strictly to materials for which the stress is linearly proportional to strain up to the point of rupture and for which the strains are small. Since this is not always the case, a slight error will be introduced in the use of this equation. The equation will however, be valid for comparison data and specification values up to the maximum fiber strain of 2 % for specimens tested by the procedure herein described. It should be noted that the maximum ply stress may not occur at the outer surface of a multidirectional laminate.⁴ Laminated beam theory must be applied to determine the maximum tensile stress at failure. Thus, Eq 1 yields an apparent strength based on homogeneous beam theory. This apparent strength is highly dependent on the ply-stacking sequence for multidirectional laminates.

13.2 *Maximum Flexural Stress, Procedure B*—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to 1/2 the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

$$\sigma = \frac{3PL}{4bh^2} \tag{2}$$

where:

- σ = stress at the outer surface in the load span region, MPa [psi],
- P = applied force, N [lbf],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.], and

⁴ For the theoretical details, see Whitney, J. M., Browning, C. E., and Mair, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," *Composite Materials: Testing and Design (Third Conference)*, ASTM STP 546, 1974, pp. 30-45.

First Character		Second Character		Third Character	
Failure Mode	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Tension	T	At loading nose	A	Top	T
Compression	C	Between loading noses	B	Bottom	B
Buckling	B	at Support nose	S	Left	L
interlaminar Shear	S	between Load and support nose	L	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Unknown	U	Middle	M
Other	O			Various	V
				Unknown	U

FIG. 6 Flexure Test Specimen Three-Part Failure Identification Code

h = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 7—The limitations defined for Eq 1 in Note 6 apply also to Eq 2.

13.3 *Flexural Strength*—The flexural strength is equal to the maximum stress at the outer surface corresponding to the peak applied force prior to failure. (for multidirectional laminates, see Note 6). It is calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the peak applied force.

13.4 *Flexural Stress at a Given Strain*—The maximum flexural stress at any given strain may be calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the applied force read from the force-deflection curve at the deflection corresponding to the desired strain (for multidirectional laminates, see Note 6). Equations for calculating strains from the measured deflection are given in 13.5 and 13.6.

13.5 *Maximum Strain, Procedure A*—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it may be calculated as follows:

$$\epsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (3)$$

where:

ϵ = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
 δ = mid-span deflection, mm [in.],
 L = support span, mm [in.], and
 h = thickness of beam, mm [in.].

13.6 *Maximum Strain, Procedure B*—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it may be calculated as follows:

$$\epsilon = \frac{4.36\delta h}{L^2} \quad (4)$$

where:

δ = mid-span deflection, mm [in.],
 ϵ = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
 L = support span, mm [in.], and
 h = thickness of beam, mm [in.].

13.7 *Flexural Modulus of Elasticity*:

13.7.1 *Flexural Chord Modulus of Elasticity*—The flexural chord modulus of elasticity is the ratio of stress range and corresponding strain range. For calculation of flexural chord modulus, the recommended strain range is 0.002 with a start point of 0.001 and an end point 0.003. If the data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate the flexural chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 5 (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8).

$$E_f^{chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (5)$$

where:

E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity, MPa [psi],
 $\Delta\sigma$ = difference in flexural stress between the two selected strain points, MPa [psi], and
 $\Delta\epsilon$ = difference between the two selected strain points (nominally 0.002).

13.7.1.1 Report the chord modulus of elasticity in MPa [psi] for the strain range 0.001 to 0.003. If a different strain range is used in the calculations, also report the strain range used.

NOTE 8—Shear deformation can seriously reduce the apparent flexural modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low span-to-thickness ratios.⁵ For this reason, a high span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

13.7.2 *Flexural Secant Modulus of Elasticity*—The flexural secant modulus of elasticity is the ratio of stress to corresponding strain at any given point on the stress-strain curve. The flexural secant modulus is same as the flexural chord modulus in which the initial strain point is zero. It shall be expressed in MPa [psi]. It is calculated as follows (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8):

13.7.2.1 *For Procedure A*:

$$E_f^{secant} = \frac{L^3 m}{4bh^3} \quad (6)$$

where:

E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity, MPa [psi],
 L = support span, mm [in.],
 b = width of beam, mm [in.],
 h = thickness of beam, mm [in.] and
 m = slope of the secant of the force-deflection curve.

13.7.2.2 *For Procedure B*:

$$E_f^{secant} = \frac{0.17L^3 m}{bh^3} \quad (7)$$

where E_f^{secant} , m , L , b , and h are the same as for Eq 6.

13.7.3 Chord modulus of elasticity shall be reported although other definitions of moduli may also be used. However, when other definitions of moduli are used, it should be clearly indicated in the report.

13.8 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation, and coefficient of variation for each property determined:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (8)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right)}{n-1}}$$

$$CV = 100 \cdot \frac{s_{n-1}}{\bar{x}}$$

where:

\bar{x} = average value or sample mean,
 x_i = value of single measured or derived property,
 n = number of specimens,
 s_{n-1} = estimated standard deviation,
 CV = coefficient of variation in percentage.

⁵ For discussion of these effects, see Zweben C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.

14. Report

14.1 The information reported for this test method includes material identification and mechanical testing data. These data shall be reported in accordance with Guides E 1309 and E 1471. At a minimum, the following should be reported:

14.1.1 The revision level or date of issue of the test method used.

14.1.2 The date(s) and location(s) of the testing.

14.1.3 The name(s) of the test operator(s).

14.1.4 The test Procedure used (A or B).

14.1.5 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.

14.1.6 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from the manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.

14.1.7 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.

14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

14.1.9 If requested, report density, reinforcement volume fraction, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test data.

14.1.10 Average ply thickness of the material.

14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.

14.1.12 Method of preparing the test specimens, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, and specimen cutting method.

14.1.13 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.

14.1.14 Type of test machine, grips, jaws, alignment data, and data acquisition sampling rate and equipment type.

14.1.15 Dimensions of each specimen to at least three significant figures, including specimen width, thickness, and overall length.

14.1.16 Conditioning parameters and results, and the procedure used if other than that specified in this test method.

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

14.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.

14.1.19 Number of specimens tested.

14.1.20 Load-span length, support-span length, and support span-to-thickness ratio.

14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.

14.1.22 Speed of testing.

14.1.23 Transducer placement on the specimen, transducer type, and calibration data for each transducer used.

14.1.24 Force-deflection curves for each specimen. Note method and offset value if toe compensation was applied to force-deflection curve.

14.1.25 Tabulated data of flexural stress versus strain for each specimen.

14.1.26 Individual flexural strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load prior to failure.

14.1.27 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.28 Strain range used for the flexural chord modulus of elasticity determination.

14.1.29 Individual values of flexural chord modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.30 If an alternate definition of flexural modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

14.1.31 Individual values of the alternate (see above) flexural modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 Individual maximum flexural stresses, and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test in which the failure load was less than the maximum load before failure.

14.1.33 For flexural modulus only tests: maximum load applied, strain at maximum applied load, and calculated flexural modulus of elasticity (E_f).

14.1.34 Individual maximum flexural strains and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test that was truncated to 2 % strain.

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The data required for the development of precision is not currently available for this test method.

15.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

16. Keywords

16.1 fiber-reinforced composites; flexural properties; stiffness; strength

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

A1.1 For flexural fixtures that have adjustable spans, it is important that the span between the supports is maintained constant or the actual measured span is used in the calculation of flexural stress, flexural modulus and strain, and the loading noses are positioned and aligned properly with respect to the supports. Some simple steps as follows can improve the repeatability of results when using adjustable span fixtures.

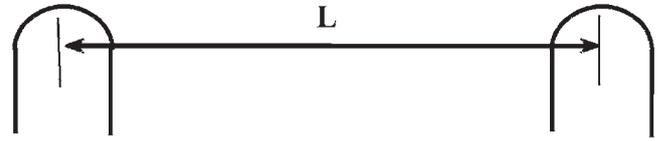


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

A1.2 Measurement of Span:

A1.2.1 This technique is needed to ensure that the correct span, not an estimated span, is used in calculation of results.

A1.2.2 Scribe a permanent line or mark at the exact center of the support where the specimen makes complete contact. The type of mark depends on whether the supports are fixed or rotatable (see Figs. A1.1 and A1.2).



FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

A1.2.3 Using a vernier caliper with pointed tips that is readable to at least 0.1 mm [0.004 in.], measure the distance between the supports, and use this measurement of span in the calculations.

A1.3 Setting the Span and Alignment of Loading Nose(s)—To ensure a constant day-to-day setup of the span and ensure the alignment and proper positioning of the loading nose(s), simple jigs should be manufactured for each of the standard setups used. An example of a jig found to be useful is shown in Fig. A1.3.

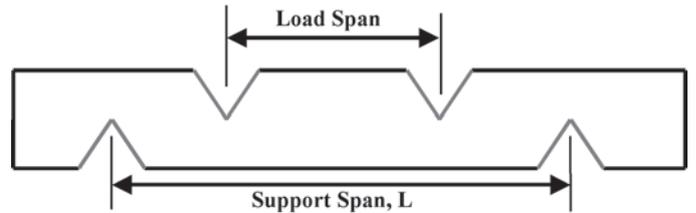


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

A2. TOE COMPENSATION

A2.1 In a typical force-deflection curve (see Fig. A2.1) there is a toe region, AC, which does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a take-up of slack and alignment, or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as flexural modulus, and deflection at failure, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the deflection, or extension axis.

A2.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (see Fig. A2.1), a continuation of the linear (CD) region is constructed through the zero axis. This intersection (B) is the corrected zero deflection point from which all deflections must be measured. The slope can be determined by dividing the change in force between any two points along the line CD (or its extension) by the change in deflection at the same two points (measured from Point B, defined as zero-deflection).

A2.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (see Fig. A2.2), the same kind of toe correction of zero-deflection point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection Point H'. This is extended to intersect the deflection axis at Point B', the corrected zero-deflection point. Using Point B' as zero deflection, the force at any point (G') on the curve can be divided by the deflection at that point to obtain a flexural chord modulus (slope of Line B'G').

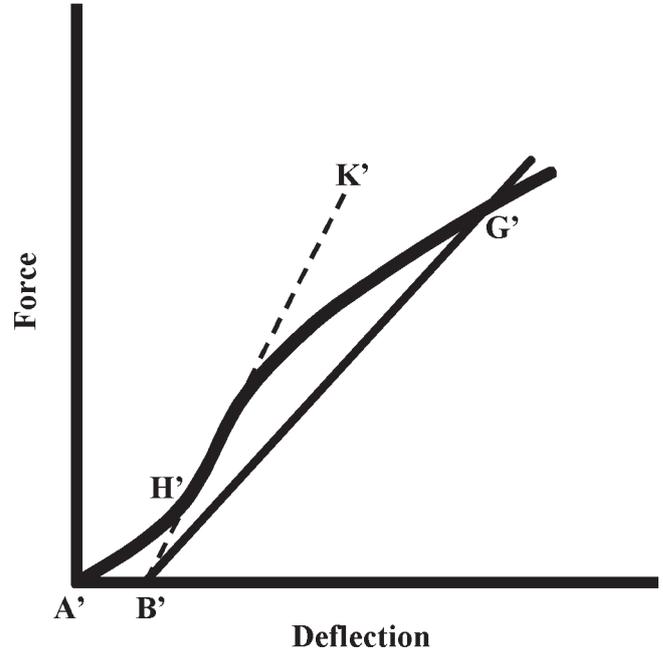


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

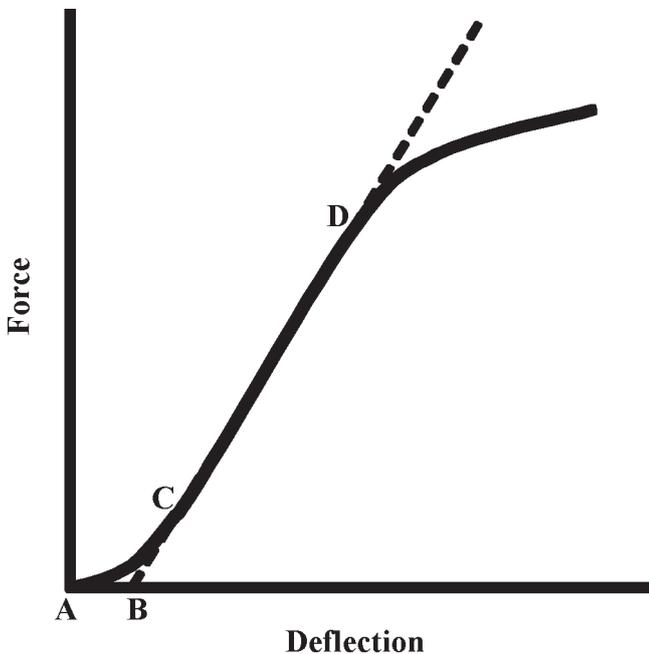


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

ANEXO J: Normativa ASTM de impacto.



Designation: D 5628 – 96 (Reapproved 2001)^{€1}

Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass)¹

This standard is issued under the fixed designation D 5628; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

^{€1} NOTE—Editorial changes were made throughout in November 2001.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the relative ranking of materials according to the energy required to crack or break flat, rigid plastic specimens under various specified conditions of impact of a free-falling dart (tup).

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific hazard statements are given in Section 8.

NOTE 1—This test method and ISO 6603-1-1985 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry FE and the Bruceton Staircase method of calculation are used.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 374 Test Methods for Thickness of Solid Electrical Insulation²
- D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing³
- D 883 Terminology Relating to Plastics²
- D 1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics²
- D 1709 Test Method for Impact Resistance of Plastic Film by the Free Falling Dart Method²
- D 1898 Practice for Sampling of Plastics⁴
- D 2444 Test Method for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a

Tup Falling Weight⁵

- D 3763 Test Method for High-Speed Puncture Properties of Plastics Using Load and Displacement Sensors⁶
 - D 4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials PA⁶
 - E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁷
 - E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁷
- 2.2 ISO Standards:
- ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing⁸
 - ISO 6603-1 Plastics-Determination of Multiaxial Impact Behavior of Rigid Plastics—Part 1: Falling Dart Method⁸

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of plastic terms used in this test method, see Terminologies D 883 and D 1600.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *failure (of test specimen)*—the presence of any crack or split, created by the impact of the falling tup, that can be seen by the naked eye under normal laboratory lighting conditions.

3.2.2 *mean-failure energy (mean-impact resistance)*—the energy required to produce 50 % failures, equal to the product of the constant drop height and the mean-failure mass or the product of the constant mass and mean-failure height.

3.2.3 *mean-failure height (impact-failure height)*—the height at which a standard mass, when dropped on test specimens, will cause 50 % failures.

NOTE 2—Cracks usually start at the surface opposite the one that is struck. Occasionally incipient cracking in glass-reinforced products, for

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties. Current edition approved March 10, 1996. Published July 1996. Originally published as D 5628 – 94. Last previous edition D 5628 – 95.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 10.01.

⁴ Discontinued; see *1998 Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.04.

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.02.

⁷ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

⁸ Available from American National Standards Institute, 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

example, may be difficult to differentiate from the reinforcing fibers. In such cases, a penetrating dye may be used to confirm the onset of crack formation.

3.2.4 *mean-failure mass (impact-failure mass)*—the mass of the dart (tup) that, when dropped on the test specimens from a standard height, will cause 50 % failures.

3.2.5 *tup*—a dart with a hemispherical nose. See 7.2 and Fig. 1.

4. Summary of Test Method

4.1 A free-falling dart (tup) is allowed to strike a supported specimen directly. Either a dart having a fixed mass may be dropped from various heights, or a dart having an adjustable mass may be dropped from a fixed height. (See Fig. 2).

4.2 The procedure determines the energy (mass \times height) that will cause 50 % of the specimens tested to fail (mean failure energy).

4.3 The technique used to determine mean failure energy is commonly called the Bruceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).⁹ Testing is concentrated near the mean, reducing the number of specimens required to obtain a reasonably precise estimate of the impact resistance.

4.4 Each test method permits the use of different tup and test specimen geometries to obtain different modes of failure, permit easier sampling, or test limited amounts of material. There is no known means for correlating the results of tests made by different impact methods or procedures.

5. Significance and Use

5.1 Plastics are viscoelastic and therefore may be sensitive to changes in velocity of the mass falling on their surfaces. However, the velocity of a free-falling object is a function of the square root of the drop height. A change of a factor of two in the drop height will cause a change of only 1.4 in velocity. Hagan et al (2) found that the mean-failure energy of sheeting was constant at drop heights between 0.30 and 1.4 m. This suggests that a constant mass-variable height method will give the same results as the constant height-variable mass technique. On the other hand, different materials respond differently to changes in the velocity of impact. Equivalence of these methods should not be taken for granted. While both constant-mass and constant-height techniques are permitted by these methods, the constant-height method should be used for those materials that are found to be rate-sensitive in the range of velocities encountered in falling-weight types of impact tests.

5.2 The test geometry FA causes a moderate level of stress concentration and can be used for most plastics.

5.3 Geometry FB causes a greater stress concentration and results in failure of tough or thick specimens that do not fail with Geometry FA (3). This approach may produce a punch shear failure on thick sheet. If that type of failure is undesirable, Geometry FC may be used. Geometry FB is suitable for research and development because of the smaller test area required.

5.3.1 The conical configuration of the 12.7-mm diameter tup used in Geometry FB minimizes problems with tup penetration and sticking in failed specimens of some ductile materials.

5.4 The test conditions of Geometry FC are the same as those of Test Method A of Test Method D 1709. They have been used in specifications for extruded sheeting. A limitation of this geometry is that considerable material is required.

5.5 The test conditions of Geometry FD are the same as for Test Method D 3763.

5.6 The test conditions of Geometry FE are the same as for ISO 6603-1.

5.7 Because of the nature of impact testing, the selection of a test method and tup must be somewhat arbitrary. While any one of the tup geometries may be selected, knowledge of the final or intended end-use application should be considered.

5.8 Clamping of the test specimen will improve the precision of the data. Therefore, clamping is recommended. However, with rigid specimens, valid determinations can be made without clamping. Unclamped specimens tend to exhibit somewhat greater impact resistance.

5.9 Before proceeding with this test method, reference should be made to the specification of the material being tested. Any test specimens preparation, conditioning, dimensions, or testing parameters or combination thereof covered in the relevant ASTM materials specification shall take precedence over those mentioned in this test method. If there are no relevant ASTM material specifications, then the default conditions apply.

6. Interferences

6.1 Falling-mass-impact-test results are dependent on the geometry of both the falling mass and the support. Thus, impact tests should be used only to obtain relative rankings of materials. Impact values cannot be considered absolute unless the geometry of the test equipment and specimen conform to the end-use requirement. Data obtained by different procedures within this test method, or with different geometries, cannot, in general, be compared directly with each other. However, the relative ranking of materials may be expected to be the same between two test methods if the mode of failure and the impact velocities are the same.

6.1.1 Falling-mass-impact types of tests are not suitable for predicting the relative ranking of materials at impact velocities differing greatly from those imposed by these test methods.

6.2 As cracks usually start at the surface opposite the one that is struck, the results can be greatly influenced by the quality of the surface of test specimens. Therefore, the composition of this surface layer, its smoothness or texture, levels of and type of texture, and the degree of orientation introduced during the formation of the specimen (such as may occur during injection molding) are very important variables. Flaws in this surface will also affect results.

6.3 Impact properties of plastic materials can be very sensitive to temperature. This test can be carried out at any reasonable temperature and humidity, thus representing actual use environments. However, this test method is intended primarily for rating materials under specific impact conditions.

⁹ The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of the text.

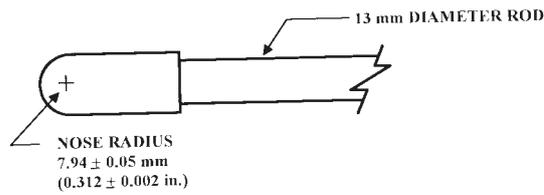


FIG. 1 (a)

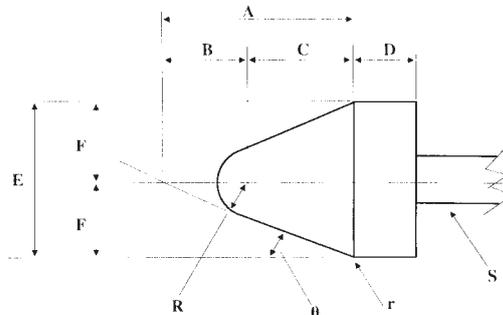


FIG. 1 (b)

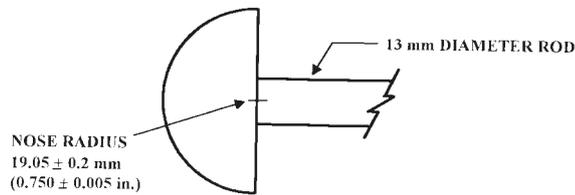


FIG. 1 (c)

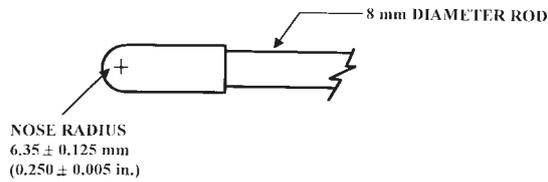


FIG. 1 (d)

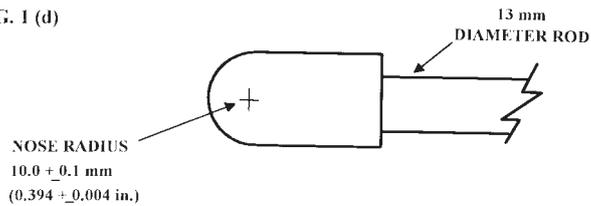


FIG. 1 (e)

Dimensions of Conical Dart (Not to scale.)—Fig. 1(b)

NOTE 1—Unless specified, the tolerance on all dimensions shall be ±2 %.

Position	Dimension, mm	Dimension, in.
A	27.2	1.07
B	15	0.59
C	12.2	0.48
D	6.4	0.25
E	25.4	1
F	12.7	0.5
R	6.35 ± 0.05	0.250 ± 0.002
(nose radius)		
r (radius)	0.8	0.03
S (diameter) [^]	6.4	0.25
θ	25 ± 1°	25 ± 1°

[^] Larger diameter shafts may be used.

FIG. 1 Tip Geometries for Geometries FA (1a), FB (1b), FC (1c), FD (1d), and FE (1e)

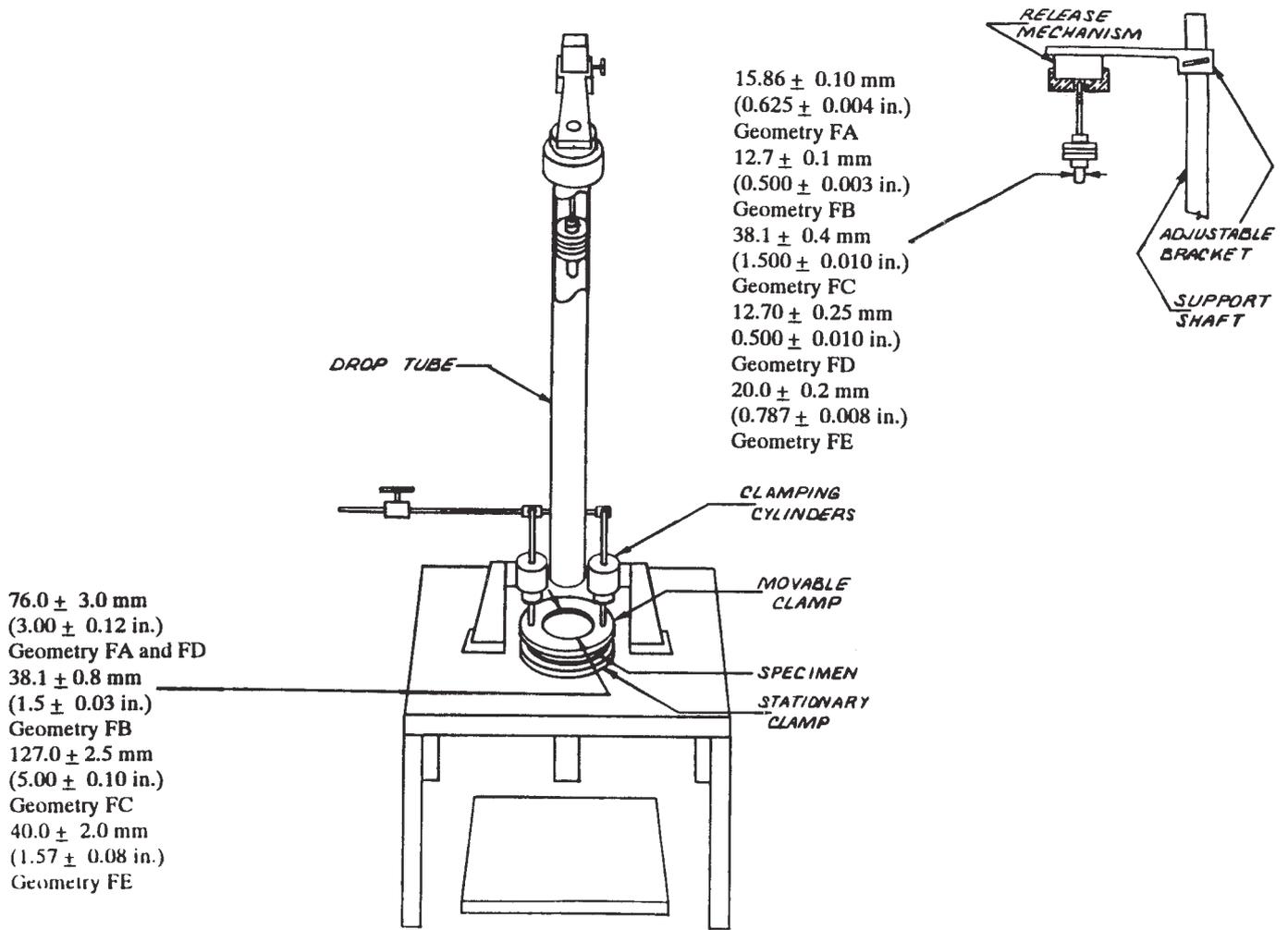


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—The apparatus shall be constructed essentially as is shown in Fig. 2. The geometry of the specimen clamp and tup shall conform to the dimensions given in 7.1.1 and 7.2.

7.1.1 *Specimen Clamp*—For flat specimens, a two-piece annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 3 is recommended. For Geometries FA and FD, the inside diameter should be 76.0 ± 3.0 mm (3.00 ± 0.12 in.). For Geometry FB, the inside diameter should be 38.1 ± 0.80 mm (1.5 ± 0.03 in.).

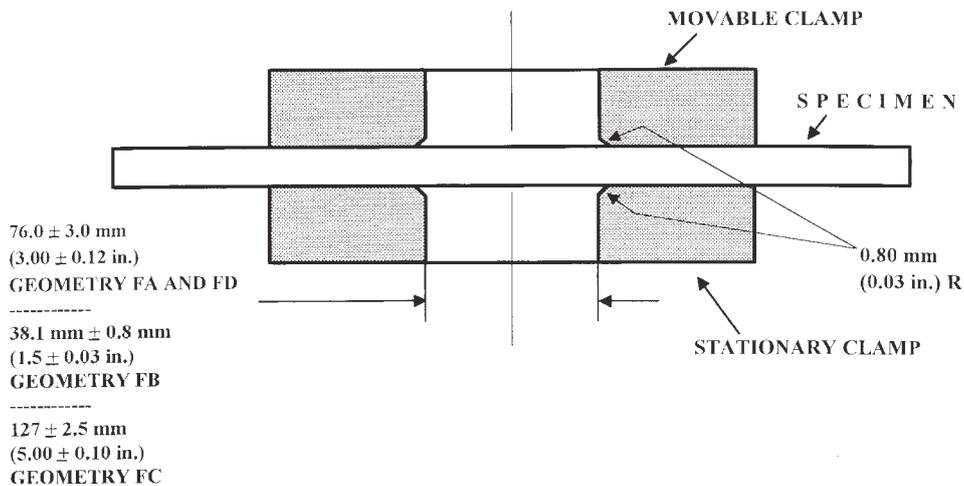


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

For Geometry FC, the inside diameter should be 127.0 ± 2.5 mm (5.00 ± 0.10 in.). For Geometry FE an annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 4 is required. The inside diameter should be 40 ± 2 mm (1.57 ± 0.08 in.) (see Table 1). For Geometries FA, FB, FC, and FD, the inside edge of the upper or supporting surface of the lower clamp should be rounded slightly; a radius of 0.8 mm (0.03 in.) has been found to be satisfactory. For Geometry FE this radius should be 1 mm (0.04 in.).

7.1.1.1 Contoured specimens shall be firmly held in a jig so that the point of impact will be the same for each specimen.

7.1.2 *Tup Support*, capable of supporting a 13.5-kg (30-lb) mass, with a release mechanism and a centering device to ensure uniform, reproducible drops.

NOTE 3—Reproducible drops may be ensured through the use of a tube or cage within which the tup falls. In this event, care should be exercised so that any friction that develops will not reduce the velocity of the tup appreciably.

7.1.3 *Positioning Device*—Means shall be provided for positioning the tup so that the distance from the impinging surface of the tup head to the test specimen is as specified.

7.2 *Tup*:

7.2.1 The tup used in Geometry FA shall have a 15.86 ± 0.10 -mm (0.625 ± 0.004 -in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(a) and Table 1).

7.2.2 The tup used in Geometry FB shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The head shall have a diameter of 12.7 ± 0.1 mm (0.500 ± 0.003 in.) with a conical (50° included angle) configuration such that the conical surface is tangent to the hemispherical nose. A 6.4-mm (0.25-in.) diameter shaft is satisfactory (see Fig. 1(b) and Table 1).

7.2.3 The tup used for Geometry FC shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The hemispherical head shall have a diameter of 38.1 ± 0.4 mm (1.5 ± 0.015 in.). A

TABLE 1 Tup and Support Ring Dimensions

Geometry	Dimensions, mm (in.)	
	Tup Diameter	Inside Diameter Support Ring
FA	15.86 ± 0.10 (0.625 ± 0.004)	76.0 ± 3.0 (3.00 ± 0.12)
FB	12.7 ± 0.1 (0.500 ± 0.003)	38.1 ± 0.8 (1.5 ± 0.03)
FC	38.1 ± 0.4 (1.5 ± 0.010)	127.0 ± 2.5 (5.00 ± 0.10)
FD	12.70 ± 0.25 (0.500 ± 0.010)	76.0 ± 3.0 (3.00 ± 0.12)
FE	20.0 ± 0.2 (0.787 ± 0.008)	40.0 ± 2.0 (1.57 ± 0.08)

steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass (see Fig. 1(c) and Table 1).

7.2.4 The tup used in Geometry FD shall have a 12.70 ± 0.25 -mm (0.500 ± 0.010 -in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 8 mm (0.31 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(d) and Table 1).

7.2.5 The tup used in Geometry FE shall have a 20.0 ± 0.2 -mm (0.787 ± 0.008 -in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(e) and Table 1).

7.2.6 The tup head shall be free of nicks, scratches, or other surface irregularities.

7.3 *Masses*—Cylindrical steel masses are required that have a center hole into which the tup shaft will fit. A variety of masses are needed if different materials or thicknesses are to be

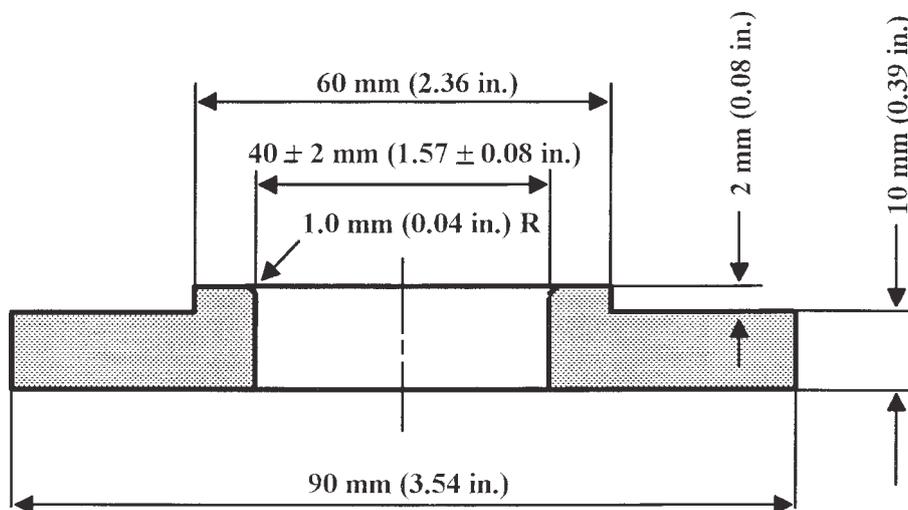


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

tested. For a material of low impact resistance, the tup mass may need to be adjusted by increments of 10 g or less. Materials of high impact resistance may require increments of 1 kg or more.

7.4 *Micrometer*, for measurement of specimen thickness. It should be accurate to within 1 % of the average thickness of the specimens being tested. See Test Methods D 374 for descriptions of suitable micrometers.

7.5 The mass of the tup head and shaft assembly and the additional mass required must be known to within an accuracy of ± 1 %.

8. Hazards

8.1 Safety Precautions:

8.1.1 Cushioning and shielding devices shall be provided to protect personnel and to avoid damage to the impinging surface of the tup. A tube or cage can contain the tup if it rebounds after striking a specimen.

8.1.2 When heavy weights are used, it is hazardous for an operator to attempt to catch a rebounding tup. Figure 2 of Test Method D 2444 shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

9. Sampling

9.1 Unless otherwise agreed upon between the manufacturer and the producer, sample the material in accordance with Sections 9 through 14 of Practice D 1898.

10. Test Specimens

10.1 Flat test specimens shall be large enough so that they can be clamped firmly if clamping is desirable. See Table 2 for the minimum size of specimen that can be used for each test geometry.

10.2 The thickness of any specimen in a sample shall not differ by more than 5 % from the average specimen thickness of that sample. However, if variations greater than 5 % are unavoidable in a sample that is obtained from parts, the sample may be tested, but the data shall not be used for referee purposes. For compliance with ISO 6603-1 the test specimen shall be 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) in diameter or 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) square with a thickness of 2 ± 0.1 mm (0.08 ± 0.004 in.). Machining specimens to reduce thickness variation is not permissible.

10.3 When the approximate mean failure mass for a given sample is known, 20 specimens will usually yield sufficiently precise results. If the approximate mean failure mass is unknown, six or more additional specimens should be used to

determine the appropriate starting point of the test. For compliance with ISO 6603-1 a minimum of 30 specimens must be tested.

10.4 Carefully examine the specimen visually to ensure that samples are free of cracks or other obvious imperfections or damages, unless these imperfections constitute variables under study. Samples known to be defective should not be tested for specification purposes. Production parts, however, should be tested in the as-received condition to determine conformance to specified standards.

10.5 Select a suitable method for making the specimen that will not affect the impact resistance of the material.

10.6 Specimens may have flat smooth surfaces on both sides, be textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. Both surfaces may have the same texture or two different levels and types of texture. When testing, special attention must be paid to how the specimen is positioned on the support.

NOTE 4—As few as ten specimens often yield sufficiently reliable estimates of the mean-failure mass. However, in such cases the estimated standard deviation will be relatively large (1).

11. Conditioning

11.1 Unless otherwise specified, condition the test specimens at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and 50 ± 5 % relative humidity for not less than 40 h prior to test, in accordance with Procedure A of Test Methods D 618, for those tests where conditioning is required. In cases of disagreement, the tolerances shall be $\pm 1^\circ\text{C}$ ($\pm 1.8^\circ\text{F}$) and ± 2 % relative humidity. For compliance with ISO requirements, the specimens must be conditioned for a minimum of 16 h prior to testing or post conditioning in accordance with ISO 291, unless the period of conditioning is stated in the relevant ISO specification for the material.

11.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as nylons, the material specifications (for example, Specification D 4066) call for testing “dry as-molded specimens”. Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % RH and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

11.2 Conduct tests in the standard laboratory atmosphere of $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and at 50 ± 5 % relative humidity, unless otherwise specified.

11.3 When testing is desired at temperatures other than 23°C , transfer the materials to the desired test temperature within 30 min, preferably immediately, after completion of the preconditioning. Hold the specimens at the test temperature for no more than 5 h prior to test, and, in no case, for less than the time required to ensure thermal equilibrium in accordance with Section 10 of Test Method D 618.

12. Procedure

12.1 Determine the number of specimens for each sample to be tested, as specified in 10.3.

12.2 Mark the specimens and condition as specified in 11.1.

12.3 Prepare the test apparatus for the geometry (FA, FB, FC, FD, FE) selected.

TABLE 2 Minimum Size of Specimen

Geometry	Specimen Diameter, mm (in.)	Square Specimen, mm (in.)
FA	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FB	51 (2.0)	51 by 51 (2.0 by 2.0)
FC	140 (5.5)	140 by 140 (5.5 by 5.5)
FD	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FE	58 (2.3)	58 by 58 (2.3 by 2.3)

12.4 Measure and record the thickness of each specimen in the area of impact.

12.5 Choose a specimen at random from the sample. A random-numbers table may be used if desired.

12.6 Clamp or position the specimen. The same surface or area should be the target each time (see 6.2). When clamping is employed, the force should be sufficient to prevent motion of the clamped portion of the specimen when the tup strikes.

12.7 Unless otherwise specified, initially position the tup 0.660 ± 0.008 m (26.0 ± 0.3 in.) from the surface of the specimen.

12.8 Adjust the total mass of the tup or the height of the tup, or both, to that amount expected to cause half the specimens to fail.

NOTE 5—If failures cannot be produced with the maximum available missile mass, the drop height can be increased. The test temperature could be reduced by (a) use of an ice-water mixture, or (b) by air-conditioned environment to provide one of the temperatures given in 3.3 of Test Methods D 618. Conversely, if the unloaded tup causes failures when dropped 0.660 m, the drop height can be decreased. A moderate change in dart velocity will not usually affect the mean-failure energy appreciably. Refer to 5.1.

12.9 Release the tup. Be sure that it hits the center of the specimen. If the tup bounces, catch it to prevent multiple impact damage to the specimen's surface (see 8.1.2).

12.10 Remove the specimen and examine it to determine whether or not it has failed. Permanent deformation alone is not considered failure, but note the extent of such deformation (depth, area). For some polymers, for example, glass-reinforced polyester, incipient cracking may be difficult to determine with the naked eye. Exposure of the stressed surface to a penetrating dye, such as gentian violet, may be used to determine the onset of cracking. As a result of the wide range of failure types that may be observed with different materials, the definition of failure defined in the material specification shall take precedence over the definition stated in 3.2.1. Other definitions of failure may be used if agreed upon by supplier and user.

12.11 If the first specimen fails, remove one increment of mass from the tup while keeping the drop height constant, or decrease the drop height while keeping the mass constant (see 12.12). If the first specimen does not fail, add one increment of mass to the tup or increase the drop height one increment, as above. Then test the second specimen.

12.12 In this manner, select the impact height or mass for each test from the results observed with the specimen just previously tested. Test each specimen only once.

12.13 For best results, the mass or height increment used should be approximately equivalent to s , the estimated standard deviation of the test for that sample. An increment of 0.5 to 2 times s is satisfactory (see section 13.4).

NOTE 6—An increment of 10 % of the estimated mean-failure mass or mean-failure height has been found to be acceptable in most instances.

12.14 Keep a running plot of the data, as shown in Appendix X1. Use one symbol, such as X , to indicate a failure and a different symbol, such as O , to indicate a non-failure at each mass or height level.

12.15 For any specimen that gives a break behavior that appears to be an outlier, the conditions of that impact shall be examined. The specimen may be discarded only if a unique cause for the anomaly can be found, such as an internal flaw visible in the broken specimen. Note that break behavior may vary widely within a set of specimens. Data from specimens that show atypical behavior shall not be discarded simply on the basis of such behavior.

13. Calculation

13.1 *Mean-Failure Mass*—If a constant-height procedure was used, calculate the mean-failure mass from the test data obtained, as follows:

$$w = w_o + d_w(A/N \pm 0.5) \quad (1)$$

13.2 *Mean-Failure Height*—If a constant-mass procedure was used, calculate the mean-failure height from the test data obtained, as follows:

$$h = h_o + d_h(A/N \pm 0.5) \quad (2)$$

where:

- w = mean-failure mass, kg,
- h = mean-failure height, mm,
- d_w = increment of tup weight, kg,
- d_h = increment of tup height, mm,
- N = total number of failures or non-failures, whichever is smaller. For ease of notation, call whichever are used events,
- w_o = smallest mass at which an event occurred, kg
- h_o = lowest height at which an event occurred, mm (or in.),
- $A = \sum_{i=0}^k in_i$,
- $i = 0, 1, 2 \dots k$ (counting index, starts at h_o or w_o),
- n_i = number of events that occurred at h_i or w_i ,
- $w_i = w_o + id_w$, and
- $h_i = h_o + id_h$.

In calculating w or h , the negative sign is used when the events are failures. The positive sign is used when the events are non-failures. Refer to the example in Appendix X1.

13.3 *Mean-Failure Energy*—Compute the mean-failure energy as follows: MFE = hwf

where:

- MFE = mean-failure energy, J,
 - h = mean-failure height or constant height as applicable, mm
 - w = mean-failure mass or constant mass as applicable, kg, and
 - f = factor for conversion to joules.
- Use $f = 9.80665 \times 10^{-3}$ if h = mm and w = kg.

13.4 *Estimated Standard Deviation of the Sample*—If desired for record purposes, the estimated standard deviation of the sample for either variable mass or variable height can be calculated as follows:

$$s_w = 1.62d_w[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_w \quad \text{or} \quad (3)$$

$$s_h = 1.62d_h[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_h \quad (4)$$

where:

s_w = estimated standard deviation, mass, kg
 s_h = estimated standard deviation, height, mm, and

$$B = \sum_{i=0}^k i^2 n_i \quad (5)$$

The above calculation is valid for $[B/N - (A/N)^2] > 0.3$. If the value is < 0.3 , use Table I from Ref (3).

13.5 *Estimated Standard Deviation of the Sample Mean*—Calculate the estimated standard deviation of the sample mean-failure height or weight as follows:

$$S_w = G s_w / \sqrt{N} \quad (6)$$

or

$$S_h = G s_h / \sqrt{N} \quad (7)$$

where:

s_h = estimated standard deviation of the mean height, mm,
 s_w = estimated standard deviation of the mean mass, kg,
 and

G = factor that is a function of s/d (see Appendix X2).

A sample computation of s_w may be found in Appendix X1.

NOTE 7—For values of G at other levels of s/d , see Fig. 22 in Ref (4).

13.6 *Estimated Standard Deviation of the Mean-Failure Energy*—Calculate the estimated standard deviation of the mean-failure energy as follows:

$$S_{MFE} = s_h w f \quad (8)$$

or

$$S_{MFE} = S_w h f, \text{ as applicable} \quad (9)$$

where:

S_{MFE} = estimated standard deviation of the mean-failure energy.

14. Report

14.1 Report the following information:

14.1.1 Complete identification of the sample tested, including type of material, source, manufacturer's code, form, principal dimensions, and previous history,

14.1.2 Method of preparation of specimens,

14.1.3 Whether surface of the specimen is smooth or textured, the level of and type of texture if known, and whether texture is on only one or both surfaces,

14.1.4 If the specimen is textured, report whether textured surface faces upward towards the dart or downward away from the dart,

14.1.5 Means of clamping, if any,

14.1.6 Statement of geometry (FA, FB, FC, FD, FE) and procedure used—constant mass or constant height,

14.1.7 Thickness of specimens tested (average and range).

14.1.8 Number of test specimens employed to determine the mean failure height or mass,

14.1.9 Mean-failure energy,

14.1.10 Types of failure, for example: (a) crack or cracks on one surface only (the plaque could still hold water), (b) cracks that penetrate the entire thickness (water would probably penetrate through the plaque), (c) brittle shatter (the plaque is in several pieces after impact), or (d) ductile failure (the plaque

is penetrated by a blunt tear). Report other observed deformation due to impact, whether the specimens fail or not,

14.1.11 If atypical deformation for any specimen within a sample for that material is observed, note the assignable cause, if known,

14.1.12 Date of test and operator's identification,

14.1.13 Test temperature,

14.1.14 In no case shall results obtained with arbitrary geometries differing from those contained in these test methods be reported as values obtained by this test method (D 5628), and

14.1.15 The test method number and published/revision date.

15. Precision and Bias

15.1 Tables 3 and 4 are based on a round robin¹⁰ conducted in 1972 involving three materials tested by six laboratories. Data from only four laboratories were used in calculating the values in these tables. Each test result was the mean of multiple individual determinations (Bruceton Staircase Procedure). Each laboratory obtained one test result for a material.

NOTE 8—The number of laboratories participating in the 1972 round robin and the number of results collected do not meet the minimum requirements of Practice E 691. Data in Tables 3 and 4 should be used only for guidance, and not as a referee when there is a dispute between users of this test method.

15.1.1 *Polymethylmethacrylate (PMMA)*—Specimens were cut from samples of 3.18-mm (0.125-in.) thickness extruded sheet.

15.1.2 *Styrene-Butadiene (SB)*—Specimens were cut from samples of 2.54-mm (0.100-in.) thickness extruded sheet.

15.1.3 *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)*—Specimens were cut from samples of 2.64-mm (0.104-in.) thickness extruded sheet.

NOTE 9—**Caution:** The following explanations of r and R (15.2-15.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Tables 3 and 4 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and may not be representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E 691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 15.2-15.2.3 would then be valid for such data.

15.2 *Concept of r and R* —If V_r and V_R have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were

¹⁰ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D 20-1030.

TABLE 3 Precision, Method FB

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		V_r	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	0.35	12.6	35.7
Styrene-Butadiene (SB) ^A	9.26	18.7	52.9
Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) ^A	11.8	14.9	42.2

^A Data generated in three laboratories.

V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.

$r = 2.83 V_r$.

TABLE 4 Precision, Method FC

Material	Mean, <i>J</i>	Values Expressed as Percent of the Mean	
		<i>V_r</i>	
		<i>V_r</i>	<i>r</i>
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	1.33	4.13	11.7
Styrene-Butadiene (SB)	48.3	18.3	51.8

V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.
r = 2.83 *V_r*.

means from testing multiple individual specimens (Bruceton Staircase Procedure), the following applies:

15.2.1 *Repeatability, r*—In comparing two test results for the same material obtained by the same operator using the same equipment on the same day, the two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the *r* value for that material.

15.2.2 *Reproducibility, R*—In comparing two test results for the same material obtained by different operators using differ-

ent equipment in different laboratories, reproducibility statistics were not calculated because data from only four and three laboratories do not justify making these calculations.

15.2.3 Any judgment in accordance with 15.2.1 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

15.3 *Bias*—There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

15.4 Efforts to form a task group to address between laboratory reproducibility of this test method has been unsuccessful. Persons interested in participating in such a task group should contact ASTM Headquarters.

16. Keywords

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SAMPLE CALCULATIONS

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				<i>n_x</i>	<i>n_o</i>	<i>i</i>	<i>n_i</i>	<i>in₁</i>	<i>i²n₁</i>	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20							
9.00						X															1	0	2	1	2	4	
8.00					O		X		X			X		X							4	1	1	4	4	4	
7.00		X		O				O		X		O		O		X		X		O	4	5	0	4	0	0	
6.00	O		O								O						O		O		0	5					
Totals																						9	11		9	6	8
																						(<i>N_x</i>)	(<i>N_o</i>)		(<i>N</i>)	(<i>A</i>)	(<i>B</i>)

$w_o = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$
 $w = w_o + d(A/N - 0.5)$
 $= 7.00 + 1.00 (6/9 - 0.5)$
 $= 7.17 \text{ kg}$
 $s = 1.620 d [((NB - A^2)/9^2) + 0.029]$
 $= 1.620 (1.00) [((9 \cdot 8 - 6^2)/9^2) + 0.029]$
 $= 0.77 \text{ kg}$
 $s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$
 $s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035 (0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$

TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean

<i>s/d</i>	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.40						1.18	1.175	1.17	1.16	1.155
0.50	1.15	1.145	1.14	1.135	1.13	1.125	1.12	1.11	1.105	1.10
0.60	1.095	1.09	1.085	1.08	1.075	1.07	1.07	1.065	1.06	1.06
0.70	1.055	1.055	1.05	1.05	1.045	1.04	1.04	1.035	1.035	1.03
0.80	1.03	1.025	1.025	1.02	1.02	1.02	1.015	1.015	1.015	1.01
0.90	1.01	1.01	1.005	1.005	1.005	1.00	1.00	1.00	0.995	0.995
1.00	0.995	0.99	0.99	0.99	0.985	0.985	0.985	0.985	0.98	0.98
1.10	0.98	0.98	0.98	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.97
1.20	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.965	0.965	0.965	0.965
1.30	0.965	0.965	0.965	0.965	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
1.40	0.96	0.96	0.96	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
1.50	0.955	0.955	0.955	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
1.60	0.95	0.95	0.95	0.95	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
1.70	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.94	0.94	0.94	0.94
1.80	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.935
1.90	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935
2.00	0.935	0.935	0.935	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

REFERENCES

- (1) Brownlee, K. A., Hodgest, J. L., Jr., and Rosenblatt, Murray, "The Up-and-Down Method with Small Samples," *American Statistical Association Journal*, Vol 48, 1953, pp. 262–277.
- (2) Hagan, R. S., Schmitz, J. V., and Davis, D. A., "Impact Testing of High Impact Thermoplastic Sheet," *Technical Papers, 17th Annual Technical Conference of SPE, SPPPB*, Vol VIII, January 1961.
- (3) "Test Method A—Falling Dart Impact, Proposed Method of Test for Impact Resistance of Fabricated Plastics Parts," *Proposed Test Methods for Plastics Parts Used in Appliances*, the Society of the Plastics Industry, New York, NY, January 1965.
- (4) Weaver, O. R., "Using Attributes to Measure a Continuous Variable in Impact Testing Plastic Bottles," *Materials Research and Standards, MR & S*, Vol 6, No. 6, June 1966, pp. 285–291.
- (5) Natrella, M. G., *Experimental Statistics*, National Bureau of Standards Handbook 91, October 1966, pp. 10–22 and 10–23.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).