



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

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

**TEMA: “ELABORACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO
UTILIZANDO NANOFIBRA DE CARBONO POR
TERMOCONFORMADO”**

**AUTORES: CASTRO AMAGUAÑA LUIS GERMÁN
QUIROZ VALENCIA CRISTIAN ALONSO**

DIRECTOR: ING. CARLOS SEGOVIA Msc.

IBARRA- ECUADOR

2018



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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio de este documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD	1003691290		
APELLIDOS NOMBRES	CASTRO AMAGUAÑA LUIS GERMÁN		
DIRECCIÓN	EL TEJAR		
EMAIL	lgcastroa@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO	2611-117	TELÉFONO MÓVIL	0990333963

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD	040156554-4		
APELLIDOS NOMBRES	QUIROZ VALENCIA CRISTIAN ALONSO		
DIRECCIÓN	RIO CHOTA Y RIO PALORA		
EMAIL	caquirozv@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO	025109698	TELÉFONO MÓVIL	0998536262

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	Elaboración de un material compuesto utilizando nanofibra de carbono por temoconformado.
AUTOR	CASTRO AMAGUAÑA LUIS GERMÁN QUIROZ VALENCIA CRISTIAN ALONSO
FECHA	
PROGRAMA	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA	INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR DIRECTOR	ING. CARLOS SEGOVIA

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Cristian Alonso Quiroz Valencia con cédula de identidad Nro. 040156554-4, yo Luis Germán Castro Amaguaña con cédula de identidad Nro. 100369129-0 en calidad de autores titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es titular de los derechos patrimoniales, por lo que se asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros. Ibarra a los 28 días del mes de febrero del 2018.

LOS AUTORES:

Firma: 

Nombres: Luis Germán Castro Amaguaña

Cédula: 100369129-0

Firma: 

Nombres: Cristian Alonso Quiroz Valencia.

Cédula: 040156554-4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

Yo, Luis Germán Castro Amaguaña, con cédula de identidad Nro. 100369129-0, y Cristian Alonso Quiroz Valencia, con cédula de identidad Nro. 040156554-4, manifestamos nuestra voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la ley de propiedad intelectual del Ecuador artículos 4, 5 y 6 en calidad de autores de la obra o trabajo de grado denominado: **"ELABORACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO UTILIZANDO NANOFIBRA DE CARBONO POR TEMOCONFORMADO"**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERIA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad Facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra a los 28 días del mes de febrero del 2018.

Firma: 

Nombres: Luis Germán Castro Amaguaña

Cédula: 100369129-0

Firma: 

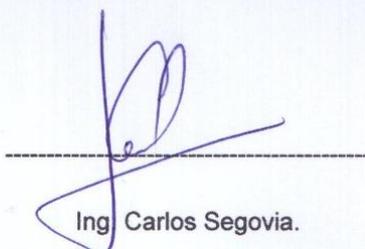
Nombres: Cristian Alonso Quiroz Valencia.

Cédula: 040156554-4

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto fue realizado en su totalidad por los señores: Castro Amaguaña Luis Germán y Quiroz Valencia Cristian Alonso, como requisito para la obtención del Título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz.

Atentamente,



Ing. Carlos Segovia.

DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

El presente trabajo dedico a Dios por formar parte de mi vida y permitirme llegar a este momento crucial de mi graduación.

A mis padres Alonso Quiroz y Magdalena Valencia por ser las personas que me han acompañado durante mi formación inculcándome valores para así poder ser un excelente profesional.

A mi esposa Lizbeth Reyes y a mis hijos Snyder y Luisito que han sido las personas que han caminado constantemente apoyándome en todo momento en mi vida.

A mi abuelita Luisa Valencia fuente de mi motivación, por guiarme de la mejor manera con sus sabios consejos para poder seguir creciendo y fortaleciendo mi forma de ser.

A mi familia en general, por brindarme su apoyo incondicional al estar siempre pendiente de mí en todo momento (GRACIAS).

Cristian Quiroz V.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte, por ser parte de nuestra formación ética y profesional por acogernos en su templo del saber, como también a nuestros maestros que conjuntamente forman parte de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Facultad de Ingeniería de Ciencias Aplicadas

Al Ing. Carlos Segovia, por guiar constantemente el proyecto y ser el tutor de nuestro trabajo de grado, fue de gran ayuda para poder desarrollar el proyecto para así llegar a una culminación exitosa del mismo.

A mí querida familia que de alguna u otra forma me han brindado un apoyo incondicional para así poder cumplir mis metas propuestas.

A mi esposa e hijos quienes son el motivo de mi lucha para salir adelante y poder cumplir mis metas.

Cristian Quiroz V.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi madre Susana Amaguaña que con su amor y su tiempo en todo momento supo guiarme de la mejor manera gracias por enseñarme con paciencia los mejores valores como amor, humildad, fe y respeto; gracias a todas esas enseñanzas pude culminar con éxito mi carrera.

A mi hermano Patricio Amaguaña y su esposa Anita Farinango que me brindaron su amistad y su apoyo incondicional más que mi familia fueron mis amigos y confidentes, mi ejemplo e inspiración para poder cumplir mis metas.

Luis Germán Castro A.

AGRADECIMIENTO

A toda mi familia en general, pero en especial a mis padres y hermano que supieron inculcarme el amor a Dios, y que con cariño y apoyo constante supieron guiarme cuando tuve tropiezos, con sus sabios consejos pude levantarme y seguir adelante, y así poder cumplir mis metas.

Al Ing. Carlos Segovia, por ayudarme a seguir emprendiendo cada día más de forma ética y profesional, además darle las gracias por guiarme como tutor para poder culminar de la mejor manera el proyecto.

A los Ingenieros de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, por fortalecer todas mis cualidades y con su paciencia supieron ayudarme hasta el final de la carrera.

A la Universidad Técnica del Norte por haberme dado la oportunidad de estudiar en su establecimiento, siendo una de las mejores universidades con categorización a nivel nacional.

Luis Germán Castro A.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	VII
AGRADECIMIENTO	VIII
DEDICATORIA	IX
AGRADECIMIENTO	X
ÍNDICE DE CONTENIDO	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
ÍNDICE DE TABLAS	XIX
ÍNDICE DE ECUACIONES	XXI
ÍNDICE DE ANEXOS	XXII
GLOSARIO DE TÉRMINOS	XXIII
RESUMEN	XXV
ABSTRACT	XXVI
INTRODUCCIÓN	XXVII
CAPÍTULO I.	1
1.1 Problema de la investigación.	1
1.1.1 Antecedentes.	1
1.1.2 Planteamiento del problema.	1
1.2 Formulación del problema.	2
1.3 Delimitación.	2
1.3.1 Temporal.	2
1.3.2 Espacial.	2
1.4 Objetivos.	2
1.4.1 Objetivo general.	2
1.4.2 Objetivo específico	3
1.5 Justificación.	3
CAPÍTULO II.	5
2.1 Marco teórico.	5
2.1.1 Historia de la fibra de carbono.	5
2.1.2 Obtención de la fibra de carbono.	5
2.1.2.1 Primer proceso.	6
2.1.2.2 segundo proceso	6
2.1.2.3 Tercer proceso.	6
2.1.2.4 cuarto proceso	7
2.1.2.5 quinto proceso.	8
2.2 Nanofibras de carbono.	8
2.2.1 Nanofibra de carbono.	8
2.2.2 Tipos de nanofibras.	10
2.2.2.1 Patelet.	10
2.2.2.2 Fishbone.	11
2.2.2.3 Ribbon.	11
2.2.2.4 stacked cup.	12
2.2.3 Aplicación de fibra de carbono.	12
2.2.4 Elementos que se pueden procesar con fibra de carbono.	13
2.2.5 Módulo de fibra intermedia.	13
2.2.6 Módulo de fibra alta.	13
2.3 Materiales compuestos.	14
2.3.1 Funciones importantes de la matriz.	15

2.3.2	Fabricación de los materiales compuestos	15
2.3.3	Materiales compuestos macroscópicos.	15
2.3.4	Materiales compuestos microscópicos.	16
2.3.4.1	Mc con fibras de refuerzo continuo.	16
2.3.4.2	Mc con partículas de refuerzo discontinuo.	16
2.3.4.3	Mc con refuerzo articulado.	16
2.3.4.4	Mc de dispersión reforzada como refuerzo.	16
2.3.5	Redes interpenetrantes.	16
2.4	Tipos de matrices de materiales compuestos.	17
2.4.1	Matrices inorgánicas.	17
2.4.1.1	Matrices metálicas.	17
2.4.1.2	Matrices cerámicas.	17
2.4.2	Matrices orgánicas.	17
2.5	Tipos de polímeros.	18
2.5.1	Termoplásticas.	18
2.5.2	Elastómeros.	18
2.5.3	Termoestables.	18
2.6	Resinas.	20
2.6.1	Tipos de resinas.	20
2.6.1.1	Resina poliéster.	20
2.6.1.2	Resina epoxy.	21
2.6.1.3	Resina de esteres cianato.	22
2.6.1.4	Resina viniléster.	22
2.6.1.5	Resina fenólica.	22
2.7	Autoclave.	23
2.7.1	Procesos de la autoclave.	23
2.7.2	Proceso de curación del material compuesto.	24
2.7.2.1	“De-bulls” y “curación”	24
2.7.3	Principales mecanismos de una autoclave.	24
2.7.3.1	sistema de vacío.	24
2.7.3.2	sistema de curado (parámetros).	24
2.7.3.3	sistema de cámara presurizada.	25
2.7.3.4	sistema de calentamiento.	25
2.7.4	Proceso de manufactura de la fibra de carbono fc.	25
2.7.5	Preparación de materiales compuestos de fibra de carbono fc.	25
2.7.5.1	Depósito químico en fase de vapor.	26
2.7.5.2	Impregnación líquida.	26
2.7.6	Fases para la elaboración.	26
2.7.6.1	Impregnación del refuerzo.	26
2.7.6.2	conformado curado (autoclave, endurecimiento)	26
2.8	Procesos de fabricación de la fibra de carbono.	26
2.8.1	Por molde abierto.	26
2.8.1.1	conformado por contacto manual.	26
2.8.1.2	Enrollado de filamentos	27
2.8.1.3	Posicionado de fibras.	27
2.8.2	Por molde cerrado.	28
2.8.2.1	conformado en caliente.	28
2.8.2.2	Preformas	28
2.8.2.3	Pultrusión.	29

2.8.2.4 inyección directa	29
2.9 Software utilizado para el modelado y la simulación.	30
2.9.1 Solidworks.	30
2.9.1.1 ventajas de solidworks.	31
2.10 Elementos estructurales del vehículo.	31
2.10.1 Carrocería.	32
2.10.2 Carrocería y chasis separado.	32
2.10.3 Bastidor.	32
2.10.4 Tipos de bastidores.	33
2.10.4.1 En escalera (h).	33
2.10.4.2 De columna (x).	34
2.10.4.3 Perimétrico	34
2.10.4.4 Tubular	34
2.10.5 Carrocería con plataforma-chasis.	35
2.10.5.1 carrocería autoportante.	35
2.11 Propiedades mecánicas de los materiales.	36
2.11.1 Elasticidad.	37
2.11.2 Resistencia.	37
2.11.3 Plasticidad.	37
2.11.4 Maleabilidad.	37
2.11.5 Tenacidad.	37
2.11.6 Dureza.	37
2.11.7 TenSión.	37
2.11.8 Ductilidad.	37
2.11.9 Fragilidad.	37
2.12 Materiales utilizados en la carrocería.	38
2.12.1 Acero.	38
2.12.2 Acero convencional	38
2.12.3 Acero de alta resistencia.	38
2.12.3.1 Aceros Bake-Hardening.	39
2.12.3.2 Aceros Microaleados o Aceros.	39
2.12.3.3 Aceros Reforzados o Aceros Aleados al Fósforo.	39
2.12.4 Aceros de muy alta resistencia.	39
2.12.4.1 Aceros de Doble Fase.	40
2.12.4.2 Aceros de Plasticidad Inducida por Transformación.	40
2.12.5 Aceros de ultra alta resistencia.	40
2.12.5.1 Aceros Martensíticos.	40
2.12.5.2 Aceros al Boro.	40
2.13 Aluminio.	41
2.14 Plásticos.	42
2.15 Normas y especificaciones de los aceros.	42
2.15.1 Normas AISI-SAE	43
2.16 Normas para la construcción de la carrocería.	49
2.16.1 Normas.	49
2.17 Programas de evaluación.	50
2.17.1 Crash Tests.	50
2.17.1.1 Protección de peatones.	51
2.17.1.2 Protección de adultos.	51
2.17.1.3 Protección de niños.	54
2.17.1.4 Análisis de los sistemas de ayuda a la conducción.	54

2.18 ArcelorMittal.	55
2.18.1 Aceros en automóviles.	56
2.18.1.1 Composición del acero para fabricación automotriz.	56
2.18.2 Familias metalúrgicas.	56
2.18.2.1 Aceros de alta resistencia.	56
2.18.2.2 Aceros para estampación.	57
2.18.2.3 Aceros de muy alta resistencia.	57
2.18.3 Propiedades mecánicas.	57
2.18.4 Composición química.	58
2.18.5 Tipos de aceros utilizados para el desarrollo de trabajo de grado.	58
2.18.5.1 Aceros bake hardening	59
2.19 Equivalencias internacionales de normas.	66
2.19.1 Importancia.	66
2.19.2 Normas internacionales.	66
2.19.2.1 Norma SAE/ AISI	66
2.19.2.2 Norma IRAM (Instituto Argentino de Normalización).	66
2.19.2.3 Otras normas	66
2.19.3 Equivalencias de normas.	67
CAPÍTULO III.	69
3.1 Metodología de la investigación	69
3.2 Visión.	69
3.3 Tipos de investigación.	69
3.3.1 Cualitativa.	69
3.3.2 Cuantitativa.	69
3.3.3 Experimental.	69
3.3.4 Explicativo.	70
3.3.5 Bibliográfica.	70
3.4 Población y muestra.	70
3.4.1 Población.	70
3.4.2 Muestra.	70
3.5 Operación de variables.	70
3.5.1 Variable independiente.	70
3.5.2 Variable dependiente.	71
CAPITULO IV	72
4.1 Desarrollo de la propuesta.	72
4.2 Proceso de la propuesta	72
4.3 Análisis de materiales.	72
4.3.1 Materiales Utilizados.	73
4.3.1.1 Nanotubos de carbono.	73
4.3.1.2 Deposición de vapor químico.	75
4.3.2 Puerta.	77
4.3.2.1 Acero bake hardening.	77
4.3.2.2 Fibra de Carbono (Bidireccional)	78
4.3.2.3 Astillamiento de fibra de carbono (Bidireccional).	79
4.3.3 Piso	80
4.3.3.1 Acero bake hardening.	81
4.3.3.2 Fibra de carbono (Unidireccional)	82
4.3.3.3 Astillamiento de fibra de carbono (Unidireccional)	83
4.4 Resina / Endurecedor SC120	85

4.4.1	Proceso de mezcla	86
4.4.2	Geometría del Tejido de refuerzo	86
4.4.3	Teoría clásica de laminados	87
4.5	Construcción del horno (autoclave).	88
4.5.1	Estructura del horno.	88
4.5.2	Caja de control.	89
4.5.3	Accesorios eléctricos.	89
4.5.3.1	Niquelinas.	89
4.5.3.2	Selector.	89
4.5.3.3	Termocupla.	89
4.5.3.4	Contactor.	89
4.5.3.5	Control de temperatura.	90
4.6	Proceso de elaboración de probetas.	90
4.6.1	Corte del tejido de fibra de carbono.	91
4.6.2	Preparación de la superficie del molde.	92
4.6.3	Preparación de la resina y el endurecedor.	93
4.6.4	Impregnación de la mezcla con el tejido.	93
4.6.5	Proceso de vacío del material compuesto.	94
4.7	Medidas de probetas según normas ASTM de tracción y flexión.	95
4.7.1	Cálculo volumétrico para ensayos de las probetas.	96
4.7.1.1	Ensayo de tracción con tejido bidireccional.	97
4.7.1.2	Ensayo de tracción con tejido unidireccional.	98
4.7.1.3	Ensayo de flexión con tejido bidireccional.	98
4.7.1.4	Ensayo de flexión con tejido unidireccional.	99
4.8	Desarrollo del Ensayo a Tracción.	100
4.8.1	Resistencia a la tracción (σ).	102
4.8.2	Elongación del material sometido al ensayo de tracción.	103
4.8.3	Módulo de Young (E)	104
4.8.4	Análisis Visual.	107
4.9	Desarrollo del ensayo a flexión.	108
4.9.1	Esfuerzo a flexión.	111
4.9.2	Análisis Visual.	113
4.10	Evaluación del material compuesto mediante SolidWorks	114
4.10.1	Modelado de la Probeta	114
4.10.2	Estudio estático.	115
4.10.3	El material en este caso es fibra de carbono.	115
4.10.4	Ensayo de tracción.	117
CAPÍTULO V		120
5.1	Tabulación y análisis de resultados.	120
5.2	Tabulación de resultados.	120
5.1	Simulación Factor Seguridad SolidWorks	125
CAPITULO VI		127
5.1	Conclusiones y recomendaciones.	127
5.1.1	Conclusiones.	127
5.1.2	Recomendaciones.	129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		131
ANEXOS		134

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA. NUM.	DESCRIPCIÓN	PÁG.
2.1	Calentamiento del PAN	6
2.2	Oxidación del polímero	6
2.3	Unión de anillos	7
2.4	Procesos de la elaboración del material.	8
2.5	Procesos de la fibra de carbono.	8
2.6	Nanotubos de carbono.	9
2.7	Tipos de nanotubos	9
2.8	Nanofibra patelet	11
2.9	Nanofibra Fishbone.	11
2.10	Nanofibra de Ribbon	12
2.11	Nanofibra Stacked cup.	12
2.12	Conformado por contacto manual.	27
2.13	Procedimiento de conformado por enrollamiento.	27
2.14	Proceso de posición de fibras de carbono.	27
2.15	Proceso de conformado en caliente.	28
2.16	Proceso de conformado mediante proforma.	28
2.17	Proceso de conformado mediante pultrusión.	29
2.18	Proceso para conformado de inyección de resina	29
2.19	SolidWorks.	31
2.20	Tipos de carrocería y chasis	32
2.21	Bastidor.	33
2.22	Bastidor tipo escalera.	33
2.23	Bastidor tipo columna.	34
2.24	Bastidor tipo perímetro.	34
2.25	Bastidor tipo tubular.	35
2.26	Carrocería con plataforma-chasis.	35
2.27	Carrocería autoportante.	36
2.28	Diagrama comparativo de las diferentes propiedades	38
2.29	Carrocería-chasis de aluminio	42
2.30	Accesorios plásticos.	42
2.31	Norma AISI-SAE porcentaje de aleaciones.	44
2.32	Norma AISI-SAE porcentaje de aleaciones ejemplo.	44
2.33	Norma AISI-SAE porcentaje de aleaciones ejemplo.	45
2.34	Tipos de aceros AISI, SAE Y UNS.	45
2.35	Composición química % AISI, SAE.	46
2.36	Composición química % AISI, SAE.	47
2.37	Choque frontal EuroCap	52
2.38	Choque lateral EuroCap	53
2.39	Choque lateral con poste EuroCap	53
2.40	Asientos de seguridad para niños EuroCap	54
2.41	Aleaciones del acero	56
2.42	Tipos de aceros según su deformación.	57
2.43	Mecanismos de endurecimiento del acero.	57
2.44	Capo BH180	60

2.45	Puerta BH260	60
2.46	Piso adelante/atrás BH180-220	60
2.47	Larguero delantero BH300	61
2.48	Disponibilidad global de revestimientos para el acero BH.	63
2.49	Calidad de la microestructura del acero 180 BH	64
2.50	Curvas límite de conformado de aceros BH (chapa 1,0 mm).	64
2.51	Software para equivalencia de normas.	67
2.52	Características de metales a nivel internacional Total Metals	68
4.1	Desarrollo de la propuesta.	72
4.2	Nanotubo de carbono de pared múltiple.	74
4.3	Sistema de Deposición de vapor químico (CDV)	75
4.4	Puerta acero (BH 260)	77
4.5	Puerta Fibra de carbono	79
4.6	Fibra de carbono (Bidireccional)	80
4.7	Astillamiento de la fibra de carbono durante un accidente de F1.	80
4.8	Suelo del habitáculo del vehículo acero (BH 180 - 220).	81
4.9	Suelo de habitáculo de fibra de carbono (Peugeot 205)	83
4.10	Fibra de carbono (Unidireccional)	84
4.11	Astillamiento de la fibra de carbono.	84
4.12	Endurecedor de Resina.	85
4.13	Efecto del curado en láminas de Fibra de Carbono.	87
4.14	Esfuerzos que operan sobre el laminado.	87
4.15	Distribución de tensiones y deformaciones en laminado plano.	87
4.16	Autoclave.	88
4.17	Caja de control.	89
4.18	Accesorios eléctricos.	90
4.19	Tejido de fibra de carbono bidireccional 90°.	90
4.20	Tejido de fibra de carbono unidireccional 0°.	91
4.21	Colocación de la cinta adhesiva.	91
4.22	Corte del tejido.	92
4.23	Superficie del molde.	92
4.24	Mezcla entre la resina y el endurecedor.	93
4.25	Mezcla en la superficie del molde.	94
4.26	Impregnación del tejido y la mezcla.	94
4.27	Proceso de vacío.	95
4.28	Proceso de vacío empacado.	95
4.29	Características Máquina Universal TINIUS OLSEN	100
4.30	Probeta (FC Bidireccional) sometida a ensayos de tracción	101
4.31	Probeta (FC Unidireccional) sometida a ensayos de tracción.	102
4.32	Análisis Visual de probetas FC-B	107
4.33	Análisis Visual de probetas FC-U	107
4.34	Diagrama de deformación vs Esfuerzo	108
4.35	Ensayo de polímeros reforzados (Procedimiento A ASTM D7264)	109
4.36	Desarrollo del ensayo a flexión.	110
4.37	Análisis visual de la FC-B y FC-U (Ensayo de flexión)	113
4.38	Dimensión de la probeta.	114
4.39	Asignación de la fibra de carbono y sus capas.	115
4.40	Asignación de las propiedades del material.	115
4.41	Zona de sujeción.	116
4.42	Realización del mallado.	116

4.43	Ensayo de tracción.	117
4.44	Deformación máxima.	117
4.45	Esfuerzo máximo en un extremo.	118
4.46	Esfuerzo máximo en los extremos.	118
4.47	Coeficiente de seguridad en una dirección.	119
4.48	Coeficiente de seguridad en dos direcciones.	119
5.1	Propiedades de los materiales	121
5.2	Diagrama esfuerzo deformación	123
5.3	Esfuerzo a tracción MPa	125
A1.1	Informe Técnico de ensayo de tracción y flexión.	135
A1.2	Informe Técnico del ensayo realizado de tracción y flexión.	136
A1.3	Informe Técnico del ensayo realizado de tracción y flexión.	137
A1.4	Informe Técnico del ensayo realizado de tracción y flexión.	138
A2.1	Ficha técnica NFC (Bidireccional).	139
A3.1	Ficha técnica NFC (Unidireccional).	140
A4.1	Ficha técnica resina/endurecedor (matriz).	141
A4.2	Ficha técnica resina/endurecedor (matriz).	142
A4.3	Ficha técnica resina/endurecedor (matriz).	143
A5.1	Tipos de fibra de carbono	144
A5.2	Tipos de fibra de carbono	145
A6.1	Total Materia.	146
A7.1	Norma ASTM 3039	147
A7.2	Norma ASTM 3039	148
A7.3	Norma ASTM 3039	149
A7.4	Norma ASTM 3039	150
A7.5	Norma ASTM 3039	151
A8.1	Norma ASTM D7264	152
A8.2	Norma ASTM D7264	153
A8.3	Norma ASTM D7264	154
A8.4	Norma ASTM D7264	155
A9.1	Norma INEN 1323	156
A9.2	Norma INEN 1323	157
A9.3	Norma INEN 1323	158
A9.4	Norma INEN 1323	159
A9.5	Norma INEN 1323	160
A9.6	Norma INEN 1323	161
A9.7	Norma INEN 1323	162
A9.8	Norma INEN 1323	163
A9.9	Norma INEN 1323	164
A9.10	Norma INEN 1323	165
A9.11	Norma INEN 1323	166
A9.12	Norma INEN 1323	167
A9.13	Norma INEN 1323	168

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA. NUM.	DESCRIPCIÓN	PÁG.
2.1	Clasificación de las resinas termoestables	20
2.2	Índice de resistencia del acero.	41
2.3	Nomenclatura.	43
2.4	Especificaciones de los aceros AISI.	48
2.5	Grados de acero según la Norma ASTM.	48
2.6	Normas para la construcción de carrocerías	50
2.7	Acero Bake Hardening con normas de estandarización.	61
2.8	Chapas sin revestir en probetas ISO 20x80 en sentido transversal.	62
2.9	Composición química del Bake Hardening (%)	62
2.10	Rango de soldabilidad de acero BH.	65
2.11	Resistencia a la fatiga acero BH..	65
4.1	Comparación de los nanotubos de carbono.	74
4.2	Características de nanotubos con aleaciones.	76
4.3	Acero Bake Hardening.	78
4.4	Acero Bake Hardening características	78
4.5	Acero Bake Hardening composición.	78
4.6	Acero Bake Hardening esfuerzo máx.	78
4.7	Fibra de carbono bidireccional, Style: 1102-05	79
4.8	Acero Bake Hardening.	81
4.9	Acero Bake Hardening características.	82
4.10	Acero Bake Hardening composición.	82
4.11	Acero Bake Hardening esfuerzo maximo.	82
4.12	Fibra de carbono Unidireccional, Style: 1033-01.	83
4.13	Características de la resina y endurecedor.	85
4.14	Características de la mezcla de la resina epoxy.	86
4.15	Medidas de probetas.	96
4.16	Dimensiones de las probetas para ensayos de tracción.	101
4.17	Esfuerzo máximo a tracción de la FC bidireccional.	102
4.18	Esfuerzo máximo a tracción de la FC unidireccional.	103
4.19	Elongación de la fibra de carbono bidireccional.	104
4.20	Elongación de la fibra de carbono unidireccional.	104
4.21	Módulo de elasticidad de las probetas FC-B	105
4.22	Módulo de elasticidad de las probetas FC-U	105
4.23	Evaluación de resultados de las probetas FC-B	106
4.24	Evaluación de resultados de las probetas FC-U	106
4.25	Análisis de resultados de las probetas FC-B y FC-U	108
4.26	Dimensión de la probeta de FC-B para ensayo de Flexión.	109
4.27	Dimensión de la probeta de FC-U para ensayo de Flexión.	109
4.28	Resultados de carga máxima de probeta de FC-B	110
4.29	Resultados de carga máxima de probeta de FC-U	110
4.30	Calculo esfuerzo a flexión (Bidireccional)	111
4.31	Calculo esfuerzo a flexión (Unidireccional)	111

4.32	Análisis estadístico de resultados de FC-B	112
4.33	Análisis estadístico de resultados de FC-U	112
4.34	Especificaciones de fibra carbono	114
5.1	Fatiga del acero Bake Hardening.	120
5.2	Esfuerzo máx Fibra de Carbono Bidireccional.	120
5.3	Obtención general de resultados.	122
5.4	Esfuerzo de deformación acero Bake Hardening Piso.	122
5.5	Esfuerzo máx Fibra de Carbono Unidireccional	123
5.6	Resultados.	124
5.7	Factor de seguridad.	125

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN. NUM.	DESCRIPCIÓN	PÁG.
[2.1]	Fenómeno de envejecimiento	63
[4.1]	Cálculo volumétrico	96
[4.2]	Volumen de la fibra bidireccional	97
[4.3]	Volumen de la fibra unidireccional	98
[4.4]	Volumen del compuesto	98
[4.5]	Volumen de la fibra	100
[4.6]	Resistencia a la tracción	102
[4.7]	Elongación del material	103
[4.8]	Porcentaje de elongación	103
[4.9]	Módulo de Young	104
[4.10]	Esfuerzo a flexión	111

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO. NUM.	DESCRIPCIÓN	PÁG.
1	Informe técnico EPN.	135
2	Ficha técnica NFC (Bidireccional).	139
3	Ficha técnica NFC (Unidireccional).	140
4	Ficha técnica resina/endurecedor (matriz).	141
5	Tipos de fibra de carbono.	144
6	Total Materia.	146
7	Norma ASTM 3039	147
8	Norma ASTM D7264	152
9	Norma INEN 1323.	156

GLOSARIO DE TÉRMINOS

CO₂ = Dióxido de Carbono.

NO_x = Óxido de Nitrógeno.

PAN = Poliacrilonitrilo

°C = Grados Centígrados.

Fe = Hierro.

Ni = Níquel.

C = Carbono.

O = Oxígeno.

MC = Material Compuesto.

MCMC = Material Compuesto de Matriz Cerámico

MCMP = Material Compuesto de Matriz Polimérica

MCMM = Material Compuesto de Matriz Metálica

R = Resina.

F1 = Formula 1

FCUG = Fibra de Carbono para uso general

FCAP = Fibra de carbono de altas prestaciones

2D = 2 dimensiones.

3D = 3 dimensiones.

CAD = Programa de diseño asistido por computadora.

BH = Bake Hardening.

DP = Doble Fase

TRIP = Plasticidad inducida por transformación.

Mar = Martensítico

ANSI = American National Standards Institute.

ACI = American National Standards Institute.

AWS = American Welding Society.

ASME = American Society of Mechanic Engineers.

CENIM = Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas.

ASTM = Asociación Americana de Ensayo de Materiales.

NTE = Normas Técnicas Ecuatorianas

INEN = Instituto Ecuatoriano de Normalización.

ANT = Agencia Nacional de Tránsito

CCICEV = Centro de Transferencia Tecnológica para la capacitación e investigación en control de Emisiones Vehiculares.

V_f = Volumen de la fibra

V_m = Volumen de la matriz

V_c = Volumen del compuesto

A = Área

F = Carga máxima

EL = Elongación

L_f = Longitud final

L_o = Longitud inicial

E = Modulo de elasticidad

dL = Variación de la longitud de la probeta

dP = Fuerza aplicada

L = Longitud inicial

d = Espesor de la probeta

b = ancho

RESUMEN

Esta investigación se la desarrolló para elaborar un nuevo material compuesto con nanofibra de carbono con la finalidad de sustituir al acero en la fabricación de carrocerías, ya que este material es muy resistente, flexible, duradero y brinda seguridad al ocupante del vehículo, como referencia para el estudio se eligió las puertas y el piso para elaborar probetas y realizar ensayos que determinan la viabilidad del material y su factor de seguridad. En el estudio se realizó la introducción del trabajo de grado, en donde se determinó el problema y se estableció objetivos generales y específicos, así como la justificación para realizar la elaboración de un material compuesto utilizando nanofibra de carbono por termoconformado con sus respectivos ensayos experimentales, en el marco teórico se determinó los tipos de materiales utilizados en la carrocería del vehículo, las normas que se emplea para la fabricación de carrocerías, procesos de fabricación, tratamientos de curado y funcionamiento de máquinas, para determinar la metodología de la investigación, y desarrollar de manera adecuada la propuesta elaborando un flujograma el cual se explica detalladamente la elaboración del material compuesto, comparando así dos tipos de materiales el acero que se utiliza en las carrocerías como en las puertas y el suelo del vehículo (Piso) y el nuevo material compuesto (Fibra de Carbono) material propuesto para la fabricación de dichos elementos, posteriormente construimos un horno de temperatura programable para procesar la fibra de Carbono, y realizar los respectivos ensayos de tracción y flexión en el laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional para determinar la viabilidad del material elaborado para posteriormente comparar los valores obtenidos en el laboratorio y realizar la simulación del material propuesto en SolidWorks para determinar el factor de seguridad y validar el estudio realizado al elaborar material compuesto con nanofibra de carbono por termoconformado.

ABSTRACT

This research was developed to present a new material that contains carbon nanofiber. The main purpose of this new material is replacing steel in the manufacture of bodywork. This new material is very resistant, flexible, durable, and provides safety to the occupant of a vehicle. As a reference to this study was chosen to the doors and the floor to make test tubes and perform tests that determine the viability of the material, and its safety factor. In the study, the introduction of grade work was carried out, where the problem was determined and general and specific objectives were established. As well as the justification to make a composite material using carbon nanofiber by thermoforming with their respective experimental tests. In the theoretical framework, all kinds of materials were used in the bodywork of the vehicle. These materials are determined, as well as the standards used to manufacture bodyworks, in the manufacturing processes, curing treatments and machine operation.

To determine the methodology of the research, and to develop a suitable way this proposal was made with a flow of grass, which explains in detail the elaboration of the composite material. Comparing two types of materials the steel that is used in the bodies as in the doors and the floor of the vehicle (Floor) and the new material compound (Carbon Fiber) material proposed to make these elements. We built a programmable temperature furnace to process the carbon fiber, and perform the respective tests of traction and bending in the laboratory of analysis of efforts and vibrations of the National Polytechnic School, to determine the feasibility of the material developed, to then compare the values, that we obtained in the laboratory and perform the simulation of the material proposed in SolidWorks to determine the safety factor and validate the study carried out when making composite material with carbon nanofiber by thermoforming.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de grado de investigación de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz abarca el tema de elaborar un material compuesto con nanofibra de carbono por termoconformado para aportar a la sociedad un nuevo conocimiento acerca de los materiales compuestos, es decir, estos materiales compuestos permiten aportar una evolución a la industria automotriz. Además, es importante mencionar el aporte que tiene para nuevos profesionales de la carrera al ser una investigación teórica y práctica para una mejor comprensión de los materiales compuestos.

En la actualidad existen diversos materiales que se utilizan en la industria automotriz de ahí se ha dado la iniciativa de estudiar nuevos materiales para evitar problemas con los materiales convencionales (acero) del vehículo, el inconveniente de estos materiales metálicos es el peso y su factor de seguridad es menor. Por tal motivo se vio el interés de investigar las propiedades de los materiales compuestos ya que poseen un menor peso y una mayor resistencia que el acero el cual genera un coeficiente de seguridad más elevado.

Las nanofibras de carbono fueron creadas en la década de los 60 mediante rigurosos procesos el cual permite la oxidación del oxígeno para la generación de la carbonización, según los procesos de temperatura a que son sometidas se generan los tipos de resistencia de la nanofibras de Carbono como sus propiedades baja densidad, alta elasticidad, resistencia a la tracción, etc. La matriz son compuestos moleculares mediante la propiedad polimérica permite la cadena hexagonal de átomos, estos polímeros permiten que las moléculas se unan entre sí para un mejor desempeño del material durante el curado.

En la creación de autoclave (horno de curado) es un elemento fundamental para la elaboración del material compuesto ya que permite curar el material mediante un proceso de temperatura y presión (vacío), esto permite que la matriz y la nanofibra se compacten de mejor manera.

Las pruebas Crash test consiste en comprobar la resistencia de los materiales del vehículo durante pruebas de impacto antes de que un vehículo salga al mercado, estas pruebas se las realiza mediante normas de seguridad como EuroNCAP, LatinNCAP, NHTSA y IIHS. Estas normas permiten la simulación de

atropellos la cual según el daño que sufren los ocupantes se califica la seguridad del vehículo.

La nanofibra de carbono fue seleccionada bajo estudios realizados para identificar las propiedades que se requieren para la elaboración del material compuesto por tal motivo se seleccionó dos tipos de fibras de carbono como la bidireccional (45°) y la unidireccional (90°), estos tipos son las más utilizadas en la fabricación de vehículos y una matriz termoplástica la cual se deriva la resina epoxi esta permite una unión compacta entre los tejidos de la fibra y la resina.

La elaboración del material fue exitosa porque se cumplió los parámetros esperados durante los ensayos de tracción y flexión, estos ensayos fueron realizados bajo normas internacionales ASTM la cual rige estándares de calidad. Ensayo de tracción D3039/D3039M-14 y ensayo de flexión D7264/D7264-15. Durante los ensayos del material se determinó que la nanofibra de carbono posee una mayor resistencia y un menor peso que material convencional (acero) que se utiliza en el vehículo.

CAPÍTULO I.

1.1 PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

1.1.1 ANTECEDENTES.

En la actualidad ha incrementado notablemente la cantidad de materiales como sus respectivas propiedades para el mejoramiento de nuevos productos, es decir, mediante las investigaciones tecnológicas han mejorado los materiales compuestos con el fin de crear un material para cada aplicación.

La creación de materiales en los últimos años ha permitido que grandes compañías automotrices implementen materiales sofisticados para sus vehículos, pero estos tipos de materiales son implementados en vehículos de alta gama. Los materiales compuestos como la nanofibra de carbono poseen propiedades excelentes en comparación a otros tipos de materiales como el aluminio y el acero ya que estos materiales son los más empleados en el campo automotriz.

Por tal motivo el tema del proyecto pretende dar a conocer más acerca de los beneficios que cuenta la nanofibra de carbono, un beneficio de este material es la absorción del impacto o ante un accidente automovilístico, el material al absorber el impacto permite que el ocupante no sufra lesiones de gravedad a lo contrario del acero y el aluminio. De tal razón se busca que más personas cambien su manera de ver las cosas y prefieran un material de alta calidad en lugar de un material de baja calidad ya que está en juego su vida dentro del vehículo.

1.1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Los materiales existentes en la actualidad dentro del campo automotriz son de diversas propiedades y características, la fabricación de dichos materiales ha generado una problemática en el vehículo de ahí surge la necesidad de encontrar un material más ligero y resistente.

El inconveniente de los materiales metálicos es su peso y resistencia (acero y aluminio) debido a que estos materiales son los más utilizados en el vehículo, ocasionando desventajas en su rendimiento. El acero al ser el material más utilizado en la industria posee excelentes propiedades mecánicas como la

dureza, pero su perjuicio es el peso, el automotor al tener una mayor densidad tendrá menor eficiencia, es decir que va a consumir una mayor cantidad de combustible generando más gases contaminantes como CO₂, NO_x, etc. Este material también generará una desventaja eminente en el mantenimiento del vehículo al ser más pesado los elementos sufren un excesivo desgaste por el esfuerzo que realiza al desplazarse.

El aluminio también se lo utiliza como un material en segundo plano en lugar del acero ya que posee diferentes propiedades teniendo como cualidad ser más ligero pero este material no resiste a esfuerzos mecánicos en comparación con el acero, por tal motivo existe la necesidad de elaborar un material que contenga las propiedades y características del acero y el aluminio para así obtener un material especial para beneficio de la industria automotriz al crear un material ligero y con un alto índice de resistencia.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cómo elaborar un material compuesto utilizando nanofibra de carbono por termoconformado?

1.3 DELIMITACIÓN.

1.3.1 TEMPORAL.

La realización del estudio se lo ejecutara en el tiempo establecido entre Febrero del 2017 hasta Enero 2018.

1.3.2 ESPACIAL.

La presente investigación se la realiza en la ciudad de Quito Provincia de Pichincha, dentro de las instalaciones de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), especialmente en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 OBJETIVO GENERAL.

Elaborar un material compuesto con nanofibra de carbono por termoconformado.

1.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Conocer la metodología de fibras y compuestos en la industria automotriz.
- Seleccionar el polímero y la fibra de Carbono adecuada para la realización del trabajo de grado.
- Elaborar el material compuesto de nanofibra de carbono por termoconformado.
- Determinar las propiedades mecánicas de flexión y tracción del material.

1.5 JUSTIFICACIÓN.

Actualmente es importante fabricar materiales capaces de aportar con propiedades y características especiales a la industria, hoy en día existe la demanda de producir materiales ligeros, pero a su vez duraderos y resistentes sin importar su área de aplicación, los materiales que contribuyen a dicha demanda son los materiales reforzados con fibras y compuestos.

Este proyecto tiene como finalidad elaborar un material ligero con la capacidad de trabajar bajo fuertes condiciones de esfuerzos y reduciendo el peso donde se le vaya aplicar, dando como beneficio la optimización del material ya que al utilizar nanofibra de carbono el material va a ser más resistente que el acero o el aluminio.

La fibra de Carbono se desarrolló originalmente en la industria espacial ya que es un material que tiene excelentes propiedades, en la actualidad se la utiliza en diferentes campos como la competición de autos o en vehículos de alta gama. El costo de la fibra de Carbono es elevado en relación a otros tipos de materiales, pero tiene cualidades sorprendentes, su ligereza y resistencia mecánica le hacen especial ya que se asemeja al acero con un módulo de ruptura similar, pero con un 75 % de ligereza, compensado el costo del material.

Su utilización ha ido invadiendo diferentes campos como la más básica hasta la avanzada ya que este ha sido empleado como un material de refuerzo.

La industria con la implantación de nuevos materiales requieren que estos sean capaces de trabajar en fuertes condiciones de esfuerzo, los materiales compuestos aportan con una alternativa a dicha demanda, la mezcla de uno o

más materiales dan como resultado otro tipo de material con diferentes propiedades para ser fabricados en diferentes elementos mecánicos.

La necesidad es notable y por tal situación nos involucramos a la elaboración de un material compuesto utilizando nanofibra de Carbono por termoconformado, para contribuir con el desarrollo de la fabricación de materiales más ligeros con la capacidad de trabajar a fuertes condiciones de esfuerzo para que puedan ser utilizados en diferentes campos.

CAPÍTULO II.

2.1 MARCO TEÓRICO.

2.1.1 HISTORIA DE LA FIBRA DE CARBONO.

Para la obtención de la fibra de carbono se debe recordar su historia, ya que para la elaboración de dicho material se debe conocer todos sus procedimientos como a sus respectivos responsables, el centro de la Unión Carbide Parma donde se desarrolló las primeras fibras de Carbono de alto rendimiento resultaron ser inadecuadas porque contenían solo un 20% de carbono, es decir, sus propiedades eran ineficientes ya que no contaban con una alta resistencia y fuerza; estas fueron creadas por Roger Bancon en 1958. (Chung, 2012). En la Agencia de Ciencia Industrial Avanzada y tecnológica de Japón se desarrolló otro proceso para la obtención de fibra de Carbono donde se pudo obtener un 55% de Carbono mediante la poliacrilonitrilo (PAN) como materia prima; descubierta por Akio Shindo en 1960.

En Reino Unido en 1963 en el Establecimiento Real de Aeronaves en Hampshire, la fibra de Carbono fue aprovechada la mayor parte de sus propiedades por el Ministerio de Defensa y autorizado a tres empresas como: Rolls Royce, Morganita y Courtaulds.

Dichas empresas supieron aprovechar todas las características necesarias que poseía la fibra de Carbono, Rolls Royce fue la empresa que se destacó con los alcances que poseía la fibra de carbono al fabricar las aspas del compresor del motor de aviones, pero la producción del material era muy costosa que solo la empresa Courtaulds decidió elaborar para los mercados de equipamiento deportivo y aeroespacial. La producción de la fibra de Carbono no se detenía, en 1970 descubrieron una nueva materia prima que contenían un 85% de Carbono que le permitía tener una alta resistencia a la flexión, fue descubierta a través de la transformación del petróleo.

2.1.2 OBTENCIÓN DE LA FIBRA DE CARBONO.

Para la obtención o la fabricación de la fibra de Carbono se la realiza mediante la quema de algunos elementos a excepción del Carbono, es decir, el material

debe soportar temperaturas muy elevadas desde los 200°C hasta los 3000°C este proceso se lo realiza para la obtención del material netamente puro.

2.1.2.1 Primer proceso.

La elaboración del material es por medio de otro polímero llamado poliacrilonitrilo (PAN), dicho material se lo debe estirar para que contengan una excelente estabilidad dimensional y distribución molecular, este proceso se lo realiza para impedir que el material se funda o queme.

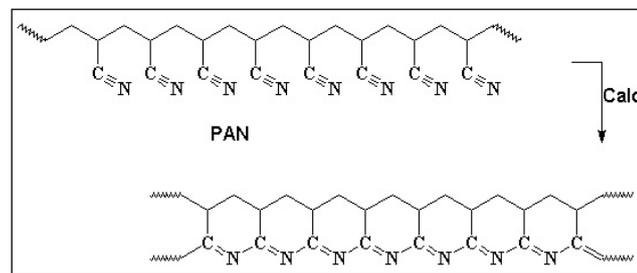


Figura 2.1 Calentamiento del PAN

Fuente: (Mariano, 2011), pág. 2

2.1.2.2 Segundo proceso

El material es introducido a un horno donde va a ser sometido a 200°C y 300°C para su respectiva oxidación (queme) para que el polímero que era blanco se haga negro, donde se agregan moléculas de oxígeno a las moléculas del poliacrilonitrilo (PAN) para la formación de su estructura hexagonal.

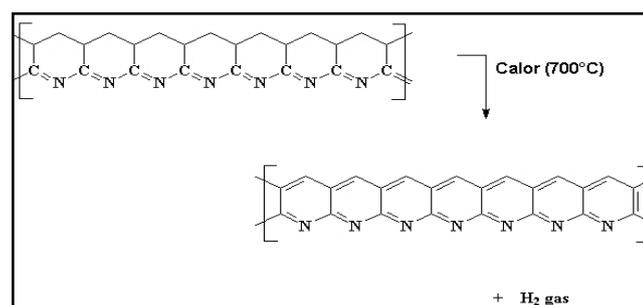


Figura 2.2 Oxidación del polímero

Fuente: (Mariano, 2011), pág. 2

2.1.2.3 Tercer proceso.

El material es sometido a temperaturas más elevadas que oscilan entre los 1000°C bajo un ambiente (atmósfera) inerte, a partir de este proceso de calentamiento se forman los anillos hexagonales de Carbono mediante la

eliminación de los átomos de Hidrógeno y Nitrógeno mediante la carbonización. Con dicha temperatura se obtienen fibras de Carbono de resistencia media.

Para conseguir fibras de Carbono de mayor resistencia el material PAN es sometido a temperaturas más elevadas de 2000°C a 2500°C en un ambiente inerte o sin Oxígeno, para la formación de hilos muy delgados que pueden soportar una resistencia de 5650 N/mm^2 .

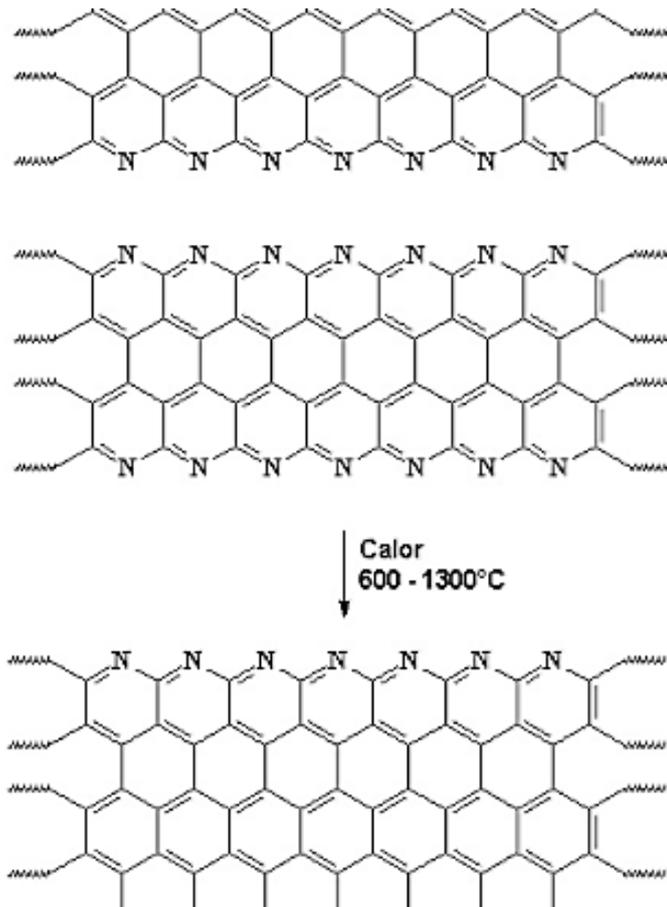


Figura 2.3 Unión de anillos

Fuente: (Mariano, 2011), pág. 2

2.1.2.4 Cuarto proceso

Se realiza el mismo procedimiento de calentamiento térmico pero el PAN va a estar sometido a temperaturas mucho más elevadas que rodean los 2500°C a 3000°C permitiendo que los anillos hexagonales de la fibra de Carbono tengan un mejor tamaño y orientación para la formación de hilos más anchos, obteniendo una resistencia del material de 531000 N/mm^2 por medio de la grafitización.

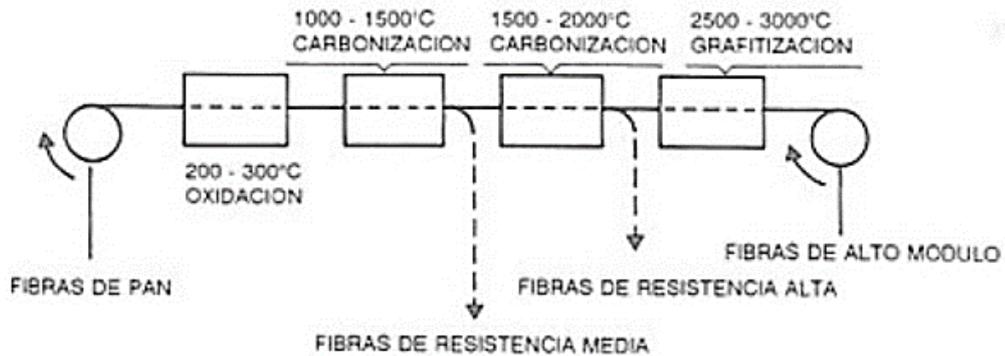


Figura 2.4 Procesos de la elaboración del material.

Fuente: (Karina, 2013), pág. 1

2.1.2.5 Quinto proceso.

Fabricación del material es la aplicación de catalizadores al pasar la fibra por una cámara, los catalizadores permiten la adherencia de la fibra de Carbono con la resina, para la fabricación de láminas y tubos las fibras de Carbono deben ser tejidas.

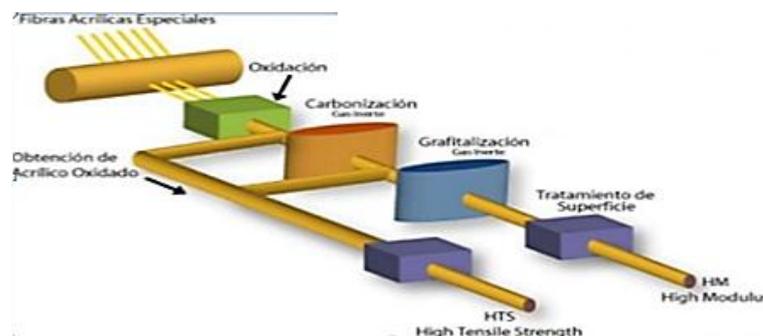


Figura 2.5 Procesos de la fibra de carbono.

Fuente: (Martinez, 2014), pág. 9

2.2 NANOFIBRAS DE CARBONO.

2.2.1 NANOFIBRA DE CARBONO.

Las nanofibras de Carbono fueron creadas a partir de la década de los 60 como se mencionó anteriormente, ya que estas fibras poseían mayores prestaciones para los materiales compuestos por sus características.

Los nanotubos de Carbono son materiales principalmente de Carbono que cuentan con varios huecos hexagonales que forman una tapa cónica, los nanotubos fueron descubiertos en la década de los 90 y desarrollados a partir de ese mismo año.

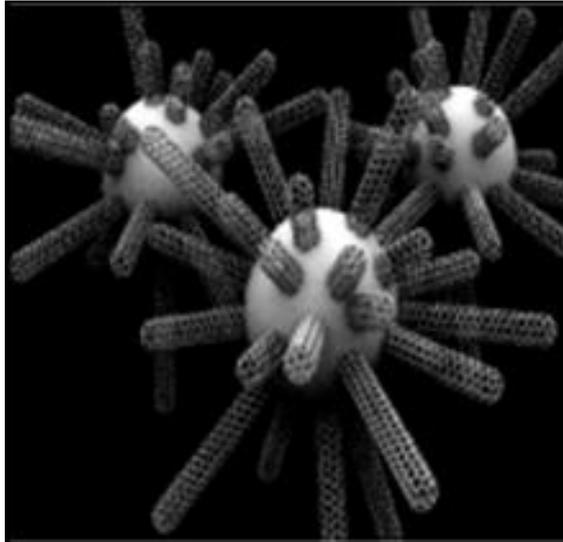


Figura 2.6 Nanotubos de carbono.

Fuente: (Jimenez, 2007), pág. 4

Los nanotubos en sus paredes poseen los átomos de Carbono formando un plano gráfico en forma de un cilindro con buena conducción eléctrica, se dividen en:

- De pared simple (SWNT).
- De pared múltiple (MWNT).

Nanotubos de pared simple son materiales enrollados que forman un cilindro con diámetros de 1 nm a 2 nm, y los nanotubos de pared múltiple son materiales que están formados por varias capas dando una forma cilíndrica con diámetro interno de 5 nm a 10 nm y externo de 80 nm.

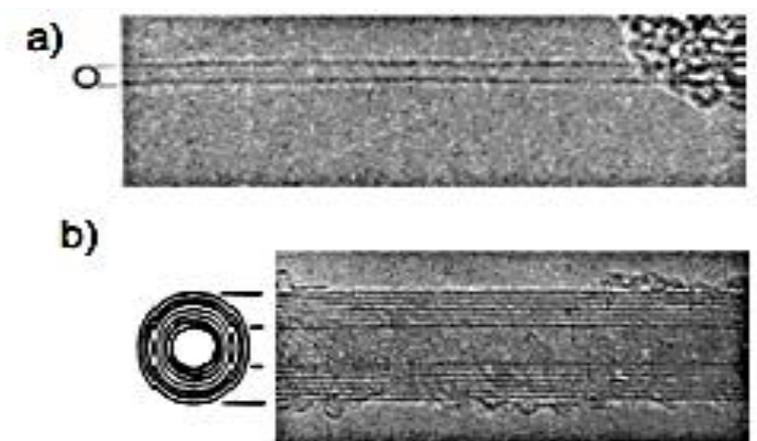


Figura 2.7 Tipos de nanotubos

Fuente: (Jimenez, 2007), pág. 6

Las nanofibras de Carbono son producidas a partir del grafito en forma de hilos con diámetros de 30 nm a 500 nm (nanómetros), la nanofibra de Carbono puede ser isótropa, es decir, que no dependen de cualquier dirección.

Las nanofibras de carbono poseen grandes propiedades como:

- Propiedades anticorrosivas.
- Baja densidad.
- Alta resistencia a la tracción.
- Alta conductividad eléctrica.
- Alta conductividad térmica.
- Alta elasticidad.
- Buena capacidad de lubricación y adsorción.
- Bajo coeficiente de expansión térmica.
- Alta superficie específica.
- Materiales reciclables.

2.2.2 TIPOS DE NANOFIBRAS.

En la actualidad existen diferentes tipos de nanofibras de carbono estas dependen según el número de capas de grafeno que constituyen y su disposición como:

- Patelet.
- Fishbone.
- Ribbon.
- Stacked.

2.2.2.1 Patelet.

Este tipo de nanofibras poseen ángulos rectos con respecto al eje para generar un crecimiento bidireccional, esto permite que la conducción eléctrica no continúe la dirección del eje del filamento.

Para la obtención de este tipo de nanofibra se utilizan catalizadores como el hierro (Fe) níquel (Ni) u otros elementos dependiendo de la temperatura para su elaboración mediante una mezcla CO/H₂.

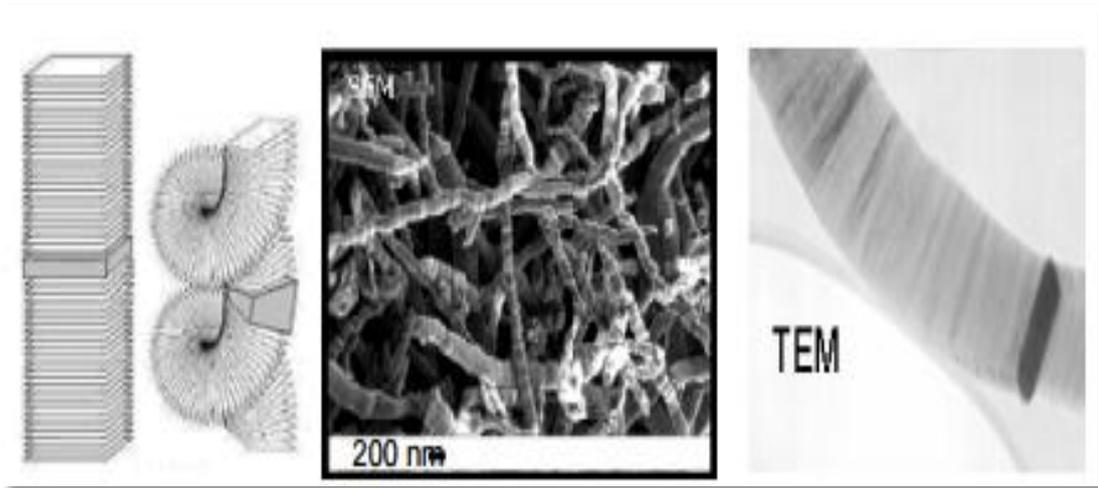


Figura 2.8 Nanofibra patelet

Fuente: (Jimenez, 2007), pág. 7

2.2.2.2 Fishbone.

Para la obtención de esta fibra solo se utiliza el níquel (Ni) e hidrocarburos. Este tipo de nanofibras no poseen un ángulo recto con respecto al eje ocasionando que su conjunto sea poligonal por medio de su geometría por la partícula, las partículas pueden estar en dos lugares como en la punta y en el centro (bidireccional).

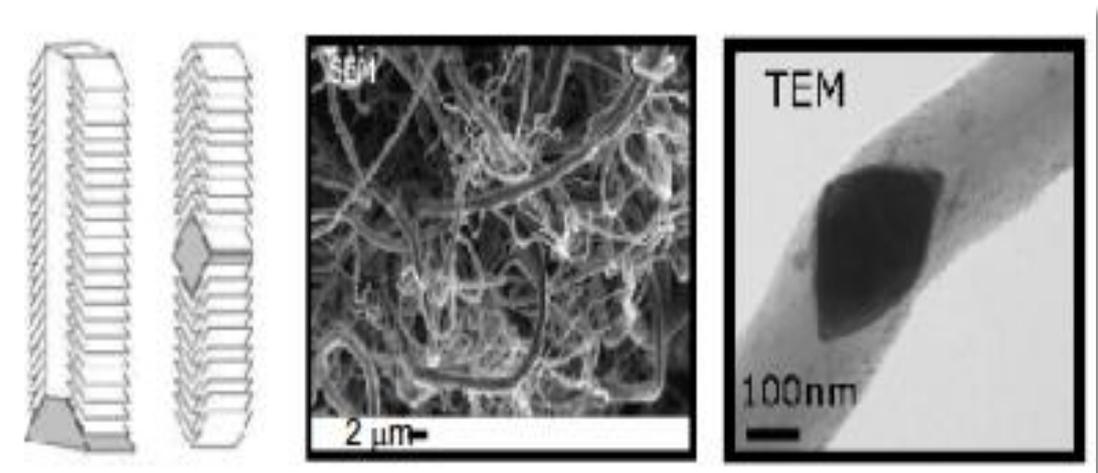


Figura 2.9 Nanofibra Fishbone.

Fuente: (Jimenez, 2007), pág. 7

2.2.2.3 Ribbon.

Las nanofibras de Ribbon son muy similares a los nanotubos de pared múltiple (MWNT) al observarlos a través de microscopia electrónica, este tipo de nanofibras su estructura se encuentran paralelas al eje.



Figura 2.10 Nanofibra de Ribbon

Fuente: (Jimenez, 2007), pág. 8

2.2.2.4 Stacked cup.

Para la obtención de este tipo de nanofibra se realiza mediante el método de catalizador flotante por medio de elementos como el azufre y el metano, este tipo de nanofibras son similares a las Fishbone, pero poseen gran cantidad de hueco, su cuerpo es circular y muy ancho. La stacked cup posee una gran diferencia sobre su estructura si es un enrollamiento continuo en espiral o de conos apilados.

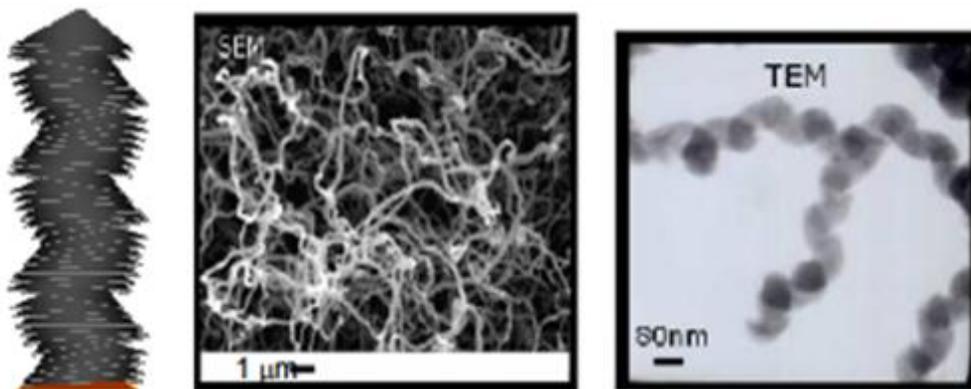


Figura 2.11 Nanofibra Stacked cup.

Fuente: (Jimenez, 2007), pág. 8

2.2.3 APLICACIÓN DE FIBRA DE CARBONO.

Hoy en día la fibra de Carbono ha ido evolucionando el mundo de los materiales debido a la utilización y beneficios que esta brinda, este material se lo emplea para elaborar materiales compuestos, la utilización de fibra de Carbono se utilizó en la industria espacial, sin embargo, el material era demasiado costoso, pero con el tiempo ha ido poco a poco economizándose se la ha utilizado en las industrias automotrices y aeronáutica también en bicicletas, barcos etc.

La fibra de Carbono tiene mucha utilidad en la vida cotidiana y poco a poco va siendo de mucha utilidad en diferentes aplicaciones artículos de consumo como ordenadores portátiles, cañas de pescar, raquetas de tenis, joyas, carteras de bolsillo, relojes en incluso para la construcción de edificios etc.

2.2.4 ELEMENTOS QUE SE PUEDEN PROCESAR CON FIBRA DE CARBONO.

- Cascos de motocicleta
- Drones
- Prótesis
- Medios de transporte
- Instrumentos musicales
- Construcciones

La fibra de Carbono por sus excelentes propiedades mecánicas ha dado un giro al mundo en el desarrollo al ser un material resistente como el acero y ligero como la madera o el plástico.

Existe una gran variedad de fibra de Carbono según el módulo y la aplicación en la que se vaya utilizar como por ejemplo:

2.2.5 MÓDULO DE FIBRA INTERMEDIA.

Este tipo de fibra de módulo intermedio se lo utiliza en la industria militar y aeronáutica civil que tenga una elevada responsabilidad estructural.

2.2.6 MÓDULO DE FIBRA ALTA.

Este tipo de fibra de módulo alto se la utiliza en la industria espacial que necesitan una elevada elasticidad térmica, también se la utiliza en la industria automotriz como por ejemplo en la Fórmula 1 utilizándolo de manera masiva ya que este material al momento del impacto tiene la ventaja que se revienta a los extremos absorbiendo la energía y protegiendo al conductor, el monocasco, el chasis es elaborado de fibra de carbono.

2.3 MATERIALES COMPUESTOS.

Los materiales compuestos son esencialmente la combinación de sustancias insolubles de una o más entre ellas que han sido manipuladas siguiendo un proceso mecánico o artificial donde un elemento se conserva en su forma original excluyendo esta definición a los materiales multifásicos que han formado sus bases como resultado de fenómenos naturales. (Barroso, 2014).

Como también sucede en cerámicas, el uso de materiales compuestos y su elaboración es de ya hace épocas muy antiguas, como por ejemplo el papel o el adobe son materiales que se obtenían artificialmente, ocurriendo similarmente con ciertos metales y materiales poliméricos existen de igual forma en la naturaleza, la madera es un ejemplo de un material compuesto ya que este material ha sido utilizado desde hace mucho tiempo atrás.

Los materiales compuestos utilizan el conocimiento de las tecnologías modernas para su diseño y fabricación, los primeros materiales compuestos han sido los plásticos reforzados con fibra de vidrio y hormigón. Las propiedades que adquieren los materiales compuestos al combinarse son superiores que cada componente por separado, aunque disminuya alguna propiedad aislada.

Las propiedades del compuesto en diversos casos la media ponderada de los constituyentes se aproxima mucho, no obstante, las propiedades de los materiales compuestos, la tenacidad es un ejemplo de que mejora la media de los valores particulares de cada componente.

Estos materiales han sido utilizados en la industria espacial y aeronáutica originalmente, pero está abarcando otros campos como: artículos deportivos, el transporte, electrodomésticos, e incluso fabricando biomateriales para la industria química.

El conocimiento que se va adquiriendo con el desarrollo de estas nuevas tecnologías se va implantando en otros tipos de aplicaciones que no se había pensado que se puede utilizar, siendo estos tipos de materiales como una alternativa al sustituir principalmente materiales metálicos.

La resistencia por unidad de peso y el módulo de elasticidad por unidad de peso son las ventajas que brindan estos materiales compuestos, al tener una mayor resistencia específica y un mayor módulo específico da como resultado menor peso es decir el peso de los componentes son reducidos siendo un factor importante en piezas móviles, principalmente en el transporte ya que al reducir el peso de los componentes tenemos como consecuencia mayor rendimiento y ahorro de energía. (Hull, 2010)

La metodología utilizada debe ser distinta a la empleada para que el estudio de los materiales compuestos avance para elaborar otros tipos de materiales, desde el punto de vista mecánico cada componente de material se le considera continuo, por tal motivo un material compuesto será un método polifásico, heterogéneo, teniendo en cuenta la distinción de la matriz como fase principal y la fase dispersa que suele operar como refuerzo siendo secundaria.

2.3.1 FUNCIONES IMPORTANTES DE LA MATRIZ.

- Ordenamiento y fijación deseado de la fibra.
- Esfuerzos transmitidos en las fibras.
- Protección ante los esfuerzos de compresión de las fibras.
- Protección de medios externos de las fibras.

El material utilizado como refuerzo brinda una alta resistencia al esfuerzo de tracción, y la matriz utilizada rodea a las fibras transfiriendo la carga de las fibras rotas a las intactas con las que no están en la línea de tensión alineadas, o que la matriz sea flexible para evitar el pandeo de las fibras por compresión.

2.3.2 FABRICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS (MC) SE CLASIFICA EN DOS GRUPOS:

- De acuerdo con el tamaño del componente disperso.
- Materiales Compuestos (MC) macroscópicos.

2.3.3 MATERIALES COMPUESTOS (MC) MACROSCÓPICOS.

Los MC macroscópicos importantes son el hormigón, que la grava y el cemento

son su mezcla, también los que se utiliza en las tablas de esquiar son de material laminados.

2.3.4 MATERIALES COMPUESTOS (MC) MICROSCÓPICOS.

Los MC microscópicos se subdividen según la geometría del reforzante como, por ejemplo:

2.3.4.1 MC con fibras de refuerzo continuo.

Este tipo de fibra suelen estar orientadas al azar. El refuerzo de este material compuesto de este tipo de fibra puede influir por su dirección, siendo el de dirección longitudinal el que ha dado altos valores de resistencia, y en la transversal estando casi nulos, los MC reforzado con fibras, muestran anisotropía, evitando esto utilizando MC laminados como el de tipo sandwich y los reforzados con partículas.

2.3.4.2 MC con partículas de refuerzo discontinuo.

Este tipo de material compuesto por partículas de reforzamiento, existen dos tipos dependiendo su tamaño, partículas de tamaño muy pequeño de 10 a 100 nm, la mecánica de medios continuos no puede explicar este mecanismo de refuerzo.

Es necesario acudir a modelos microscópicos como por ejemplo el mecanismo de Orowan para materiales incoherentes con la matriz. En el refuerzo por partículas pueden ser carburos u óxidos, siendo el volumen de las partículas son muy pequeñas no sobrepasando el 25 % de estas.

2.3.4.3 MC con refuerzo articulado.

Como las (macropartículas esféricas, huecas, elipsoides, planas, irregulares).

2.3.4.4 MC de dispersión reforzada como refuerzo.

Como en el anterior solo que tiene una restricción del tamaño de 1µm de la partícula.

2.3.5 REDES INTERPENETRANTES.

Estructuras laminares: como estructuras de tipo sandwich como principal.

Multicomponentes: partículas, fibras, etc.

Los MC dependen de la naturaleza de la matriz como son:

- MC de matriz cerámica MCMC
- MC de matriz polimérica MCMP
- MC de matriz metálica MCMM

2.4 TIPOS DE MATRICES DE MATERIALES COMPUESTOS.

Existen diferentes tipos de matrices que se utilizan en materiales compuestos, existen gran variedad de matrices según la aplicación que se le vaya a dar, la matriz es la resina que le brinda la resistencia determinada al material compuesto.

2.4.1 MATRICES INORGÁNICAS.

2.4.1.1 Matrices Metálicas.

Las más utilizadas son el Titanio, Cobre, Magnesio, Aluminio, Magnesio, junto a sus posibles aleaciones, para realizar un reforzado con fibra el método más común para su fabricación es el (MCMM) es por prensado caliente. Geopolímeros, Cemento, yeso.

2.4.1.2 Matrices Cerámicas.

Las cerámicas más convencionales para su utilización son: Sic, Zirconio o alúmina y las vítreas como los aluminosilicatos y los borosilicatos.

2.4.2 MATRICES ORGÁNICAS.

Este tipo de matrices tienen un elevado peso molecular estos compuestos orgánicos son producto de polimerización de las reacciones por condensación o adición de algunos compuestos base, el peso molecular es una propiedad polimérica básica que es determina según la longitud de la cadena de los átomos que puede tener un alcance de cientos de unidades de longitud. (Antonio, 2017)

Las propiedades mecánicas como la resistencia a la tenacidad y la tracción mejoran cuando el peso molecular aumenta, pero el incremento de las propiedades mecánicas es atacado cuanto más sea el peso molecular,

disminuyendo la facilidad de procesar un polímero ligeramente por el punto de fusión y viscosidad que aumentan.

2.5 TIPOS DE POLÍMEROS.

2.5.1 TERMOPLÁSTICAS.

Según la intensidad las macromoléculas pueden estar unidas entre sí, si es de baja intensidad lograremos superarlas con un simple calentamiento dando el plástico fundido. Estas características que tiene estos polímeros se los conoce como termoplásticos, los cuales se funden con el calor. Las matrices orgánicas termoplásticas principales son: policarbonato, policarbonato de metilo, acetato, polimetilo, poliestireno, nylon, poliamida, polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo.

2.5.2 ELASTÓMEROS.

Es un material que tiene como característica que puede deformar y retornar a forma inicial después de dejar de aplicar el esfuerzo sobre el material esto es porque se produce un deslizamiento de las macromoléculas de forma lineal estas matrices son: Caucho de poli butadieno y poli butadieno- estireno, polisopropeno sintético.

2.5.3 TERMOESTABLES.

Si existe en la unión de los filamentos intensa igual a las de la construcción de este se rompen antes de separarse, lo que esto indica que cuando la temperatura se eleva no podrá cambiarse estado de sólido a líquido. Las matrices Termoestables principales son: Poliéster, Epoxy, esterres, fenólica, cianato, vinilester, polimidias, bismaleimidias.

Para la elaboración del material compuesto las matrices termoestables son las más adecuadas para un buen desempeño del material ya que se crean uniones de cadenas químicas llamadas de reticulación. La reticulación une diversas cadenas poliméricas en una misma red tridimensional, al proceso de reticulación se lo conoce como curado, siendo un proceso arduo por la lentitud que tiene este, ya que se exigen altas temperaturas y presiones.

Existe un acrecentamiento de peso molecular cuando se completa el curado o llamado reticulación del material, las propiedades térmicas dejan de tener sentido porque la temperatura de transición vítrea y el punto de fusión ya que se degrada el polímero antes de adquirir estas temperaturas.

Las resinas líquidas termoestables son las más significativas en los materiales compuestos, siendo estas resinas líquidas a la temperatura del ambiente y tratándolo con el proceso de reticulación se vuelven a estado sólido, el proceso de reticulación se lo puede realizar mediante microondas, radiación ultravioleta, rayos gamma, haz de electrones y calentamiento a altas temperaturas.

Las resinas termoestables al momento de producirse el curado del material adquieren una red altamente cruzada de moléculas por lo tanto no puede volverse a fundir por que el material se degrada porque son insolubles.

La fabricación de los polímeros termoestables se la realiza a partir de precursores semisólidos y sólidos que irreversiblemente se endurecen, conociéndole como poli condensación y polimerización del material, convirtiendo la resina líquida a una resina de estado sólido.

El proceso de polimerización para los materiales termoestables consta de dos etapas que son: la planta química, ya que forman cadenas lineales debido a la proliferación parcial.

Esta etapa tiene que ver con el calor y presión de moldeo para la planta de producción de las piezas donde existe un entrecruzamiento de material.

Para el curado del material debe existir una temperatura adecuada para alcanzar las propiedades óptimas del mismo, también se encuentra materiales que se pueden curar a temperatura ambiente, pero es necesario curarlo al final con temperatura para que no existan cambios de las propiedades durante su servicio.

Las tensiones de encogimiento que se generan en el proceso de curado, y la expansión de la fibra utilizada y de la matriz pueden afectar a las propiedades, y microtensiones que poseen los MC esto se debe a las cargas producidas al material.

La máxima temperatura que se puede utilizar en el servicio es una desventaja crítica para la matriz ya que al acceder el límite y diluirse, la máxima temperatura que la matriz soporta la transición vítrea o por (HDT) temperatura de distorsión.

Las resinas termoplásticas se caracterizan por ser amorfas y ser cristalinas suele tener temperatura de distorsiones superiores y elevada resistencia a los solventes, mientras las termoestables también son amorfas y difieren bastante en su transición vítrea en resistencia al ataque de los solventes.

La clasificación de las matrices termoestables es muy importante para nuestro proyecto, por tal motivo hemos clasificado a las matrices según la temperatura de utilización, como se indica en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Clasificación de las resinas termoestables en función de la temperatura.

BAJAS TEMPERATURAS	MEDIAS TEMPERATURAS	MEDIAS-ALTAS TEMPERATURAS	ALTAS TEMPERATURAS
Poliéster Isoflática Ortoflática Maleica	Vinilester Epoxi	Fenólica	Bismaleimida Polimida Esteres cianato Polieteramida

Fuente: (Rodríguez A. , 2007), pág. 11

A la hora de curar las matrices, las resinas precursoras, pueden sufrir reacciones de polimerización, las reacciones son:

- Por polimerización por condensación, (grupos funcionales).
- Por polimerización por adición, (mediante radicales).

El grupo uno corresponde a resinas viniléster, poliéster insaturado, sistemas de dobles enlaces etc.

El grupo dos corresponden la clase de resinas fenólicas y epóxicas.

2.6 RESINAS.

2.6.1 TIPOS DE RESINAS.

2.6.1.1 Resina Poliéster.

Este tipo de resina tiene una diversidad de líquidos y diferentes viscosidades producto del poliéster insaturado y se lo elabora mediante una condensación

lineal de un diácido (adípico, maleico, ftálico) con un di alcohol (neopentilglicol, propilenglicol, etilenglicol.) y un monómero insaturado. Todas las resinas indicadas se almacenan en lugares frescos son de estado líquido, al agregar los inhibidores de polimerización mejoran su propiedad de resistencia.

La unión de las cadenas lineales genera el endurecimiento por polimerización de la resina, esto se obtiene debido a la condensación del alcohol con el diácido a través del monómero insaturado a través de las moléculas, esto se genera en la polimerización final y se le llama reticulación, el proceso que se realiza es exotérmico y no existe desprendimiento de producto. La adición de un catalizador es inevitable para inducir a la reacción de polimerización esto se debe colectivamente a un peróxido orgánico, el agente acelerante desempeña un papel muy importante.

El endurecimiento de la resina poliéster por polimerización tiene como característica que es un sólido totalmente transparente y sus propiedades vienen dadas por la materia prima que se utilizan para la elaboración del material, pero hay que tener en cuenta su limitada resistencia al impacto y a la tracción, eliminando este problema con la utilización de fibra de vidrio presentando excelentes propiedades mecánicas.

La baja densidad que existe en un laminado en diferencia a un metal debemos tomar en cuenta que las propiedades son en diferentes casos superiores a los de laminado plástico, refiriéndonos a la equidad de peso (siendo la propiedad específica). La gran variedad de resinas puede utilizarse para: aspersion, coladas, inyección, winding filament, producción manual, producción de chapas, masillas, matricería, carrocerías, etc.

Este material es cada día más utilizado debido a las propiedades físicas que presenta las resinas proporcionando más flexibilidad, dureza, resistencia a la intemperie, medios corrosivos, el agua etc.

2.6.1.2 Resina Epoxy.

Para que este tipo de resina se cure debe de tener inmerso a la mezcla un agente de curado y la reacción se controla por el uso de aceleradores y catalizadores para su óptimo compuesto, otros tipos de matrices no poseen estas propiedades

debido a que pueden ser más baratas, esta no se encoge en el curado y no absorben el agua.

Este tipo de resina pueden ser utilizadas hasta temperaturas de 160° C en algunos casos la dureza de la resina poliéster es inferior a la resina epoxy, y este tipo de resina epoxy puede ser procesada a temperaturas muy altas y tienen mucha adherencia a sustratos, son resistentes al ataque de álcali y tiene una contracción baja en el proceso de la polimerización, permitiendo moldes de calidad alta y una tolerancia dimensional.

2.6.1.3 Resina de esteres cianato.

Las resinas de este tipo se curan mediante un proceso de reacción que no necesita de catalizador si para su proceso se le aplica bastante calor, su ventaja es que tienen buenas propiedades eléctricas debido a su versatilidad la desventaja es que tiene una baja absorción ante la humedad, este tipo de resina se la aplica en antenas, microelectrónica, misiles. (Yeaguer, 2005)

2.6.1.4 Resina Viniléster.

Este tipo de resinas tienen excelentes cualidades mecánicas ante la fatiga, excelente unión a las fibras de refuerzo, al igual tiene una buena fluidez, resistente a la corrosión y resistencia al fuego que con la ayuda de la modificación molecular del viniléster se puede mejorar por medio de los átomos de Bromo y Cloro dando como resultado resinas auto extingüibles. Este tipo de resinas tiene un costo mayor al de las resinas clásicas de poliéster debido a que no absorben la humedad y tienen una contracción baja ante el curado del material.

2.6.1.5 Resina fenólica.

En la fabricación de materiales compuestos es una de las primeras resinas que se utilizó como en papeles impregnados en la resina y luego para ser sometidos al proceso de curado, este tipo de resina presenta una buena estabilidad a temperaturas elevadas y baja emisión de gases y humos cuando están sometidas al fuego se le aplica como: aislantes en dispositivos eléctricos, de

igual manera son utilizados en materiales que estén expuesto a exigencias al desgaste.

2.7 AUTOCLAVE.

2.7.1 PROCESOS DE LA AUTOCLAVE.

Autoclave (Horno para curar fibra de Carbono), en el desarrollo del proceso de fabricación es necesario un horno capaz de brindar condiciones de temperatura, presión y a la vez que controle los tiempos de curado de los elementos a fabricar.

El proceso de autoclave consiste en preparar los perfiles a utilizar y forrarlos con las capas de fibra de Carbono, Kevlar y resina, luego introducir los elementos utilizados en una bolsa de plástico para crear un vacío, siendo la presión atmosférica un factor importante en el proceso de obtención de un elemento de fibra de Carbono, ya que la presión va a oprimir la bolsa plástica en todas las direcciones eliminando burbujas que puedan producirse.

Existen varias etapas en el curado de la fibra de Carbono para su endurecimiento, por tanto, el sistema de autoclave debe manejar temperaturas de diferente valor manteniendo una temperatura constante en cada etapa que esté sometida la fibra de Carbono. Durante el tratamiento de la fibra de Carbono, la resina colocada se esparce y desemboca sobre cada fibra circundante y a la vez activándose, produciéndose un curado de la fibra de Carbono. Para una mejor comprensión del proceso de autoclave hemos tomado como referencia la construcción de un vehículo de Fórmula 1.

La Fórmula 1 utiliza fibra de Carbono en sus equipos con una capa de Aluminio como base para luego trabajar con fibra de Carbono mediante capas. La primera parte en construcción es el chasis por ser la parte más compleja de fabricación del vehículo debido a que consta de 8 capas de paneles, el proceso de construcción es la elaboración de un molde por medio de 10 capas de fibra de Carbono impregnada con resina y sometida en tratamientos de vacío y al calor. El siguiente proceso de elaboración es una parte del vehículo, se utiliza capas de fibra de Carbono impregnadas que posteriormente se colocan en los moldes cuidadosamente, para lograr una intensidad deseada del material por lo general

es necesario utilizar de 3 a 4 capas de fibra de Carbono para obtener un espesor de 1mm. El siguiente proceso y por último es el curado de la fibra de carbono en la autoclave, durante el proceso de curado el exceso de resina en la fibra de Carbono es expulsada de acuerdo con las necesidades específicas del material al procesar además sometidas a altas temperaturas y presiones.

2.7.2 PROCESO DE CURACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.

Una autoclave es un gran horno presurizado que cumple la función de curar la fibra de Carbono por medio de un sistema denominado “de-bulks” y la “curación”, la fabricación de las autoclaves depende del trabajo que va a realizar, es decir, diseño y el tamaño se lo utiliza con mayor frecuencia en el sector aeronáutico.

2.7.2.1 “De-bulks” y “curación”

Son procesos importantes en la elaboración de la fibra de Carbono ya que permite compactar y comprimirla de la mejor manera por medio de las resinas adquiriendo fuerza y rigidez del material.

2.7.3 PRINCIPALES MECANISMOS DE UNA AUTOCLAVE.

- Sistema de vacío.
- Sistema de curado (parámetros).
- Sistema de cámara presurizada.
- Sistema de calentamiento.

2.7.3.1 Sistema de vacío.

Es un componente fundamental en la elaboración de la fibra de Carbono ya que consiste en la extracción total del aire que se encuentra en el material, este proceso permite que el material consiga buenos acabados de sus superficies.

2.7.3.2 Sistema de curado (parámetros).

El sistema de curado es el encargado de controlar los procesos de manufactura de la fibra de Carbono como la presión y la temperatura al ser controlados mediante un monitoreo durante el proceso.

2.7.3.3 Sistema de cámara presurizada.

Es la parte interior de la autoclave donde va a soportar temperaturas elevadas para el curado de la fibra de Carbono, además debe aislar la temperatura para que no exista transferencia de calor a la parte exterior de la autoclave.

2.7.3.4 Sistema de calentamiento.

Son los encargados de conseguir las temperaturas adecuadas para lograr un curado excelente del material.

2.7.4 PROCESO DE MANUFACTURA DE LA FIBRA DE CARBONO FC.

En la actualidad existen una gran variedad de fibras de Carbono según los procesos en los que se encuentran sometidos ya sea tecnológico o químico, para su elaboración la fibra de Carbono se somete a las siguientes etapas:

Hilado de fibras por proceso de fundido o disolución.

Las fibras hiladas mediante el proceso anterior deben de estabilizarse mediante estabilización térmica y peroxidación, para que así la fibra no pueda fundirse en el proceso posterior de carbonización.

Presentación de atmósfera inerte mediante la carbonización (1200°C y 1400°C)
Mediante el proceso anterior se obtiene fibras de carbono (FCUG) para su uso general. El tratamiento térmico que tienen las fibras de Carbono a una temperatura adicional de (2000°C y los 3000°C) después de su proceso inicial adquiere nuevas propiedades y a la vez más resistencia mecánica (FCAP) fibra de Carbono de altas prestaciones y (FC) fibras de Carbono conductoras, para optimizar la adhesión a la matriz de la fibra de Carbono es necesario someter a un tratamiento superficial, este tratamiento se lo conoce como el proceso de oxidación.

2.7.5 PREPARACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA DE CARBONO FC.

Los procesos más manejados para la producción de materiales compuestos (C/C) son el (CVD) depósito químico en fase de vapor y también la impregnación líquida que se pueden utilizar en forma individual y combinada.

2.7.5.1 Depósito Químico en fase de vapor.

En este proceso los materiales de la fibra de Carbono se someten a una corriente de hidrocarburo (metano) que se descompone por las altas temperaturas debido al tratamiento depositando en forma de carbón pirolítico en el área de la fibra.

2.7.5.2 Impregnación Líquida.

La elaboración del material de fibra de Carbono por impregnación líquida conlleva a dos etapas, la impregnación por precursor orgánico (de aquí provienen las fibras preimpregnadas) y también la transformación del precursor en una matriz de Carbono debido a la aplicación de ciclos térmicos inspeccionados en la atmósfera inerte (carbonización), según las aplicaciones que se le vayan a dar al material finalmente se pueden someter a un nuevo proceso extra a una temperatura de 2500°C.

2.7.6 FASES PARA LA ELABORACIÓN.

2.7.6.1 Impregnación del refuerzo.

- Resina termoplástica (proceso caliente)
- Resina termoestable catalizada (proceso frío)

2.7.6.2 Conformado Curado (Autoclave, endurecimiento)

En materiales de fibra de carbono que se necesita tener una mejor propiedad mecánica con una mejor densidad se debe someter a un proceso de densificación debido a la infiltración del precursor de la matriz.

2.8 PROCESOS DE FABRICACIÓN DE LA FIBRA DE CARBONO.

2.8.1 POR MOLDE ABIERTO.

2.8.1.1 Conformado por contacto manual.

Se aplican tejido o mantas como fibras secas en un molde para posteriormente impregnar con espátula, brochas o con pistola. A temperatura ambiente se produce la polimerización, aplicándole temperatura en el molde abierto mediante una estufa o con un mejo curado mediante un horno (autoclave) con una bolsa de vacío. Inyección de resina combinada con fibras cortas de Carbono en hormas abiertas.

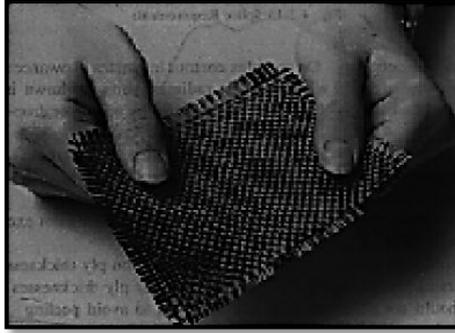


Figura 2.12 Conformado por contacto manual.

Fuente: (Bueno & Daniel, 2018), pág. 5

2.8.1.2 Enrollado de filamentos

Es un proceso automatizado para la fabricación del tejido de los filamentos de la fibra de Carbono.



Figura 2.13 Procedimiento de conformado por enrollamiento.

Fuente: (Bueno & Daniel, 2018), pág. 6

2.8.1.3 Posicionamiento de fibras.

En este proceso se puede controlar numerosas cintas gracias a las máquinas que poseen un mandril que tiene un sistema de control de giro para que el tejido de los filamentos sea uniforme y luego actúa un rodillo compactador en las superficies más complejas para que distribuya adecuadamente los filamentos de fibra de Carbono.



Figura 2.14 Proceso de posición de fibras de carbono.

Fuente: (Bueno & Daniel, 2018), pág. 7

2.8.2 POR MOLDE CERRADO.

2.8.2.1 Conformado en caliente.

Este método se utiliza para fabricación de perfiles superficiales mediante laminados formados en superficies planas, posteriormente someter a los perfiles a un tratamiento de curado. Según la complejidad de la pieza se utilizan moldes de diferente tipo como hembra y macho para su elaboración, en este tipo de método suele utilizarse bolsas de vacío con el objetivo de eliminar las burbujas de aire que puedan ocasionarse y a la vez tener una buena distribución de la matriz.

Para un mejor curado (autoclave) se lo realiza mediante un tratamiento térmico para que el elemento a elaborar adquiera propiedades superiores.



Figura 2.15 Proceso de conformado en caliente.

Fuente: (Bueno & Daniel, 2018), pág. 7

2.8.2.2 Preformas

Las tecnologías textiles se emplean en este proceso, también existiendo la posibilidad de que se pueda combinar con los procesos manuales, para producir formas complejas se utiliza robots con el objetivo que el tejido se trence de una manera homogénea (Cesar, 2015)

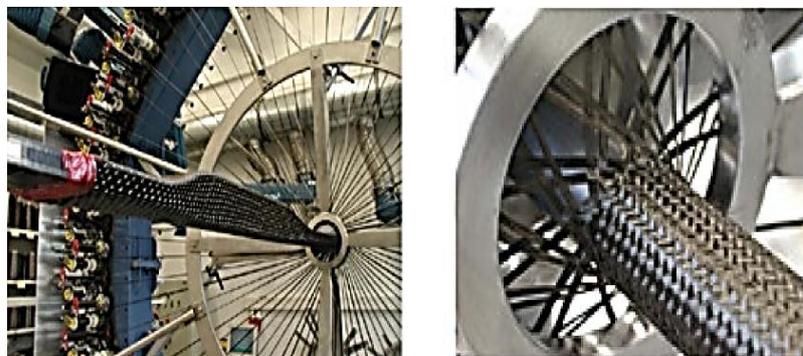


Figura 2.16 Proceso de conformado mediante proforma.

Fuente: (Bueno & Daniel, 2018), pág. 8

2.8.2.3 Pultrusión.

Permite laborar perfiles continuamente. se utiliza una serie de tejidos o filamentos haciendo pasar por una boquilla que tienen finalmente la forma deseada, para poder completar la polimerización se emplea un proceso térmico (Calor).

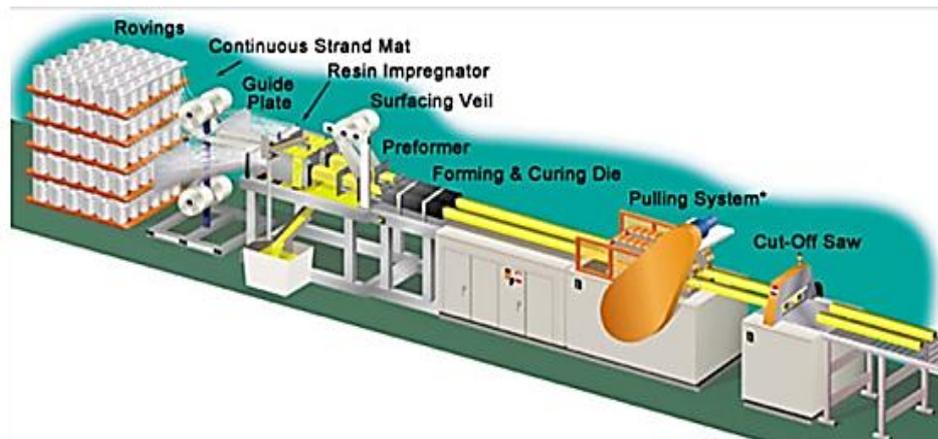


Figura 2.17 Proceso de conformado mediante pultrusión.

Fuente: (Bueno & Daniel, 2018), pág. 8

2.8.2.4 Inyección Directa

Para este proceso se utiliza fibra seca para posteriormente se impregne la resina. En este procedimiento se utiliza moldes abiertos, cerrados y con una bolsa de vacío. Este método consiste en inyectar en el molde caliente para adquirir formas adecuadas.



Figura 2.18 Proceso para conformado de inyección de resina

Fuente: (Bueno & Daniel, 2018), pág. 9

2.9 SOFTWARE UTILIZADO PARA EL MODELADO Y LA SIMULACIÓN.

Este software permite diseñar elementos determinados con sus respectivos materiales de construcción y poder modelarlo y simular aplicando fuerzas para que así el programa realice su trabajo y podamos observar como el material actúa al momento de su aplicación en la realidad, por tal motivo para la presentación de nuestro trabajo utilizamos SolidWorks diseñando en el programa la puerta y el piso de un material de acero (Bake Hardening) y de fibra de Carbono.

Este software tiene la ventaja que nos permite ingresar las características de los materiales que se encuentran sometidos al ensayo y así poder comparar los datos realizados en los ensayos y los recibidos por el simulador de SolidWorks. En el área de la Ingeniería existen algunos programas que pueden realizar similares resultados como SolidWorks, en nuestro caso optamos por este programa para el análisis de los datos para el desarrollo de nuestro trabajo de grado.

2.9.1 SOLIDWORKS.

Es un programa para diseño asistido por computadora (CAD) que brinda opciones extraordinarias como el modelado mecánico en dos dimensiones (2D) y en tres dimensiones (3D). Este programa puede modelar elementos, conjuntos y poder obtener planos técnicos, también se puede simular y hacer un análisis de esfuerzos de piezas para posteriormente realizar un ensamble. (SolidWorks C. , 2014)

El programa se eligió por la opción que brinda, que es de poder crear modelos de sólidos para que posteriormente al simular la puerta y el piso con los esfuerzos respectivos nos genere datos semejantes al ensayo realizado en el laboratorio, y por sus características como:

Excelente visualización (los elementos diseñados pueden rotar en cualquier dirección, opción del zoom etc.)

Creación automática del dibujo a partir de un sólido.

Detalles precisos ya que su biblioteca tiene herramientas para una mejor manipulación del programa.

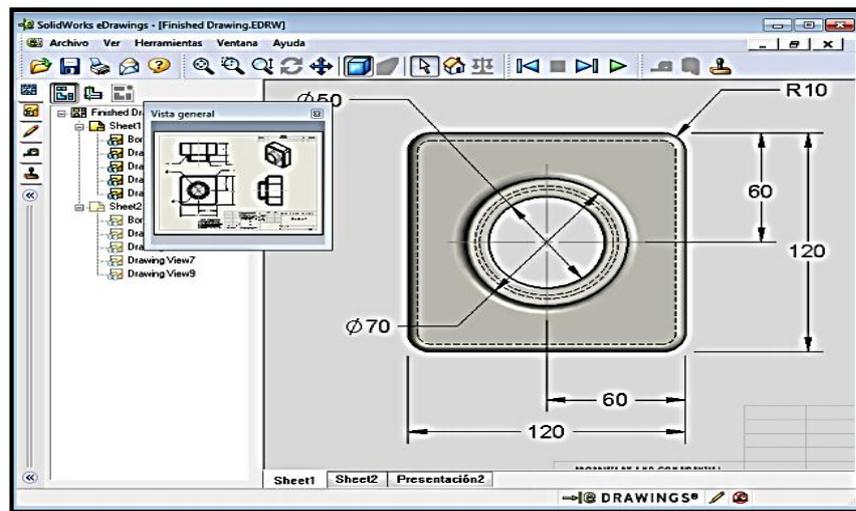


Figura 2.19 SolidWorks.

SolidWorks es un software que ayuda a Ingenieros y diseñadores a construir mecanismos complejos brindando la posibilidad de sobresalir profesionalmente y poder competir en gestión y análisis de datos y todo lo concerniente en aspectos de diseño.

2.9.1.1 Ventajas de SolidWorks.

Elaboración de modelos complejos con datos resultantes confiables.

Facilita el cálculo al diseñar un elemento complejo economizando tiempo y posibles costos de producción, al utilizar la malla del modelo más fino los valores obtenidos en el diseño son más precisos, se ha convertido en un software estándar en el diseño por ordenador por su versatilidad y la ampliación de programa base gracias a la programación.

2.10 ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL VEHÍCULO.

En la actualidad los vehículos están diseñados para transferir el movimiento de una pieza a otra durante una colisión, la deformación del material debe ser al máximo debido a que debe soportar fuerzas extremas en un impacto para evitar que el golpe alcance a los ocupantes. Además, la función de la carrocería permite absorber la energía en caso de un impacto al poseer propiedades físicas y mecánicas.

2.10.1 CARROCERÍA.

A lo largo de los años los vehículos han ido evolucionando constantemente en seguridad y diseño implementando nuevos materiales, es decir, debido a las exigencias principales de los usuarios por salvaguardar sus vidas esto ha permitido la construcción de un nuevo cuerpo (Cede, 2014)

La carrocería es el componente exterior del vehículo que posee una gran capacidad de rigidez para absorber esfuerzos, vibraciones y golpes, además existen tres tipos de carrocerías que dependen del peso y la resistencia:

- Carrocería y chasis separado.
- Carrocería con plataforma-chasis.
- Carrocería autoportante.

2.10.2 CARROCERÍA Y CHASIS SEPARADO.

Carrocería y chasis separados es el sistema más antiguo que se ha implementado en el vehículo, en la actualidad se aplican en vehículos de gran tonelaje como camiones, autobuses y camionetas se componen dos estructuras:

- El bastidor.
- La carrocería.



Figura 2.20 Tipos de carrocería y chasis
Fuente: (Rodríguez H. , 2018) , pág. 60

2.10.3 BASTIDOR.

El bastidor está constituido por una estructura de vigas de acero a lo largo del vehículo ensambladas por travesaños atornillados y soldados, que forma un cuerpo con elevada rigidez y resistencia. Para soportar grandes cantidades de flexión y torsión debido al funcionamiento del vehículo (motor, caja de cambio).

Los bastidores permiten conseguir una gran resistencia para transportar cargas y soportar esfuerzos estáticos y dinámicos. Pero este sistema se ha desechado en vehículos livianos debido a su gran peso, poca estabilidad y mayor costo de fabricación.



Figura 2.21 Bastidor.
Fuente: (Rodríguez H. , 2018), pág. 61

2.10.4 TIPOS DE BASTIDORES.

- En escalera (en H).
- De columna (en X).
- Perimétrico.
- Tubular.

2.10.4.1 En escalera (H).

Este tipo de bastidores consiste en dos largueros laterales de chapa laminada o embutida y soldada mediante travesaños, en la actualidad se utiliza en camiones y furgones.

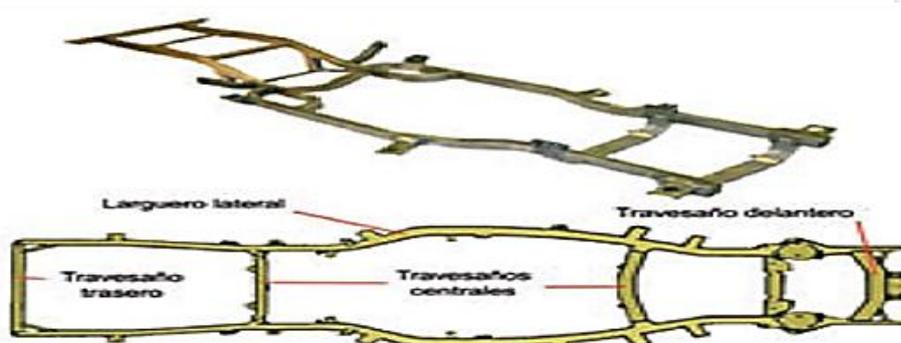


Figura 2.22 Bastidor tipo escalera.
Fuente: (Rodríguez H. , 2018), pág. 61

2.10.4.2 De columna (X).

Este tipo de bastidor se estrecha en el centro que permite contrarrestar los puntos de torsión por su estructura rígida. Cuenta con un tubo central en el bastidor y un travesaño delantero para el montaje de la suspensión.

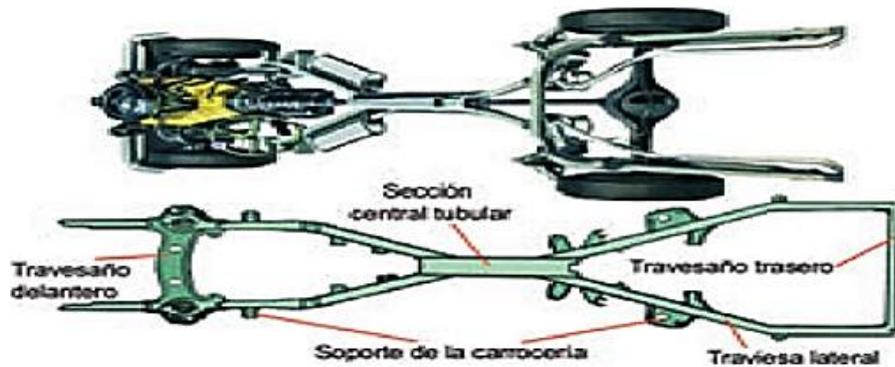


Figura 2.23 Bastidor tipo columna.

Fuente: (Rodríguez H. , 2018), pág. 62

2.10.4.3 Perimétrico

Este tipo de bastidor se caracteriza por brindar una mayor protección en caso de impacto lateral. Gracias a sus largueros que soportan la carrocería en la parte más ancha. Por su diseño escalonado en las ruedas delanteras y traseras absorben gran parte de la energía generada por el impacto por su estructura de caja de torsión.



Figura 2.24 Bastidor tipo perímetro.

Fuente: (Rodríguez H. , 2018), pág. 62

2.10.4.4 Tubular

Este tipo de bastidores es muy peculiar a los demás al contar con una estructura muy rígida por su entramado de tubos, estos bastidores son muy ligeros y su costo de fabricación es elevado por tal razón se la utiliza en vehículos de competición.

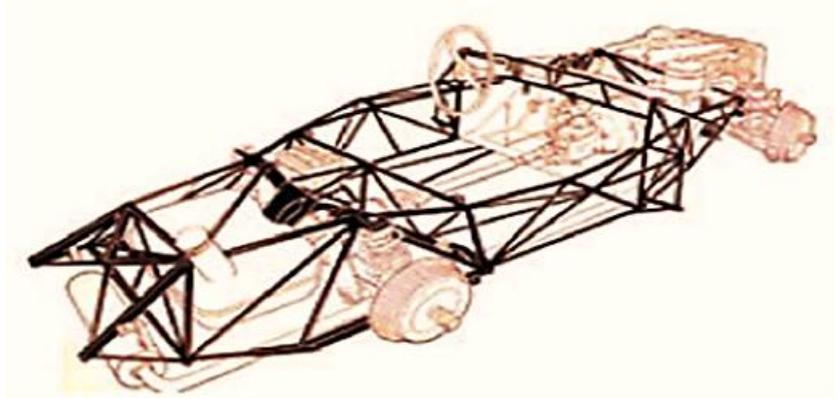


Figura 2.25 Bastidor tipo tubular.

Fuente: (Rodríguez H. , 2018), pág. 62

2.10.5 CARROCERÍA CON PLATAFORMA-CHASIS.

Este tipo de carrocería se puede distinguir con el chasis y carrocería separada, la plataforma consta de un chasis aligerado por la unión de varias chapas que forman una base fuerte por la unión de varios componentes.

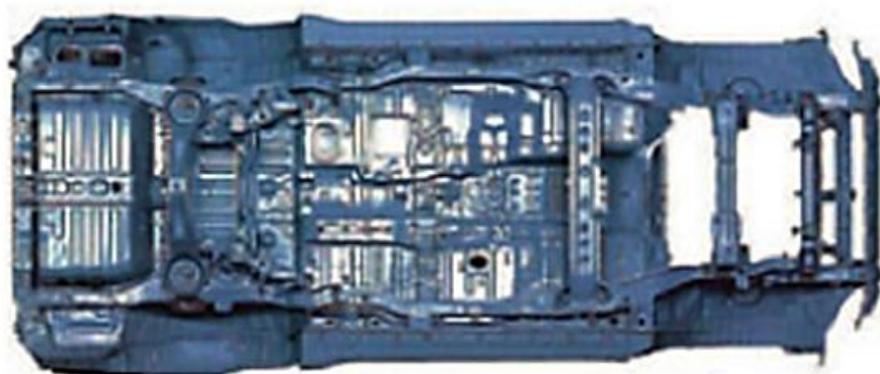


Figura 2.26 Carrocería con plataforma-chasis.

Fuente: (Rodríguez H. , 2018), pág. 62

2.10.5.1 Carrocería autoportante.

La carrocería autoportante es la más utilizada en la actualidad debido a su gran diseño por la unión de varias chapas de diferentes espesores y formas, su función es soportar su peso y a los elementos mecánicos por su estructura.

Para la construcción de la carrocería se emplean chapas que garantizan una rigidez y resistencia óptimo con un peso mínimo, pero no todas las piezas de la carrocería tienen el mismo espesor depende si son piezas estructurales largueros, pilares y travesaños con espesores de 1,2 a 2,5 *mm* o piezas sin

responsabilidad estructural capo y puertas con un espesor de 0,7 a 0,8 *mm* (Gomez & etal, 2012)

El suelo se ensambla con el resto de la carrocería formando una caja rígida para absorber los esfuerzos mecánicos sometidos en el vehículo, la chapa del suelo está elaborada por un acero de alta resistencia que brinda resistencia y rigidez con la unión de los travesaños.

Ventajas.

- Centro de gravedad más bajo.
- Ligero, estable y rígido.
- Fabricación en serie, perfección en la fabricación.
- Económicos al alto grado de automatización.

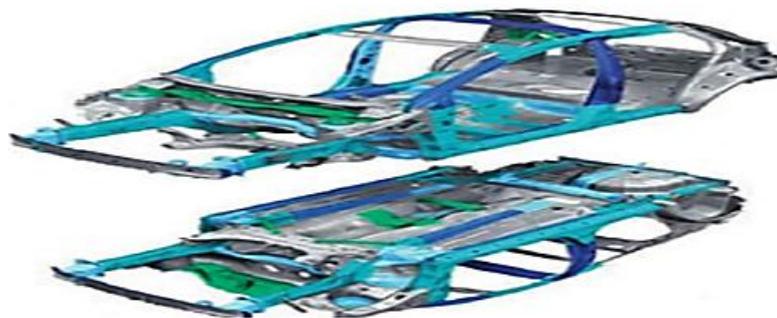


Figura 2.27 Carrocería autoportante.

Fuente: (Rodriguez H. , 2018), pág. 64

Los elementos que componen la carrocería son componentes que van montados y se dividen en capos, para golpes, travesaños, largueros, piso, tablero delantero, laterales del capo, techo, parabrisas, marco del parabrisas, luna trasera, puerta, parachoques, etc. Pero para nuestro proyecto vamos hablar de la puerta y el piso.

La puerta es el elemento exterior que permite el ingreso y la salida del ocupante al habitáculo del vehículo y el piso es la parte inferior de la carrocería que va unida a los travesaños y largueros por medio de sueldas de distintas chapas y con diferentes formas (nervios).

2.11 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES.

La carrocería posee diferentes propiedades mecánicas que son:

2.11.1 ELASTICIDAD.

Es la propiedad que posee un material para alargarse o doblarse por medio de un esfuerzo de tracción, regresando a su forma original una vez eliminado el esfuerzo.

2.11.2 RESISTENCIA.

La propiedad del material es la resistencia al impacto.

2.11.3 PLASTICIDAD.

Es la propiedad que posee el material para ser moldeados al impactarse con otro de mayor dureza.

2.11.4 MALEABILIDAD.

La propiedad del material es la deformación del material sin sufrir ningún tipo de fracturas.

2.11.5 TENACIDAD.

Es la capacidad que contiene el material para resistir al impacto, entre más tenaz sea el material mejor se adaptara a una situación inesperada para sobreponerse.

2.11.6 DUREZA.

La propiedad del material es su resistencia entre más duro más frágil, pero posee las características de rayar a otro material más blando.

2.11.7 TENSIÓN.

Es la propiedad mecánica de una fuerza aplicada en la superficie del material.

2.11.8 DUCTILIDAD.

Es la propiedad que posee un material para estirarse antes de romperse.

2.11.9 FRAGILIDAD.

Es la capacidad que posee un material frágil por tener una deformación pequeña.

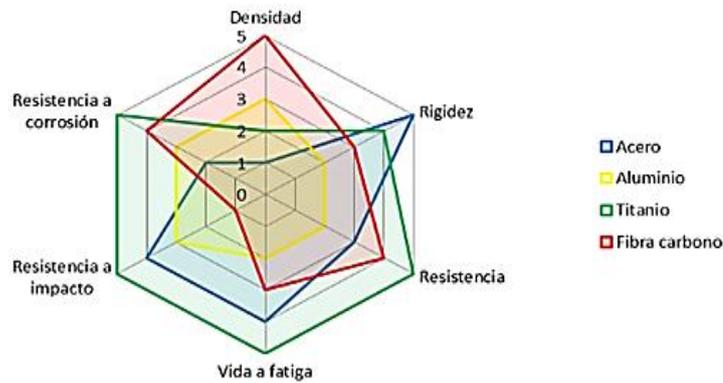


Figura 2.28 Diagrama comparativo de las diferentes propiedades

Fuente: (Puente, 2014), pág. 3

2.12 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CARROCERÍA.

2.12.1 ACERO.

Para la obtención del acero se realiza una aleación entre el Hierro y Carbono con proporciones de 0,04 a 2,25% de carbono. Los aceros constan de diferentes propiedades químicas según la composición o al trabajo que van a realizar; tipos de acero que se utilizan en la fabricación de la carrocería en el automóvil son los siguientes:

- Acero convencional.
- Acero de alta resistencia.
- Acero de muy alta resistencia.
- Acero de ultra alta resistencia.

2.12.2 ACERO CONVENCIONAL

Este tipo es un acero dulce no aleado, se especifica por tener una cantidad pequeña de carbono de 0,2% haciéndole muy maleable al tener un bajo límite elástico, al sobrepasar la cantidad de carbono el acero será más duro pero menos maleable.

2.12.3 ACERO DE ALTA RESISTENCIA.

Este tipo de acero consta de propiedades muy singulares al tener características de alta resistencia a la comprensión y torsión, debido a la aleación del Cromo, Vanadio y Molibdeno etc., se clasifican en tres tipos:

2.12.3.1 Aceros Bake-Hardening.

Estos tipos de aceros se distinguen por contar con un gran límite elástico por su proceso de cocción, han sido desarrollados durante un tratamiento térmico a baja temperatura ofreciendo una reducción del espesor de la chapa y resistencia a la deformación con las mismas propiedades mecánicas. Los aceros (BH) se emplean en la fabricación de puertas, capos, bastidores y travesaños.

2.12.3.2 Aceros Microaleados o Aceros ALE.

Este tipo de aceros fueron elaborados por sus buenas propiedades a la resistencia a la fatiga, buena resistencia al choque y buena capacidad de deformación en el frío debido a la reducción del tamaño del grano y precipitación del mismo, además se añaden elementos de aleación como Titanio, Niobio y Cromo brindándole propiedades de dureza.

Estos aceros cuentan con una buena aptitud a la soldadura debido a su bajo contenido de elementos de aleación, se utilizan en travesaños, largueros y refuerzos de suspensión por su gran resistencia a la fatiga.

2.12.3.3 Aceros Reforzados o Aceros Aleados al Fósforo.

Este tipo de aceros se caracterizan por poseer altos niveles de resistencia y brindándole una buena aptitud para la conformación por estampación, poseen una matriz ferrítica por el contenido de elementos de endurecimiento en la solución sólida como el fósforo con un porcentaje del 12%. En el área automotriz este tipo de aceros se utilizan en la fabricación de estructuras y refuerzos que están sometidas a fatigas o las que deben intervenir en colisiones como travesaños, largueros y pilares.

2.12.4 ACEROS DE MUY ALTA RESISTENCIA.

Este tipo de aceros se caracterizan por poseer pequeñas partes de aleaciones, pero a su vez son sometidos a tratamientos específicos para aumentar su dureza (temple, revenido y normalizado), la resistencia adquiere a través de la coexistencia en la microestructura de fases duras a lado de fases blandas. Se clasifican en los siguientes:

2.12.4.1 Aceros de Doble Fase (DP)

Los aceros de doble fase cuentan con grandes propiedades mecánicas al ser una combinación con el acero Bake-Hardening (BH) permite un aligeramiento en las piezas. Además, posee una buena distribución de las deformaciones, excelente comportamiento a la fatiga y alta resistencia mecánica lo que genera buena absorción de energía por lo general se utiliza en piezas de estructura y refuerzo.

2.12.4.2 Aceros de Plasticidad Inducida por Transformación (TRIP).

La gran evolución de estos aceros es importante ya que permite una buena distribución de las deformaciones y su alta resistencia mecánica genera una buena capacidad de absorción de energía, su proceso de fabricación es importante al proporcionar una mayor resistencia y aligerar sus piezas debido al efecto Bake-Hardening (BH).

2.12.5 ACEROS DE ULTRA ALTA RESISTENCIA.

Estos aceros son muy utilizados en el vehículo ya que permite disminuir el espesor de la chapa a 25% con igual resistencia, este tipo de aceros tiene la característica de no ser reparados debía a que pierde la resistencia del material. Se utilizan en partes rígidas del vehículo por soportar grandes esfuerzos como en los refuerzos de las puertas. Se clasifican en:

2.12.5.1 Aceros Martensíticos (Mar).

Los aceros martensíticos poseen un gran límite elástico que alcanza los 1400 MPa por el tratamiento de temple debido a la transformación de la austenita, al presentar una microestructura compuesta básicamente de martensita.

Este tipo de aceros al contar con buenas propiedades se destinan a la fabricación de piezas estructurales para evitar la penetración de objetos al habitáculo al tener una alta resistencia a la deformación.

2.12.5.2 Aceros al Boro (Bor).

Los aceros al Boro se distinguen por contar con un alto grado de dureza por el resultado de su estructura martensítica y por el resultado del tratamiento térmico

que es sometido, además por la adición de otros elementos aleantes como Manganeso de (1,1 a 1,4%), Cromo y Boro (0.005%).

Este tipo de aceros se emplean en piezas estructurales del vehículo por su alta resistencia a los choques y la fatiga, se utilizan en pilares y travesaños por su alto límite elástico y su reducido alargamiento (entorno a un 8%) obteniendo un alto grado de seguridad.

Tabla 2.2 Índice de resistencia del acero.

Tipo de acero	Rango límite elástico (N/mm)	Acero	Proceso de obtención	Rango límite elástico (N/mm)
Aceros de alta resistencia	>220 - <450	Bake Hardening	Bake Hardening	160 – 300
		Microaleado	Afino de grano y precipitación	>340
		Refosforado	Solución sólida	>220
Aceros de muy alta resistencia	>450 - <800	Fase doble (DP)	Fases duras	500 – 600
		Plasticidad enducida por transformación	Fases duras	600 – 800
		Fase compleja (CP)	Fases duras	800 - 1000
Aceros de ultra alta resistencia	>800	Martensíticos	Fases duras	1000 – 1250
		Aceros Boron o aceros al boro (BOR)	Fases duras	>1250

Fuente: (Díaz, 2012), pág. 3

2.13 ALUMINIO.

El Aluminio es uno de los materiales más comunes en la construcción de carrocerías y bastidores al soportar un gran esfuerzo a la tracción, el Aluminio al ser más ligero que el acero resulta ser seguro para los ocupantes debido a su gran maleabilidad siendo un 55% más ligero que el acero reduciendo el peso de 100 a 150 kg permitiendo que exista la reducción de consumo de combustible de 0,35 litros cada 100km y a su vez disminuyendo los CO₂ de 8,8 gramos por km.

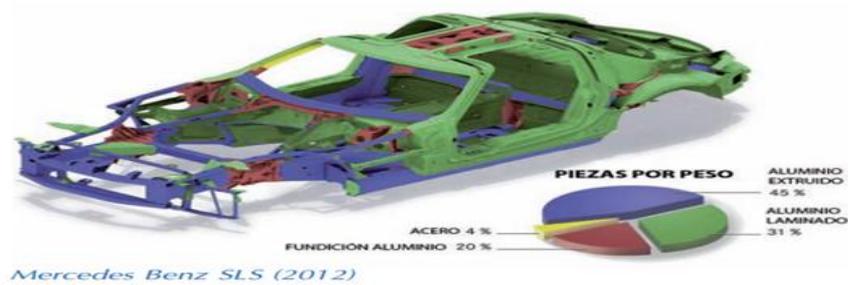


Figura 2.29 Carrocería-chasis de aluminio

Fuente: (Gómez & etal, 2011), pág. 1

2.14 PLÁSTICOS.

En los vehículos de la actualidad los plásticos son una parte primordial al ocupar una parte de la carrocería del vehículo como paragolpes, aletas alerones y guardafangos, los plásticos son importantes en la elaboración de la carrocería, pero no para la fabricación de piezas estructurales y el chasis.

La evolución de los plásticos ha ido creciendo constantemente debido a sus excelentes propiedades como bajo peso, resistente a la corrosión, aislamiento térmico, eléctrico y alta moldeabilidad a diferencia de otros materiales.



Figura 2.30 Accesorios plásticos.

Fuente: (Pérez, 2000), pág. 2

2.15 NORMAS Y ESPECIFICACIONES DE LOS ACEROS.

En la industria automotriz se utilizan normas como en la fabricación de los aceros que regulan la calidad mediante la verificación de sus propiedades, clasificándolos para sus respectivas aplicaciones en el vehículo.

Para la clasificación de los aceros se designan cifras para identificar las características que posee el acero como numérico y simbólico, los símbolos

expresan las propiedades físicas y químicas en cambio los números expresa la codificación alfanumérica es el orden de la clasificación de los elementos, por la gran cantidad de aceros que existen en el mercado se han creado instituciones reguladoras como:

- ANSI (American National Standards Institute).
- ACI (American National Standards Institute).
- AWS (American Welding Society).
- ASME (American Society of Mechanic Engineers).
- CENIM (Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas).
- EuroNorms (Norma Europeas).

2.15.1 NORMAS AISI-SAE

AISI (American Iron and Steel Institute) – Instituto Americano del Hierro y el Acero.

SAE (Society of Automotive Engineers) – Sociedad de Ingenieros Automotores, utiliza un esquema de 4 dígitos YZXX para la clasificación de los aceros.

Tabla 2.3 Nomenclatura.

NOMENCLATURA	
DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
XX	Indica el porcentaje de carbono%.
Z	Aceros de aleación simple, aproximada del elemento predominante de aleación.
Y	Tipo d acero cuenta con valores del 1 al 8 para distinguir el tipo de acero o aleación.
Y=1	Acero al Carbono.
Y=2	Aceros al Níquel.
Y=3	Aceros al Níquel-Cromo.
Y=4	Aceros al Molibdeno, Cr-Mo, Ni-Mo, Ni-Cr-Mo.
Y=5	Aceros al Cromo.
Y=6	Aceros al Cromo- Vanadio.
Y=7	Aceros resistentes al calor, no se fabrican habitualmente
Y=8	Ni – Cr – Mo.

Fuente: (Rodríguez H. , 2018)

El acero puede ser determinado por códigos de letras y números, para establecer sus propiedades y características químicas como el porcentaje de Carbono que contiene el acero.



Figura 2.31 Norma AISI-SAE porcentaje de aleaciones.
Fuente: (Marin, 2016), pág. 1

En la siguiente figura 2.32 se puede observar un ejemplo de un determinado tipo de acero donde se puede observar el porcentaje de carbono que posee eso quiere decir que es un acero ordinario.



Figura 2.32 Norma AISI-SAE porcentaje de aleaciones ejemplo.
Fuente: (Marin, 2016)

AISI 1020:

1: acero ordinario o corriente.

0: no aleado.

20: % de Carbono 0,20%.

En la siguiente figura 2.33 se puede observar un ejemplo de un determinado tipo de acero donde se puede observar el porcentaje de Carbono además sus aleaciones.



Figura 2.33 Norma AISI-SAE porcentaje de aleaciones ejemplo.

Fuente: (Marin, 2016)

AISI 3215:

3: acero al Níquel-Cromo.

2: contenido del 1,6% de Ni, 1.5% de Cr.

15: 15% de Carbono.

En la figura 2.44 se detalla los tipos de acero según las normas AISI, SAE y UNS.

Designación		TIPOS DE ACEROS
AISI – SAE	UNS	
10XX	G10XXX	Aceros al Carbono comunes
11XX	G11XXX	Aceros maquinables, con alto S
12XX	G12XXX	Aceros maquinables, con alto P y S
13XX	G13XXX	Aceros al Manganeso, con 1,75 % Mn
15XX	G15XXX	Aceros al Manganeso, con Mn sobre 1%
40XX	G40XXX	Aceros al Molibdeno, con 0,25% Mo
41XX	G41XXX	Aceros al Cromo-Molibdeno, con 0,40 a 1,1% Cr y 0,08 a 0,35% Mo
43XX	G43XXX	Aceros al Ni-Cr-Mo, con 1,65 a 2% Ni, 0,4 a 0,9% Cr y 0,2 a 0,3% Mo
46XX	G46XXX	Aceros Ni-Mo, con 0,7 a 2% Ni y 0,15 a 0,3% Mo
47XX	G47XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 1,05% Ni, 0,45% Cr y 0,2% Mo
48XX	G48XXX	Aceros Ni-Mo, con 3,25 a 3,25% Ni y 0,2 a 0,3% Mo
51XX	G51XXX	Aceros al Cromo, con 0,7 a 1,1% Cr
E51100	G51986	Aceros al Cromo (horno eléctrico), con 1,0% Cr
E52100	G52986	Aceros al Cromo (horno eléctrico), con 1,45% Cr
61XX	G61XXX	Aceros Cr-V, con 0,6 a 0,95% Cr y 0,1 a 0,15% V mínimo
86XX	G86XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,55% Ni, 0,5% Cr y 0,2% Mo
87XX	G87XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,55% Ni, 0,5% Cr y 0,25% Mo
88XX	G88XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,55% Ni, 0,5% Cr y 0,3 a 0,4% Mo
9260	G92XXX	Aceros al Silicio, con 1,8 a 2,2% Si
50BXX	G50XXX	Aceros al Cr, con 0,2 a 0,6% Cr y 0,0005 a 0,003% boro
51B60	G51601	Aceros al Cr, con 0,8% Cr y 0,0005 a 0,003% boro
81B45	G81B51	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,3% Ni, 0,45 de Cr, 0,12% Mo y 0,0005 a 0,003% B
94BXX	G94XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,45% Ni, 0,4 de Cr, 0,12% Mo y 0,0005 a 0,003% B

Figura 2.34 Tipos de aceros AISI, SAE Y UNS.

Fuente: (Marin, 2016), pág. 2

En la figura 2.35 se detalla los límites de composición química con los porcentajes de la cantidad de elementos que contiene el acero SAE y AISI.

SAE N°	Límites de composición química, %				N° AISI correspondiente
	C	Mn	P, máx	S, máx	
1005	0,06 máx	0,35 máx	0,040	0,050	-
1006	0,08 máx	0,25-0,40	0,040	0,050	1006
1008	0,10 máx	0,30-0,50	0,040	0,050	1008
1010	0,08-0,13	0,30-0,60	0,040	0,050	1010
1012	0,10-0,15	0,30-0,60	0,040	0,050	1012
1013	0,11-0,16	0,50-0,80	0,040	0,050	-
1015	0,13-0,18	0,30-0,60	0,040	0,050	1015
1016	0,13-0,18	0,60-0,90	0,040	0,050	1016
1017	0,15-0,20	0,30-0,60	0,040	0,050	1017
1018	0,15-0,20	0,60-0,90	0,040	0,050	1018
1019	0,15-0,20	0,70-1,00	0,040	0,050	1019
1020	0,18-0,23	0,30-0,60	0,040	0,050	1020
1021	0,18-0,23	0,60-0,90	0,040	0,050	1021
1022	0,18-0,23	0,70-1,00	0,040	0,050	1022
1023	0,20-0,25	0,30-0,60	0,040	0,050	1023
1024	0,19-0,25	1,35-1,65	0,040	0,050	1024
1025	0,22-0,28	0,30-0,60	0,040	0,050	1025
1026	0,22-0,28	0,60-0,90	0,040	0,050	1026
1027	0,22-0,29	1,20-1,50	0,040	0,050	1027
1029	0,25-0,31	0,60-0,90	0,040	0,050	-
1030	0,28-0,34	0,60-0,90	0,040	0,050	1030
1035	0,32-0,38	0,60-0,90	0,040	0,050	1035
1036	0,30-0,37	1,20-1,50	0,040	0,050	1036
1037	0,32-0,38	0,70-1,00	0,040	0,050	1037
1038	0,35-0,42	0,60-0,90	0,040	0,050	1038
1039	0,37-0,44	0,70-1,00	0,040	0,050	1038
1040	0,37-0,44	0,60-0,90	0,040	0,050	1040
1041	0,36-0,44	1,35-1,65	0,040	0,050	1041
1042	0,40-0,47	0,60-0,90	0,040	0,050	1042
1043	0,40-0,47	0,70-1,00	0,040	0,050	1043
1044	0,43-0,50	0,30-0,60	0,040	0,050	-
1045	0,43-0,50	0,60-0,90	0,040	0,050	1045
1046	0,43-0,50	0,70-1,00	0,040	0,050	1046
1047	0,43-0,51	1,35-1,65	0,040	0,050	-
1048	0,44-0,52	1,10-1,40	0,040	0,050	1048
1049	0,46-0,53	0,60-0,90	0,040	0,050	1049
1050	0,48-0,55	0,60-0,90	0,040	0,050	1050

Figura 2.35 Composición química % AISI, SAE.

Fuente: (Marin, 2016)

Existe gran variedad de acero, en la figura se observa la denominación SAE 1051 hasta la 1095 de igual manera con los porcentajes de elementos como el Carbono, Manganeso, Fosforo y Azufre.

SAE N°	Límites de composición química, %				N° AISI correspondiente
	C	Mn	P, máx	S, máx	
1051	0,45-0,56	0,85-1,15	0,040	0,050	-
1052	0,47-0,55	1,20-1,50	0,040	0,050	1052
1053	0,48-0,55	0,70-1,00	0,040	0,050	-
1055	0,50-0,60	0,60-0,90	0,040	0,050	1055
1060	0,55-0,65	0,60-0,90	0,040	0,050	1060
1061	0,55-0,65	0,77-1,05	0,040	0,050	-
1064	0,60-0,70	0,50-0,08	0,040	0,050	1064
1065	0,60-0,70	0,60-0,90	0,040	0,050	1065
1066	0,60-0,71	0,85-1,15	0,040	0,050	-
1069	0,65-0,75	0,40-0,70	0,040	0,050	-
1070	0,65-0,75	0,60-0,90	0,040	0,050	1070
1072	0,65-0,76	1,00-1,30	0,040	0,059	-
1074	0,70-0,80	0,50-0,80	0,040	0,050	1074
1075	0,70-0,80	0,40-0,70	0,040	0,050	-
1078	0,72-0,85	0,30-0,60	0,040	0,050	1078
1080	0,75-0,88	0,60-0,90	0,040	0,050	1080
1084	0,80-0,93	0,60-0,90	0,040	0,050	1084
1085	0,80-0,93	0,70-1,00	0,040	0,050	-
1086	0,80-0,93	0,30-0,50	0,040	0,050	1086
1090	0,85-0,90	0,60-0,90	0,040	0,050	1090
1095	0,90-1,03	0,30-0,50	0,040	0,050	1095

Figura 2.36 Composición química % AISI, SAE.

Fuente: (Marin, 2016)

El acero AISI tiene diferentes especificaciones y características que viene determinado en letras T, M, H para indicar como ha sido trabajado el acero y su descripción de los elementos que contiene el acero AISI.

Tabla 2 4 Especificaciones de los aceros AISI.

Grupo	Símbolo	Descripción
Alta velocidad (rápidos)	T	Base tungsteno (%W 11,75-19)
Alta velocidad (rápidos)	M	Base molibdeno (%Mo 3,25-10.0)
Trabajo en caliente	H	Base Cr, W, Mo
Trabajo en frio Trabajo en frio Trabajo en frio	A	Media aleación, temple al aire Alto Cr, alto C (%Cr. 11,5-13,5) Templables al aceite
	D	
	O	
Resistencia al impacto	S	Media carbono, al Si
Propósitos específicos	L	Baja aleación, medio-alto carbono
Propósitos específicos	F	Alto carbono, al W
Moldes	P	Baja aleación, bajo carbono
Temperatura de agua	W	Alto carbono

Fuente: (Marin, 2016)

En la tabla 2.5 se detalla el grado de acero que tiene el acero ASTM según la norma que lo rige para su elaboración, se determina también en la tabla el límite de fluencia y el alargamiento porcentual de ruptura.

Tabla 2.5 Grados de acero según la Norma ASTM.

Características	Espesor al que se aplica		Unidad de medida	Grados de acero	
	A42-227ES	ASTM A36		A42-27ES	ASTM A36
Resistencia a la tracción Rm	Todos		Kgf/mm ²	42≤Rm≤52	41≤ Rm≤56
Límite de fluencia mínimo Re	e≤ 16		Kgf/mm ²	27	27
Alargamiento porcentual de rotura, A, en probetas de lo=50mm	e≤ 5 5≤ e ≤ 16 16≤ e ≤ 50		% min % min % min	22 20 18	19

Fuente: (Andrade & Jaramillo, 2009)

2.16 NORMAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA.

En la industria automotriz las construcciones de las carrocerías deben de regirse a normas técnicas y programas de evaluación para garantizar el proceso de fabricación de las carrocerías, basándose en criterios de confort, diseño y seguridad que brindan confianza a los usuarios de los vehículos.

2.16.1 NORMAS.

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN 1323: 2009 “VEHÍCULOS AUTOMOTORES, CARROCERIAS DE BUSES, REQUISITOS” es utilizada para la fabricación de las carrocerías desde el año 1985 brindando los lineamientos necesarios actualmente, sin embargo no existe ninguna institución gubernamental o empresa que se encargue de controlar la fabricación de carrocerías, la falta de dicho control ha hecho que los fabricantes pongan a disposición carrocerías que no cumplen con los cálculos estructurales de resistencia, el peor de los casos es cuando las carrocerías se elaboran en talleres artesanales, por tal motivo es importante que el producto cumpla con las normas establecidas y así pueda garantizar la vida de los ocupantes del vehículo. (INEN, 2013)

La Agencia Nacional de Transito (ANT) a partir del año 2010 Certifica la Conformidad de los Vehículos gracias al Centro de Transferencia Tecnológica para la capacitación e investigación en control de emisiones vehiculares (CCIEV) como fiscalizador. CCICEV (Maza, 2013)

El CCICEV realiza un control de los productos de servicio público para evaluar su calidad, también esta entidad realiza capacitaciones a la ciudadanía sobre el control de las emisiones vehiculares, pretendiendo incentivar a los usuarios de los vehículos a tener sus vehículos en buen estado y fuera de contaminación, para así salvaguardar la vida e integridad de los usuarios. Gracias a estas instituciones de control las empresas carroceras están sometidas a un cumplimiento de las normas como parte esencial de un buen convivir ciudadano.

El Centro de transferencia tecnológica para la capacitación e Investigación de control de emisiones vehiculares (CCIEV) es la entidad apta para realizar la

evaluación de las empresas carroceras brindando certificaciones de las carrocerías como:

- Homologación de chasis y carrocerías nacionales
- Homologación de chasis y carrocerías importados

Para complementar la construcción de carrocerías se utiliza también normas específicas que aportaran para un mejor análisis para la realización de nuestro trabajo de grado.

Tabla 2.6 Normas para la construcción de carrocerías

NORMATIVAS PARA LA CONSTRUCCION DE CARROCERIA	
NORMA NTE INEN 1155: 2009	Vehículos automotores, dispositivos para mantener o mejorar la visibilidad.
NORMA NTE INEN 1323: 2009	Vehículos automotores, carrocerías de buses requisitos.
NORMA NTE INEN 1669: 2011	Vidrios de seguridad para automotores, requisitos.
NORMA NTE INEN 2205: 2010	Vehículos automotores, bus urbano requisitos.
NORMA NTE INEN 038: 2010	Bus urbano.
NORMA NTE INEN 041: 2011	Vehículos de transporte escolar.
NORMA NTE INEN 043: 2010	Bus interprovincial e interprovincial.

Fuente: (Maza, 2013), pág. 9

2.17 PROGRAMAS DE EVALUACIÓN.

En la actualidad existe preocupación por los fabricantes de los vehículos por la calidad de sus productos y por satisfacer las necesidades de los usuarios ante la seguridad y confort en sus diseños, para esto los fabricantes de los vehículos realizan pruebas de resistencia de la carrocería en sus modelos de vehículos.

La destrucción de sus productos son pruebas en tiempo real para verificar los estándares de seguridad y resistencia, a este tipo de prueba se o conoce como crash Tests.

2.17.1 CRASH TESTS.

Es una prueba que consiste en realizar una colisión con objetos estáticos para que pueda ser analizada la resistencia de los materiales al impacto y poder asegurar la vida de los ocupantes del vehículo.

Los fabricantes de vehículos antes que sus productos salgan al mercado realizan este tipo de pruebas para que sus vehículos tengan su debida calificación.

La calificación del crash test se basa en estrellas como ejemplo (5 estrellas) estos es sinónimo de que el vehículo se encuentra apto y el usuario pueda comprar el vehículo sin desconfianza. (NCap, 2015). Las pruebas de destrucción que puede realizarse en el automotor son:

- EuroNCAP
- LatinNCAP
- NHTSA
- IIHS

El test EuroNCAP se divide en 4 bloques para mejoramiento de la seguridad del vehículo basándose en:

2.17.1.1 Protección de peatones.

Para realizar este test se utiliza dummies realizando una simulación de atropello a un niño y un adulto a una velocidad de 40 km/h. EuroNCAP nos da a conocer que los resultados no son de mucha confianza debido a que no se va a poder calcular el golpe de la cabeza. Debido a su importancia se va estudiar El impacto de la pierna contra el paragolpes, El impacto de un niño en medio del capo, el impacto de la cabeza del adulto contra la zona del parabrisas.

Esta prueba se clasifica según la seguridad que se va a brindar al vehículo ya sea buena, mala o correcta reuniendo 36 puntos, 24 para la cabeza y 36 para la pelvis.

2.17.1.2 Protección de adultos.

En este tipo de Test se realiza 5 pruebas con un puntaje de 36 puntos.

- **Choque frontal.**

Estas pruebas deben superar todos los coches nuevos, para poder competir en el mercado y así poder comercializarse en Europa. EuroNCAP realiza una prueba de impacto a 64 Km, en esta prueba se realiza el impacto por el lado del conductor con un índice de 40% de la superficie expuesta al impacto ante una barredera deformable, las evaluaciones de la seguridad del vehículo son realizadas por los dummies que nos dan la evaluación de las partes del cuerpo

posiblemente afectadas como las piernas, la cabeza, el tórax en caso del conductor las piernas.

Los indicativos que nos van a dar la seguridad que tiene cada vehículo sometido a las pruebas de crash test se obtiene 5 calificaciones: verde (buena), amarilla (correcta), naranja (aceptable), marrón (débil) y rojo (deficiente) este tipo de prueba tiene una valoración de 16 puntos. EuroNCAP siempre toma en cuenta los dummies más afectados por el impacto.

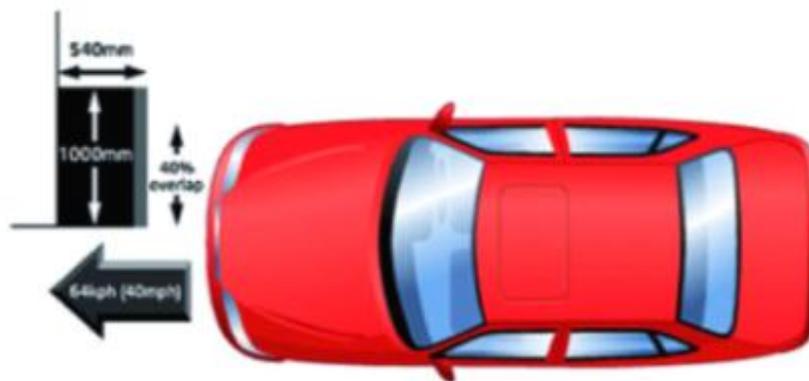


Figura 2.37 Choque frontal EuroCap

Fuente: (Autofácil, 2013), pág. 1

- **Latigazo Cervical.**

En este tipo de prueba los asientos se los extrae instalando en una plataforma, la simulación que se produce en la parte posterior del vehículo produce riesgosamente al conductor el llamado latigazo cervical por tal motivo deben de comprobar la eficiencia de los reposacabezas sumando hasta 4 puntos.

- **Choque lateral con otro vehículo.**

Este tipo de prueba el impacto se lo simula realiza lateralmente. Este tipo de impacto se lo realiza con una móvil barrera deformable de 1,5 m de anchura que realiza el impacto a una velocidad de 50 Km/h, el dummy que está instalado en el puesto del conductor nos va a revelar los posibles daños ocasionados en el tórax, cadera y abdomen, este tipo de test frontal aplica cinco calificaciones, sumando 8 puntos.

Cuando se realiza un choque de estas características puede ocasionar un 20% de víctimas mortales.

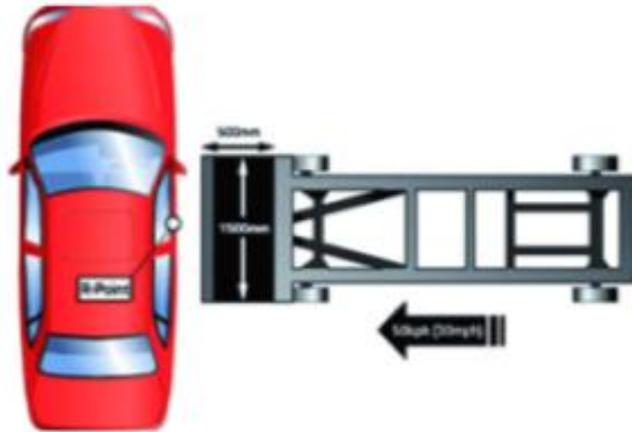


Figura 2.38 Choque lateral EuroCap

Fuente: (Autofacil, 2013), pág. 2

- **Choque lateral contra un poste.**

Para este tipo de test el vehículo de prueba se encuentra en una plataforma móvil y esta se lanza a una velocidad de 28 Km/h contra un poste de 254mm de ancho impactándose con la muestra que tomamos como referencia para la elaboración del nuevo material compuesto con nano fibra de carbono este tipo de impacto produce la misma valoración de 8 puntos.

Al producirse este tipo de impacto puede ocasionar un 15% de las muertes siendo una ventaja el ESP reduciendo el índice de muertes por este tipo de impacto.

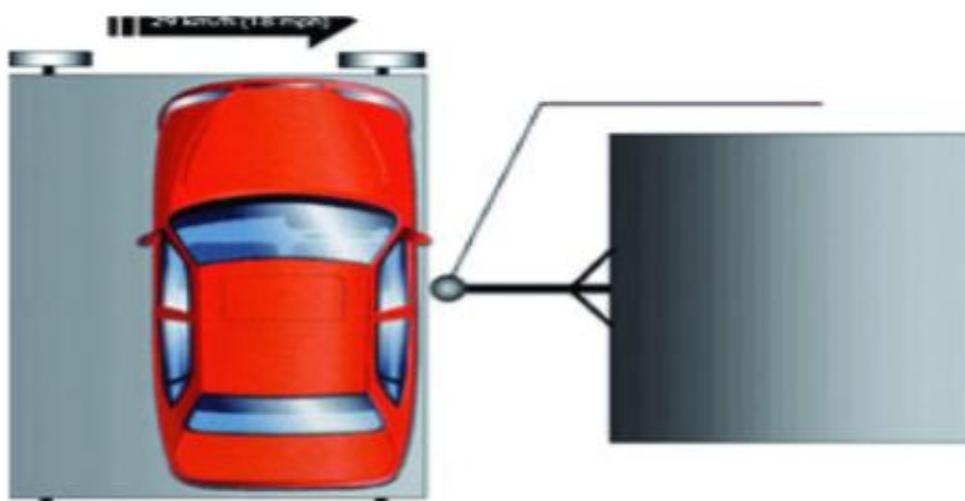


Figura 2.39 Choque lateral con poste EuroCap

Fuente: (Autofacil, 2013), pág. 2

2.17.1.3 Protección de niños.

Es importante tener una protección para niños ya que tiene como objetivo salvaguardar la vida de los niños, en este tipo de prueba se colocan dummies simulando 2 niños de diferentes edades.

Este tipo de test valora la seguridad de los niños que tienen para que no se salgan de su puesto esto se valora con 50 puntos 25 por cada niño por tal motivo el vehículo debe de adaptarse a los sistemas de retención infantil.



Figura 2.40 Asientos de seguridad para niños EuroCap

Fuente: (Autofacil, 2013), pág. 3

2.17.1.4 Análisis de los sistemas de ayuda a la conducción.

En este tipo de test EuroNCAP se estudia 3 elementos de seguridad.

- **Limitador de Velocidad.**

Este sistema avisa si se superó el límite de velocidad establecido, este tipo de dispositivo tiene una valoración de 0,5 puntos.

- **Testigos de cinturón de seguridad.**

Analiza el sistema de seguridad de los cinturones de cada ocupante del vehículo, en el caso de no estar colocado el cinturón se prende un foco testigo o en casos una alarma que nos indica que debemos colocarnos el cinturón de seguridad.

- **Control de estabilidad.**

En este tipo de prueba se somete al vehículo a cambios de dirección sin ningún inconveniente a una velocidad de 80Km/h obteniendo en esta prueba 3 puntos y a la vez el mecanismo analizado no permite que el vehículo derrape hasta que pierda el control al contrario este mecanismo lo estabiliza y ayuda al usuario del vehículo a tener una excelente seguridad activa. (Autofacil, 2013)

2.18 ARCELORMITTAL.

Es una empresa que lidera los mercados mundiales con su tecnología, construyendo y brindando aportes a diferentes áreas como la construcción, la industria automotriz y la línea amarilla disponiendo de una variedad de materia prima y una excelente distribución de sus productos a nivel mundial como Europa, América, Asia, África permitiéndole estar en mercados clave del acero y compitiendo con mercados que tienen un alto índice de crecimiento como la China y la India. (Mittal, 2017)

ArcelorMittal su organización es única en el área automotriz, ya que su principal servicio va dedicado a fabricantes de vehículos, por sus laboratorios sofisticados, que se encuentran en Estados Unidos y Europa.

Investigadores realizan estudios periódicamente para desarrollar un servicio de calidad internacionalmente, pretendiendo día a día ofrecer soluciones competitivas en el entorno industrial.

ArcelorMittal fabrica una gran variedad de aceros que contiene diferentes propiedades notables para su uso, la empresa desarrolla todo lo que tiene que ver con el acero cubriendo todas las familias metalúrgicas, sus avances técnicos en los diferentes tratamientos de superficie y de revestimiento han alcanzado un reconocimiento mundial en aceros galvanizados y aceros con revestimiento por medio de estampación caliente.

Las tecnologías utilizadas en la fabricación de los aceros tienen como propósito mejorar la conformabilidad y la aligeración, sus productos están disponibles en todo el mundo ya que tiene una amplia gama para ofrecer en el mercado automotor.

2.18.1 ACEROS EN AUTOMÓVILES.

2.18.1.1 Composición del acero para fabricación de elementos automotrices.

En la industria automotriz la fabricación de los aceros se lo realiza en diferentes capas siendo compleja su fabricación, utiliza diferentes tipos de tratamientos y revestimientos con aleaciones a base de Aluminio o Cinc en la superficie, con el objetivo brindar propiedades especiales y garantizar el nuevo tipo de acero su calidad y desempeño.

- **Aleaciones y Revestimiento**

Generalmente las aleaciones más utilizadas se las realiza con el Carbono, Silicio, Manganeso, Fosforo, Niobio, Azufre, Boro, Vanadio, Cromo, Titanio y el Molibdeno según la propiedad que se opte por darle al acero.

El revestimiento del acero se lo puede obtener por electro- deposición, por inmersión en caliente o continuo o por galvanizado, las trazas de Cadmio y Plomo insertados en la matriz metálica no puede adherirse voluntariamente si no que necesita de estos tratamientos para su aleación.

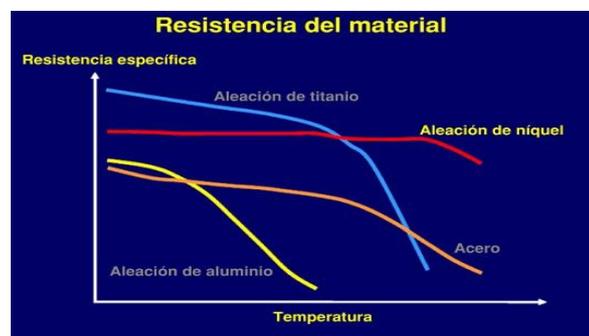


Figura 2.41 Aleaciones del acero

Fuente: (Mittal, 2017)

2.18.2 FAMILIAS METALÚRGICAS.

ArcelorMittal tiene una amplia gama de aceros abarcando todas las familias metalúrgicas como:

2.18.2.1 Aceros de alta resistencia.

Son aceros reforzados IFHR (IF Alta resistencia), Bake Hardening. Estos aceros tienen un alto límite elástico.

2.18.2.2 Aceros para estampación.

Su principal aleación es el aluminio o IF.

2.18.2.3 Aceros de muy alta resistencia.

TRIP (Plasticidad inducida por su transformación), Bainita- Ferrita.

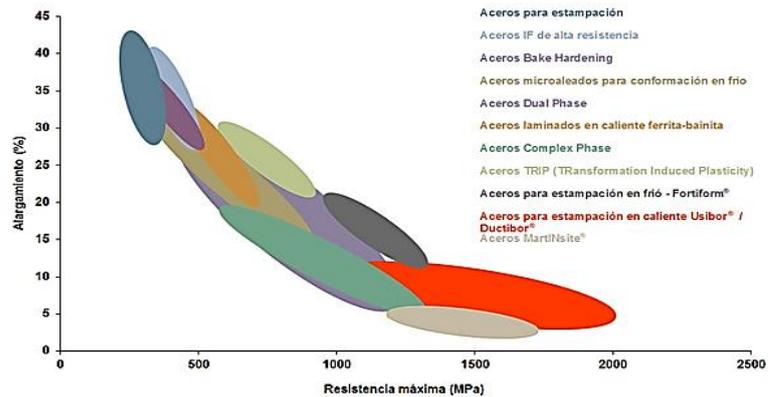


Figura 2.42 Tipos de aceros según su deformación.

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 13

2.18.3 PROPIEDADES MECÁNICAS.

Las combinaciones de parámetros definidos dan como resultado propiedades mecánicas, en si las propiedades mecánicas la definen el proceso termo mecánico y la composición química, para poder determinar una determinada propiedad el fabricante debe de tener en cuenta la ductilidad la resistencia según el material que se quiera utilizar. Los diferentes mecanismos para su endurecimiento que lo utiliza combinado o solos.

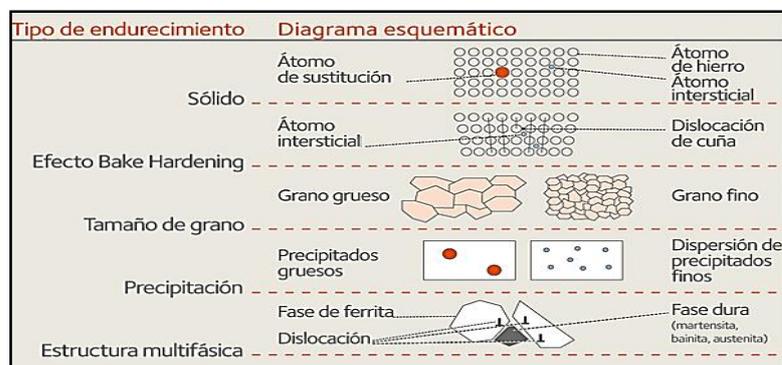


Figura 2.43 Mecanismos de endurecimiento del acero.

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 9

2.18.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA.

Para que el acero tenga un alto nivel de resistencia depende de la composición de la aleación. En el proceso del arrabio es decir la primera etapa de fabricación es siempre el mismo para todos los productos. En la posterior etapa se añade o se elimina elementos de la aleación.

El Carbono es el elemento que le endurece al Hierro, y elementos como el Silicio, el Fosforo o Manganeso son elementos que aportan propiedades para mejorar su resistencia. También el Titanio, el Vanadio o Niobio le brinda dureza al acero conociendo a este tipo de material como aceros micro aleados, es impresionante la manifestación de estos elementos aun si se utiliza pequeñas cantidades para su aleación.

Para obtener aceros de fases múltiples (Dual Phase, Trip, Complex Phase, etc.) requiere adiciones de Molibdeno y Cromo. El Carbono y el Nitrógeno son de átomos pequeños a diferencia del Hierro, estos elementos se denominan intersticiales porque tienen la facilidad de situarse en la matriz cristalina del Hierro.

2.18.5 TIPOS DE ACEROS UTILIZADOS PARA EL DESARROLLO DE TRABAJO DE GRADO.

Para el desarrollo del trabajo de grado que tiene como nombre “Elaboración de un material compuesto con nano fibra de Carbono por termoconformado” se tomó como referencia a ArcelorMittal una empresa destacada mundialmente dedicada a fabricación de elementos para el automóvil, los datos que proporciona esta empresa son de vital importancia para el desarrollo del tema, para diferenciar las ventajas del nuevo material propuesto a continuación vamos a someter a los materiales a utilizar a un estudio con la finalidad de cumplir con el objetivo propuesto. Es importante no pasar por alto el mínimo detalle del estudio a realizar, ya que de esto depende el éxito del trabajo propuesto, y poder demostrar la factibilidad del nuevo material elaborado.

El acero Bake Hardening es el material utilizado en la industria automotriz para la fabricación de elementos que conforman la carrocería del vehículo, su capacidad

de endurecimiento durante a cocción en la pintura sirve para excitar el aumento del límite elástico, este tipo de acero tiene una buena propiedad ante el proceso de estampación y una buena resistencia a la deformación plástica del elemento fabricado.

2.18.5.1 Aceros bake hardening

Estos aceros tienen un tratamiento térmico a bajas temperaturas para su fabricación con la finalidad de aumentar su límite elástico, dicho aumento conseguido en la cocción de material se lo conoce como efecto BH (Bake Hardening) ofreciendo una mejor resistencia a la deformación y teniendo como ventaja la reducción de la chapa en iguales propiedades mecánicas.

ArcelorMittal es una empresa que fabrica aceros (BH) de alta resistencia ofreciendo dos clases de ventajas con respecto a la calidad del proceso de estampación clásica y elevado potencial de alargamiento transcendental para una resistencia a una deformación (durante el tratamiento térmico aumenta el límite de elasticidad y el espesor de la pieza disminuye), el aumento de la resistencia a la indentación en todos los elementos manufacturados con bajas tasas de deformación (aletas, puertas, capo y techos).

Los aceros Bake Hardening contribuyen a la industria automotriz satisfaciendo toda expectativa de los fabricantes de los vehículos. Con un extraordinario equilibrio entre la resistencia a la indentación y la estampabilidad y aporta también con una mejor ligereza y una estética superior del vehículo.

- **Aplicaciones.**

ArcelorMittal tiene una alta gama de aceros (BH) que se destinan a elementos como: puertas, techo, capó, portón aletas. Y a los elementos estructurales como: paneles interiores, bastidor inferior, travesaños y refuerzos.

En la figura 2.44 se observa la variedad de elementos de la carrocería que dispone la empresa ArcelorMittal para los fabricantes de vehículos automotrices el capo que se observa está fabricado en acero Bake Hardening de serie BH180



Figura 2.44 Capo BH180

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 78

El acero utilizado por la empresa Bake Hardening BH260 es de alta calidad debido a sus procesos térmicos que le dan al acero para darle mejor resistencia y menos peso. Se tomo como referencia la puerta para realizar el estudio de esfuerzos ante la fibra de Carbono.



Figura 2.45 Puerta BH260

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 78

En la figura 2.46 observamos que la empresa ArcelorMittal dispone de una alta gama de elementos de la carrocería, el piso está conformado de igual manera de Acero Bake Hardening de series B180 -220.

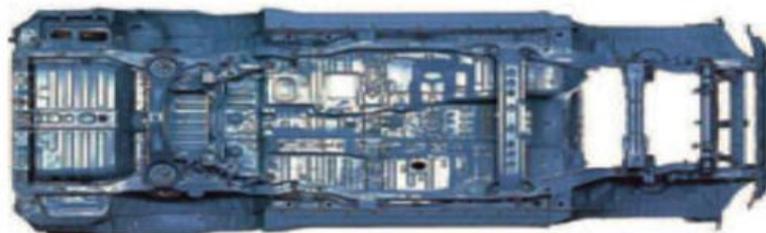


Figura 2.46 Piso adelante/atrás BH180-220

Fuente: (Mittal, 2017)

En la figura 2.47 observamos que la empresa ArcelorMittal dispone de una alta gama de elementos de la carrocería, también construye largueros de acero Bake Hardening BH300.



Figura 2.47 Larguero delantero BH300

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 79

• **Normas de aceros Bake Hardening.**

ArcelorMittal maneja normas de estándares altos de calidad para su fabricación, por tal motivo utiliza normas Europeas (Euronorms) y Alemanas (VDA) para obtener productos competitivos en el mercado automotriz.

Tabla 2.7 Acero Bake Hardening con normas de estandarización.

	Euronorms	VDA 239-100
180 BH	HC180B(+ZE)/HX180BD(+Z, +ZF, +ZM)	CR180BH(-UNC,-EG,-GI,-GA,-ZM)
220 BH	HC220B(+ZE)/HX220BD(+Z, +ZF, ZM)	CR210BH(-UNC,-EG,-GI,-GA,-ZM)
260 BH	HC260B(+ZE)/HX260BD(+Z, +ZM)	CR240BH(-UNC,-EG,-GI,-ZM)

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 79

El acero Bake Hardening que produce la empresa ArcelorMittal dispone de diferentes tratamientos de laminación como se detalla en la figura 2.45

<p>Sin revestir: Grado de acero-UNC Electrocincado: Grado de acero-EG Galvannealed: Grado de acero-GA Extragal[®]/Ultragal[®] para piezas visibles: Grado de acero-GI Zagnelis[®]: Grado de acero-ZM</p> <p>■ Laminado en caliente ■ Laminado en frío</p> <p>Sin revestir (EN 10268 :2006+A1: 2013): Grado de acero Electrocincado (EN 10268 :2006+A1: 2013 + EN 10152 :2017): Grado de acero+ZE Galvannealed (EN 10346 :2015): Grado de acero+ZF Extragal[®]/Ultragal[®] para piezas visibles (EN 10346 :2015): Grado de acero+Z Zagnelis[®] (EN 10346 :2015): Grado de acero+ZM</p>

Figura 0.1 Proceso de manufactura y propiedades del acero VDA 239-100

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 79

Los aceros BH de ArcelorMittal manejan parámetros muy estrictos en sus propiedades mecánicas. Es importante tener en cuenta el acero 195 BH ya que pertenece a normas japonesas.

- **Características Técnicas**

ArcelorMittal empresa líder en construcción de elementos de carrocería dispone una variedad de aceros como BH de serie 180,220 y 260 con una variedad de chapas según su aplicación.

Tabla 2.8 Chapas sin revestir en probetas ISO 20x80 en sentido transversal.

	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%) L0=80mm e< 3mm	r	n	BH2 (MPa)
180 BH	180-230	300-360	≥34	≥1,6	≥0,17	≥35
220 BH	220-270	340-400	≥32	≥1,5	≥0,16	≥35
260 BH	260-300	370-430	≥30		≥0,15	≥35

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 79

Para brindar mejor resistencia el acero Bake Hardening que produce la empresa ArcelorMittal está compuesto de diferentes elementos químicos como el Carbono, Manganeso y Silicio a continuación se detalla los porcentajes que tienen cada elemento en el acero.

Tabla 2.9 Composición química del Bake Hardening (%)

	C Max	Mn Max	Si Max
180 BH	0,04	0,70	0,50
220 BH	0,06	0,70	0,50
260 BH	0,08	0,80	0,50

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 80

- **BH₂ (Fenómeno de envejecimiento).**

Es un acero Bake Hardening envejecido como un fenómeno controlado por la afinidad ante la presencia de nitrógeno en solución sólida y Carbono. BH₂ es un parámetro para valorar de una mejor manera el aumento a la resistencia a la indentación.

$$BH_2 = ReL- > Rp_2$$

[2.1]

Donde:

ReL = Límite de elasticidad (medido tras el tratamiento térmico)

Rp_2 = Límite elástico (medido por la deformación presentada en el metal de 2%)

La medición de BH_2 es un técnica reproducible y fiable para medir la aptitud del metal durante la cataforesis haciendo que el material se endurezca.

El efecto del tratamiento térmico hace que en baja solución exista un desplazamiento de los átomos de carbono, el tratamiento consiste en colocar el material a una temperatura de 170°C en 20 min para restringir las dislocaciones que se crean por el termoconformado. Así es como se aumenta el límite elástico del acero.

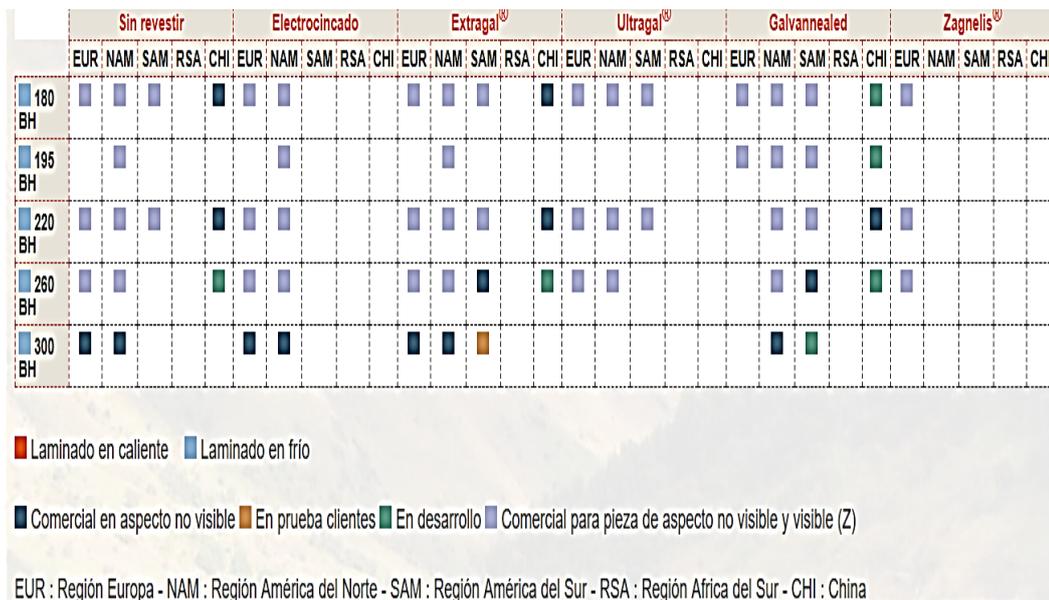


Figura 2.48 Disponibilidad global de revestimientos para el acero BH.

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 80

Existen fichas de revestimiento para conocer el tipo de propiedad que va a adquirir el material y nos da conocer el tipo de revestimiento como ejemplo en la gama de aceros BH de ArcelorMittal. Los revestimientos orgánicos que se utilizan en el acero durante la cocción pueden existir modificaciones en las características mecánicas.

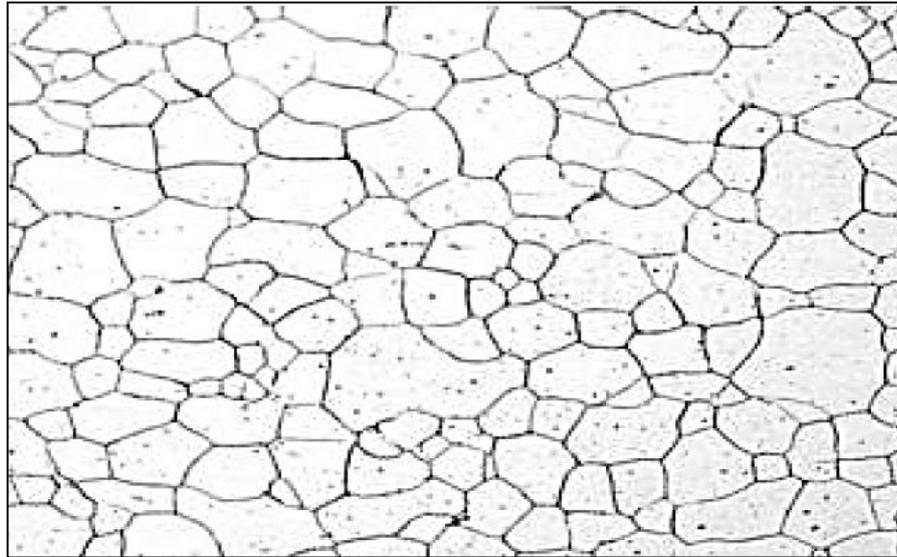


Figura 2.49 Calidad de la microestructura del acero 180 BH
Fuente: (Mittal, 2017), pág. 81

• **Conformado.**

Los aceros IF (Interstitial Free) tienen el mismo nivel de resistencia con los aceros BH (Bake Hardening) presentando en todas las características de la deformación una excelente estampabilidad.

Curvas límites de conformado de una chapa de 1.0 mm

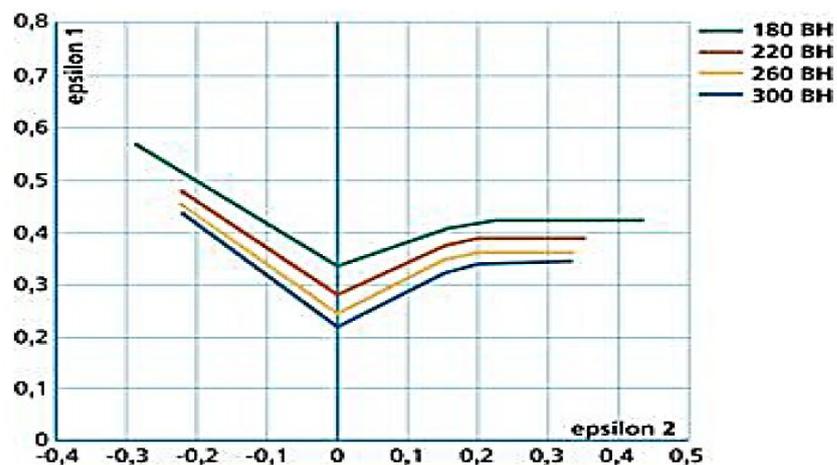


Figura 2.50 Curvas límite de conformado de aceros BH (chapa 1,0 mm).
Fuente: (Mittal, 2017), pág. 81

Los aceros BH de Bake Hardening de ArcelorMittal dispone de datos importantes sobre el conformado del acero teniendo en cuenta desde la fase de diseño, los técnicos e investigadores y todo el personal que esta designado al área de los

aceros BH realiza los estudios adecuados para que el material presente las características deseadas de conformado basándose en nuevos modelos y pruebas del taller

- **Soldabilidad.**

Método ISO 18278-2. (Métodos de evaluación de la soldabilidad en el soldeo por puntos) (ISO, 2016)

Parámetros de soldadura por medio de resistencia por puntos en los productos que brindan los aceros BH de ArcelorMittal.

Los aceros BH de ArcelorMittal son de muy baja aleación siendo una ventaja ya que tiene una buena aptitud para la soldadura ante diferentes procedimientos que se quiera realizar.

Tabla 2.10 Rango de soldabilidad de acero BH.

	RANGO DE SOLDABILIDAD
180 BH Ec (esp: 0,75mm)	1,6
180 BH sin revestimiento (esp: 0,75)	1,4

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 81

- **Esfuerzo que resiste el Acero Bake Hardening.**

Es el límite de resistencia que puede soportar la pieza construida (Se expresa en el esfuerzo máximo).

Tabla 2.11 Resistencia a la fatiga acero BH.

	σ esfuerzo MPa
180 BH sin revestir desp. de cocción (esp: 0,8mm)	334
260 BH sin revestir desp. de cocción (esp: 1,2 mm)	384

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 82

2.19 EQUIVALENCIAS INTERNACIONALES DE NORMAS.

2.19.1 IMPORTANCIA.

Es una herramienta indispensable ya que ofrece comunicación entre las normas utilizadas en cada país, ofreciendo los datos indispensables de las propiedades del material que se va a elegir, cada producto que salen al mercado automotriz con una norma específica tiene propiedades semejantes en otro tipo de normas o a su vez tienen pequeñas diferencias en sus propiedades, al poseer una norma cada tipo de acero tiene un mayor mercado automotriz.

2.19.2 NORMAS INTERNACIONALES.

2.19.2.1 Norma SAE/ AISI

- SAE (Sociedad de Ingenieros Automotores)
- AISI (Instituto americano del hierro y el acero)

2.19.2.2 Norma IRAM (Instituto Argentino de Normalización).

- IRAM (Representante de la Argentina de la International Organización for Standardization ISO)
- AMN (Asociación Mercosur de Normalización)
- COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas)

2.19.2.3 Otras normas

- ASTM (Society of Testing Materials)
- DIN (Deutsches Institut fur Normung)
- JIS (Japanese Industrial Standards)
- AFNOR (French Standardization Association)
- EURONORMS (Comunidad Europea del Carbon y del Acero)
- VDA (Verband der deutschen Automobilindustrie e. V)
- UNI (Italiano Di Normazione)
- B.S. (British Standars Institution)

Cada país tiene sus propias normas, pero es importante conocer que existe una tendencia de normalización en procesos y materiales que se encuentran bajo la norma

- ISO = (International Standardization Organization)

2.19.3 EQUIVALENCIAS DE NORMAS.

En la actualidad existen aceros de diferentes normas, pero de similares propiedades, para el desarrollo de nuestro tema se tomó como referencia ArcelorMittal, empresa que utiliza normas Europeas (Euronorms) y Alemanas (VDA) para la fabricación de productos Automotrices. En la transferencia de las normas utilizadas para tener una mejor comprensión se realizó una comparación con normas que se las utiliza en nuestro medio.

Total Metals es la más grande base de datos del mundo de materiales metálicos, ofreciendo un producto inigualable para la Ingeniería con más de 350.000 materiales y aproximadamente 12 millones de registros de propiedades.



Figura 2.51 Software para equivalencia de normas.

Fuente: (Materia, 2018)

Total, Materia es el módulo central que contiene diferentes componentes en el caso de nuestro estudio vamos a utilizar Total Metals que tienen como objetivo. Buscar materiales equivalentes de todo el mundo y comparar alternativas entre sus normas de fabricación.

Encontrar materiales alternativos mediante su resistencia mecánica y composición química. (Materia, 2018)

Total Metals provee el recurso definitivo en propiedades de metales utilizados en el área industrial, teniendo como datos referencias cruzadas, mediante cooperación de organizaciones que desarrolla de estándares mundiales.

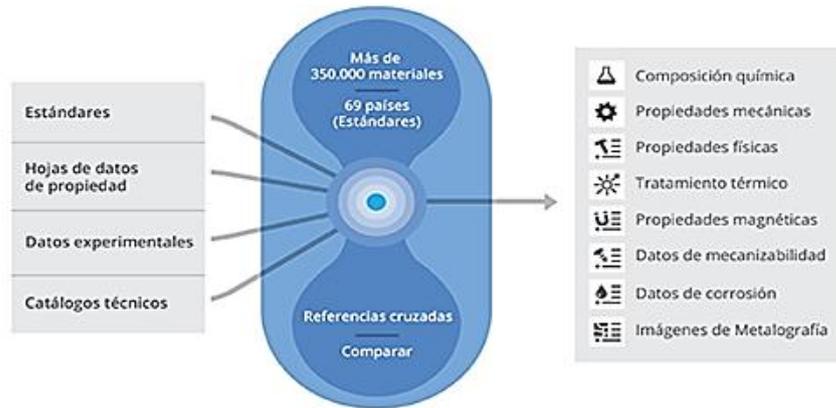


Figura 2.52 Características de metales a nivel internacional Total Metals
Fuente: (Materia, 2018), pág. 7

CAPÍTULO III.

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2 VISIÓN.

Para el siguiente trabajo de investigación se llevará a cabo diferentes métodos para obtener y aplicar nuevos conocimientos con fin de resolver circunstancias de interés o la solución de problemas. Para la investigación es necesario realizarla de forma clara y precisa con la misión de obtener resultados positivos durante la realización del trabajo.

La sistemática de la investigación debe ser concreta para ello es necesario utilizar diferentes tipos de investigación.

3.3 TIPOS DE INVESTIGACIÓN.

Los tipos de investigación para el presente proyecto son los siguientes, debido a la necesidad de obtener información de revistas científicas, libros y páginas web para el proyecto planteado, tales como:

3.3.1 CUALITATIVA.

La investigación cualitativa nos permite identificar datos del material compuesto y la nanofibra de Carbono mencionada para poder analizar los aspectos físicos.

3.3.2 CUANTITATIVA.

La investigación cuantitativa genera un gran aporte para el tema a investigar porque se obtendrán datos numéricos basados en los ensayos a realizarse para identificar las propiedades del material.

3.3.3 EXPERIMENTAL.

La investigación experimental permite obtener diferentes hipótesis (resolver un tema planteado), mediante la realización de ensayos destructivos permite identificar las características del material como su resistencia obteniendo datos reales para su posterior análisis.

3.3.4 EXPLICATIVO.

La investigación explicativa permite analizar las propiedades del material con el fin de determinar la causa y el efecto según los resultados obtenidos durante los ensayos. Tras el análisis se busca las ventajas del material para implementar a la industria.

3.3.5 BIBLIOGRÁFICA.

La investigación bibliográfica permite buscar información para la elaboración del trabajo el grado en forma clara, pueden ser libros, revistas y sitios web etc.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.

3.4.1 POBLACIÓN.

Para la presente investigación se va tomar en cuenta diferentes componentes para su correspondiente población como:

- Matriz de resina epoxi.
- Fibra de carbono unidireccional.
- Fibra de carbono bidireccional.

Con la elaboración de estos materiales se obtendrán probetas para ser sometidas a pruebas de tracción, flexión y así identificar sus propiedades.

3.4.2 MUESTRA.

Para la muestra de la siguiente investigación se va a tomar en cuenta la realización de ensayos de tracción y flexión para cada tipo de fibra de carbono. Para los ensayos de flexión se realizarán 5 probetas por material FC utilizando la norma ASTM D790 – 10, además se realizarán los ensayos de tracción con 5 probetas utilizando la norma ASTM D3039 / D3039M – 14. (ASTM, 2015)

3.5 OPERACIÓN DE VARIABLES.

3.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.

Elaboración del material compuesto con fibra de Carbono a partir de una matriz de resina epoxi mediante el proceso de estratificación manual a través del tejido de fibra Carbono y del polímero.

Para la siguiente investigación se utiliza dos tipos de fibra de Carbono como la unidireccional y la bidireccional de las cuales tienen diferentes características, propiedades y comportamiento ante un impacto. La elaboración de las probetas consta de 3 capas de tejido de nanofibra de Carbono, el cual para su proceso de curado se realizó un vacío para que la fibra tenga una buena estabilidad entre tejidos, para su compactación.

3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE.

La variable dependiente indica el comportamiento mecánico del material compuesto al estar sometido a fuerzas externas específicas como tracción y flexión. El cual el material compuesto es sometido a ensayos de tracción para examinar el módulo de elasticidad (young) permitiendo verificar el comportamiento elástico del material y la resistencia a la tracción máxima del material antes que pueda romperse, en cambio el ensayo de flexión permite medir el esfuerzo máximo del material compuesto al aplicar una fuerza en la parte media adquiriendo una distancia final máxima hasta su rotura.

CAPITULO IV

4.1 DESARROLLO DE LA PROPUESTA.

4.2 PROCESO DE LA PROPUESTA

El desarrollo de la propuesta se definió un flujograma para facilitar la ejecución del proyecto, organizando de una manera consecutiva la forma de como elaboramos un material compuesto con Nano fibra de Carbono por termo conformado teniendo en cuenta que los pasos asignados pueden variar debido a las complicaciones que se pueden encontrar en el desarrollo de este.

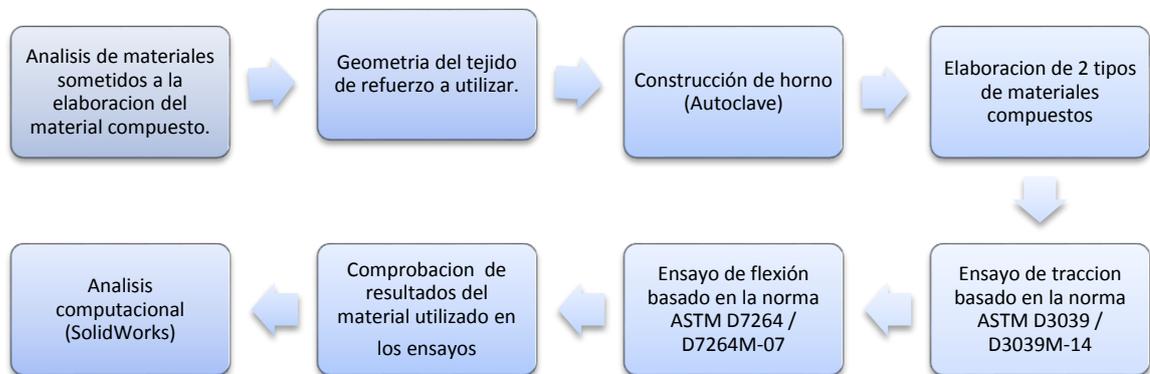


Figura 4.1 Desarrollo de la propuesta.

4.3 ANÁLISIS DE MATERIALES.

Actualmente los materiales utilizados en la industria automotriz son de vital importancia para los usuarios de los vehículos por su confort, diseño y seguridad.

El material más utilizado para la construcción de los vehículos es el acero, este tipo de material ha ido evolucionando, adquiriendo diferentes propiedades y características debido a sus aleaciones y tratamientos buscando las empresas constructoras de vehículos una mejor calidad de sus productos.

La fibra de Carbono es un material que está revolucionando el mundo por sus propiedades como la resistencia mecánica, además de un módulo de elasticidad elevado, lo cual es adecuada para la construcción de vehículos, además tiene

una baja densidad en comparación con el acero siendo más ligera y teniendo mayor resistencia a los agentes externos como:

Variaciones grandes de temperatura

- Aislante térmico
- El granizo
- La nieve
- La lluvia

4.3.1 MATERIALES UTILIZADOS.

Es importante recalcar que cada tipo de material utilizado para la fabricación de los vehículos tiene diferentes propiedades características y funciones, como por ejemplo el Aluminio que es un material utilizado para la construcción de parachoques, aletas, capos, por las diferentes aplicaciones ha ido incrementándose en los últimos años en la Industria Automotriz por su ligereza, resistencia a la corrosión, conductividad térmica entre otros.

En el desarrollo del proyecto elegimos dos elementos de la carrocería la puerta y el piso para su análisis tomando en cuenta sus características, funciones y propiedades, para así seleccionar el material compuesto con nanofibra de Carbono adecuado y elaborar probetas que se someterán a ensayos de tracción y flexión que demostrarán la viabilidad de la fibra de Carbono en la elaboración de piezas automotrices y gracias a un programa de simulación de esfuerzos que determinará si el material elaborado cuenta con los factores de seguridad aceptables para los vehículos.

La fibra utilizada en el trabajo de grado se la realizó a base de nanotubos de Carbono de pared múltiple y su matriz de resina epóxica.

4.3.1.1 Nanotubos de carbono (CNT)

Los nanotubos de Carbono son similares a los planos atómicos del grafito ya que se componen de una red hexagonal, al ser su estructura tubular poseen un radio de 3 a 30 nm (nanómetros) y una longitud en micrómetros. Las propiedades de los nanotubos de Carbono son mejores que las del acero como una alta conductividad eléctrica, resistente a la tracción, conductividad térmica y son más

rígidos. Los nanotubos se dividen en dos grupos: nanotubos de Carbono de pared simple (SWCNT) y nanotubos de Carbono de pared múltiple (MWCNT).

Tabla 4.1 Comparación de los nanotubos de carbono.

Propiedad	CNT	Comparación
Densidad	1.33 a 1.44 g/cm ³	Aluminio 2.7 g/cm ³
Resistencia a la tracción	45×10^9 Pascal	Aleación de acero de alta resistencia $< 2 \times 10^9$ Pascal
Elasticidad	Se puede doblar hasta grandes ángulos y recuperarse sin sufrir daño.	Los metales y las fibras de carbono se rompen o no recuperan su forma original rápidamente.
Capacidad de transporte de corriente	Estimada en 10^8 A/cm ²	Los hilos de cobre se funden a un millón de A/cm ² aproximadamente.
Emisión de campo	Pueden activar fósforos a un voltaje de 1-3V con una micra de separación entre electrodos.	Las puntas de molibdeno necesitan campos de 50 a 100 V por micra y tiene periodos de vida muy limitados.
Transmisión de calor	6000 W/m ^{-°K}	El diamante casi puro transmite 3320 W/m ^{-°K} .
Estabilidad térmica	Estable hasta 2800°C en vacío, 750°C en el aire.	Los filamentos metálicos en microchips se funden de 600 a 1000°C.

Fuente: (González V. , 2015), pág. 20

Los nanotubos de pared simple (SWCNT) y los nanotubos de pared múltiple (MWCNT) en la actualidad se producen por tres técnicas: ablación láser, arco de descarga y crecimiento catalítico por CVD (deposición química de vapor). La deposición química de vapor (CVD) es el proceso más común de producción de nanotubos de Carbono por su amplia gama de beneficios como su tasa de producción elevada y proceso de temperatura a los demás métodos.

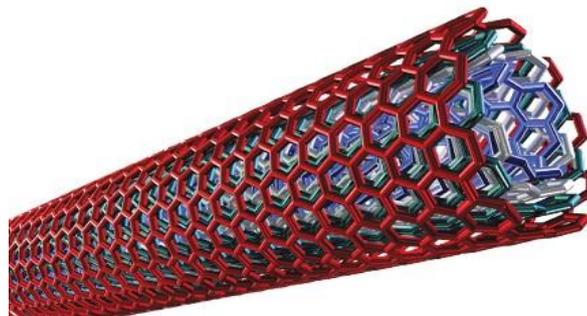


Figura 4.2 Nanotubo de carbono de pared múltiple.

Fuente: (González V. , 2015)

4.3.1.2 Deposición de vapor químico (CVD)

El sistema CVD produce nanotubos de Carbono con menos cantidad de impurezas por lo cual es el método de mayor producción en el mercado en cambio los otros procesos de producción de ablación con láser y arco-descarga producen nanotubos de Carbono de mejor calidad, pero también producen impurezas por lo cual se necesita otros procesos de purificación para separar las partículas de Carbono amorfo.

El sistema CVD es un proceso de descomposición térmica de hidrocarburos con un catalizador metálico, es decir, el hidrocarburo debe pasar por un horno en forma de vapor o líquida a temperaturas elevadas entre 600 – 1200 °C durante 15 a 60 min para su descomposición esta puede ser de etano, benceno y metano etc. Para la formación de nanotubos de carbono alineados se pueden utilizar catalizadores como Níquel, Silicio, Cobre, Tungsteno, etc. para el crecimiento de los nanotubos estos se proceden a colocar en el horno caliente.

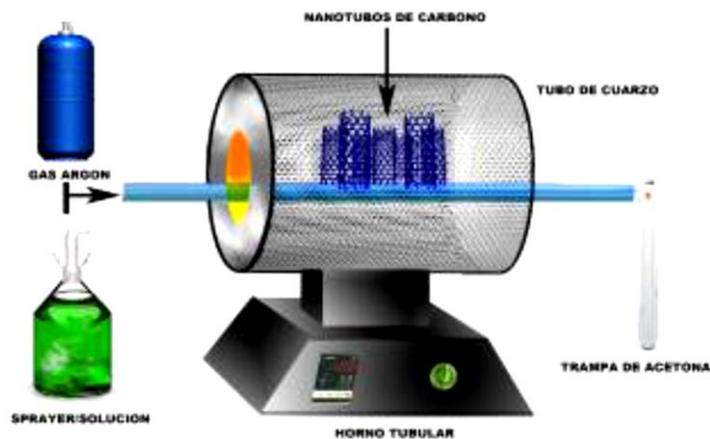


Figura 4.3 Sistema de Deposición de vapor químico (CDV)

Fuente: (González V. , 2015), pág. 48

El sistema CDV es un mecanismo que genera propiedades increíbles en la formación de nanotubos como la producción a gran escala y a bajo costo de nanotubos con un rendimiento del 20 al 100% y una obtención de crecimiento alineado del nanotubo que varía según el tiempo del proceso.

Los nanotubos de Carbono poseen buenas propiedades, pero pueden ser mejoradas en su composición química y física mediante la unión de átomos y moléculas en pequeñas proporciones como Nitrógeno y el Boro.

Tabla 4 2 Características de nanotubos con aleaciones.

Características de nanotubos	MWCNTs	MWCNTs-N	MWCNTs-B
Distancia interplanar entre planos grafíticos (nm)	0.341	0.359	0.350
Longitud (nm)	4.0	1.6	3.0
Capacidad de absorción ($\mu\text{mol/g}$)	70	350	90
Resistencia eléctrica	1.8×10^3	1.6×10	1.5×10

Fuente: (González V. , 2015), pág. 26

En la elaboración del material compuesto con nanofibra de Carbono por termoconformado expuesto en el trabajo de grado, se eligió la fibra de Carbono a base de CNTs (nanotubos de Carbono) que fueron procesados mediante deposición química en fase vapor (CVD), el cual, permite el crecimiento de los nanotubos de Carbono por medio de nanopartículas de Níquel, Hierro y Cobalto, luego del proceso se forman hilos continuos para elaborar posteriormente tejidos, por lo general se utilizan soportes de sílice o alúmina en el crecimiento para contener las nanopartículas en la transición del metal.

El proceso utilizado para el crecimiento del nanotubo de Carbono es el sol gel que admite generar una matriz inorgánica en cuyos poros se albergan las nanopartículas, capaces de actuar como catalizador en la reacción de síntesis de CNTs, en el proceso de preparación para su crecimiento pueden afectar significativamente las reacciones de hidrólisis o condensación del precursor al formar matrices porosas. Los parámetros que afectan en el proceso de crecimiento de los CNTs son:

- El tiempo
- La naturaleza
- La sal precursora
- El tratamiento térmico

Los parámetros anteriormente indicados pueden afectar fuertemente en la distribución de las partículas, en su tamaño y en la fase de óxido de hierro en el compuesto final, la manipulación de estos materiales es compleja por su

tecnología y su unidad de longitud (nanométrica), 1nm equivale a 10^{-9} m es decir es la millonésima parte del milímetro

La empresa Toray Composite Materials America, Inc. fabrican este tipo de materiales buscando siempre la máxima eficiencia en los compuestos que fabrican, su alto conocimiento en catalizadores empleados, variedad de gases precursores, temperaturas entre otros hacen la diferencia ante la competencia.

A partir del tema 4.6 se explica cómo fue procesada la nanofibra de Carbono para la elaboración del material compuesto.

4.3.2 PUERTA.

Elemento que brinda protección a los usuarios del vehículo encargándose de abrir y cerrar el habitáculo para el ingreso o salida de los ocupantes del vehículo. El material utilizado en la construcción de puertas comúnmente es el acero Bake Hardening, para nuestro estudio tomamos como referencia ArcelorMittal que utiliza normas europeas de alta calidad.

4.3.2.1 Acero bake hardening.



Figura 4.4 Puerta acero (BH 260)

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 78

Normas.

Para la elaboración del acero Bake Hardening que elabora la Empresa ArcelorMittal son de normas Europeas y Alemanas con la finalidad de que los estándares de calidad del acero sean altos y tengan una buena acogida en el mercado automotriz.

Tabla 4.3 Acero Bake Hardening.

	Euronorms	VDA 239-100
260BH	HC260B	CR240BH

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 79

En la figura 4.4 se detalla las características que tiene el acero Bake Hardening 260 para su elaboración.

Tabla 4.4 Acero Bake Hardening características

	R_e (MPa)	R_m (MPa)	A (%) L₀ = 80mm e < 3mm	R	N	BH₂ (MPa)
260BH	260-300	370-430	≥ 30		≥ 0.15	≥ 35

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 80

La composición química que tienen cada material determina la resistencia a continuación se determina el porcentaje de cada elemento para la elaboración del acero Bake Hardening 260.

Tabla 4.5 Acero Bake Hardening composición.

	C Max	Mn Max	Si Max
260 BH	0.08	0.80	0.50

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 80

En la Figura 4.6 se determina el esfuerzo máximo que puede soportar el acero Bake Hardening con espesor de 1.2 mm, al estar sometido a cargas de tracción.

Tabla 4.6 Acero Bake Hardening esfuerzo máx.

	Esfuerzo max (MPa)
260BH sin revestir desp. De cocción (esp: 1,2mm)	384

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 82

4.3.2.2 Fibra de Carbono (Bidireccional)

La fibra de Carbono es un material compuesto que tiene una alta resistencia mecánica gracias a las fibras que la constituyen, proporcionando propiedades

únicas como resistencia a la fluencia, resistencia a altas temperaturas siendo un material beneficioso en la industria automotriz como en el caso de las puertas de los vehículos.



Figura 4.5 Puerta Fibra de carbono

Fuente: (Carbono, 2014)

En la tabla 4.7 se detalla las características de la fibra de Carbono seleccionada para la realización del proyecto, fibra de Carbono adecuada para la construcción de paneles, como en el caso de puertas automotrices.

Tabla 4.7 Fibra de carbono bidireccional, Style: 1102-05

Fiber	Warp Yarn	3k carbon
	Fill Yarn	3k carbon
Fabric Weight, Dry		198GSM / 5.8 oz
Weave Style		Plain
Nominal Construction	Warp Count	12.5 / in
	Fill Count	12.5 / in
Fabric Width		0.012''

Fuente: (CFA, 2017), pág. 1

La fibra de Carbono (FC) bidireccional utilizada es 3k que está compuesta por 3000 filamentos por hebra siendo un tejido seco, su dimensión es de 127cm de ancho x 100 cm de largo y el peso total es 5.8 oz.

4.3.2.3 Astillamiento de fibra de Carbono (Bidireccional).

La fibra bidireccional es de mejor resistencia y calidad que la unidireccional ya que el tejido que presenta este tipo de fibra tiene como característica principal

una excelente fuerza y rigidez en dos direcciones, siendo ese tipo de fibra Carbono adecuada para la utilización en puertas de automóviles.



Figura 4.6 Fibra de carbono (Bidireccional)

Los elementos fabricados con materiales compuestos tienen una excelente resistencia al impacto que los materiales metálicos, desarrollando un factor de seguridad muy elevado gracias al comportamiento de la fibra de Carbono ante una rotura controlada. Los materiales compuestos de fibra de Carbono absorben energía frente a un impacto protegiendo a los usuarios de los vehículos de no recibir directamente la energía del impacto, además la fibra de Carbono brinda solidez al construir piezas según la utilización adecuada de normas. El astillamiento que se produce en la fibra de Carbono durante el impacto es nocivo para el usuario del vehículo ya que las astillas que se producen son finas, y no producen daños a los ocupantes del vehículo.



Figura 4.7 Astillamiento de la fibra de carbono durante un accidente de F1.

Fuente: (García, 2017), pág. 1

4.3.3 PISO

Es el elemento más rígido de la carrocería ya que soporta elevados esfuerzos sobre él, se compone de diferentes espesores que se denominan Chapas es

decir el espesor de la carrocería conteniendo un sinnúmero de nervios, que se unen gracias a una soldadura a los travesaños y largueros, formando diversas superficies que se le conoce como suelo del habitáculo del vehículo.

El material utilizado en la construcción de pisos (suelo del habitáculo del vehículo) comúnmente es el acero Bake Hardening, para nuestro estudio tomamos como referencia la empresa ArcelorMittal que utiliza normas europeas de alta calidad y es líder de los mercados mundiales en la fabricación de elementos carroceros.

4.3.3.1 ACERO BAKE HARDENING.

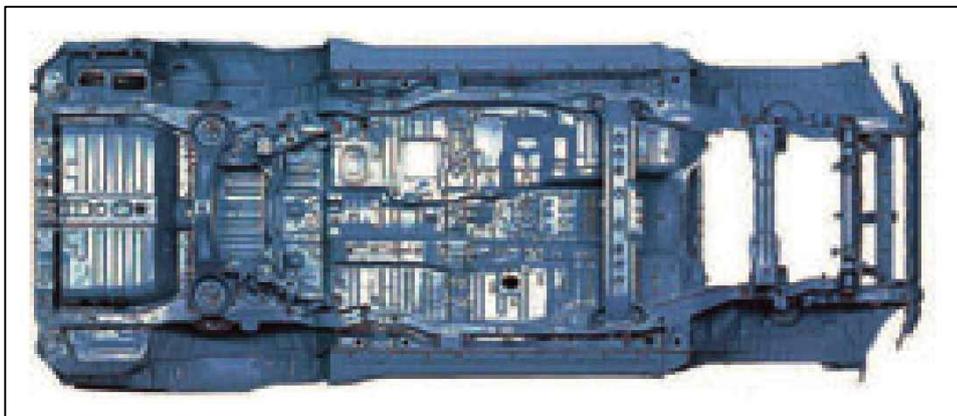


Figura 4.8 Suelo del habitáculo del vehículo acero (BH 180 - 220).

Fuente: (Mittal, 2017)

Para la elaboración del acero Bake Hardening 180- 220 que elabora la Empresa ArcelorMittal son de normas Europeas y Alemanas con la finalidad de que los estándares de calidad del acero sean altos y tengan una buena acogida en el mercado automotriz.

Tabla 4.8 Acero Bake Hardening.

	Euronorms	VDA 239-100
180BH	HC180B	CR180BH
220BH	HC220B	CR210BH

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 79

En la figura 4.9 se detalla las características que tiene el acero Bake Hardening 260 para su elaboración.

Tabla 4.9 Acero Bake Hardening características.

	R_e (MPa)	R_m (MPa)	A (%) $L_0 = 80\text{mm}$ $e < 3\text{mm}$	R	n	BH ₂ (MPa)
180BH	180-230	300-360	≥ 34	≥ 1.6	≥ 0.17	≥ 35
220BH	220-270	340-400	≥ 32	≥ 1.5	≥ 0.16	≥ 35

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 79

La composición química que tienen cada material determina la resistencia a continuación se determina el porcentaje de cada elemento para la elaboración del acero Bake Hardening 180-220

Tabla 4.10 Acero Bake Hardening composición.

	C Max	Mn Max	Si Max
180 BH	0.04	0.70	0.50
220 BH	0.06	0.70	0.50

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 80

En la tabla 4.11 se determina el esfuerzo máximo que puede soportar el acero Bake Hardening con un espesor de 0.8 mm, al estar sometido a cargas de tracción.

Tabla 4.11 Acero Bake Hardening esfuerzo maximo.

	$\sigma_D =$ Esfuerzo máximo MPa
180BH sin revestir desp. de cocción (esp: 0.8 mm)	384

Fuente: (Mittal, 2017)

4.3.3.2 Fibra de carbono (Unidireccional)

La fibra de carbono unidireccional está conformada por un tejido que está orientado en una sola dirección, siendo diseñadas para transformar las cargas mayores en esfuerzo de tensión a las fibras, las fibras de Carbono unidireccionales son lisas y no tienen imperfecciones debido a que el entrelazado de la fibra es en una misma dirección.

La fibra de carbono unidireccional se lo utiliza comúnmente en refuerzo de laminados alineados con la trayectoria de la carga.



Figura 4.9 Suelo de habitáculo de carrocería de Fibra de carbono (Peugeot 205)
Fuente: (Carbono, 2014), pág. 1

En la tabla 4.12 se detalla las características de la fibra de Carbono unidireccional fibra que fue seleccionada para la realización del trabajo de grado, la alta resistencia que tiene la fibra unidireccional es superior a la fibra de Carbono bidireccional.

Tabla 4.12 Fibra de carbono Unidireccional, Style: 1033-01.

Fiber	Warp Yarn	12k carbón
	Fill Yarn	Low Melt Fiberglass
Fabric Weight, Dry		325GSM / 9.6 oz
Weave Style		Unidirectional
Nominal Construction	Warp Count	10 / in
	Fill Count	3 / in
Fabric Width		0.016"

Fuente: (CFA, 2017), pág. 1

La fibra de Carbono (FC) unidireccional utilizada es 12k que está compuesta por 12000 filamentos por hebra siendo un tejido seco, su dimensión es de 100 cm de ancho x 33 cm de largo y el peso total es 9.6 oz.

4.3.3.3 Astillamiento de fibra de Carbono (Unidireccional)

La fibra de Carbono unidireccional es un material que posee una alta resistencia al igual que la bidireccional con limitaciones ya que su resistencia depende de la

orientación el tejido de la fibra, este tipo de fibra tiene como característica un excelente fuerza y rigidez en una sola dirección siendo esta fibra adecuada para la utilización en el suelo del habitáculo del vehículo (Piso).

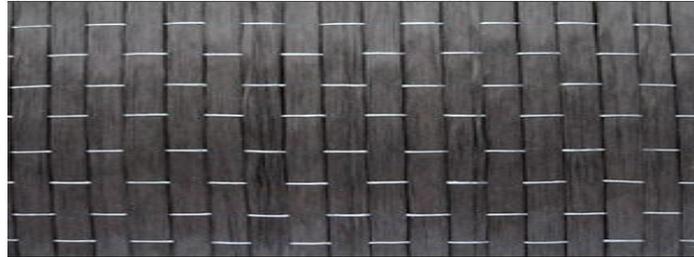


Figura 4.10 Fibra de carbono (Unidireccional)

Los materiales compuestos fabricados con este tipo de fibra de Carbono poseen una alta resistencia en una sola dirección debido a la orientación del tejido, al igual que la fibra bidireccional la fibra de Carbono unidireccional tiene un alto factor de seguridad ya que ante una rotura controlada. La absorción de la energía que se produce ante un impacto es su principal ventaja ya que de esto depende la seguridad de los usuarios de los vehículos.

El astillamiento que se produce en la fibra de Carbono unidireccional ante un impacto es nocivo para los ocupantes del vehículo ya que está diseñada para soportar elevadas cargas de acuerdo con la orientación de los tejidos, este tipo de material tiene un astillamiento más por la orientación que tienen los tejidos en su fabricación, es importante tener en cuenta que el comportamiento que tiene el suelo del habitáculo del vehículo ante un impacto es leve por tal motivo la construcción del piso con el material compuesto con fibra de Carbono unidireccional brinda un elevado factor de seguridad para los ocupantes del vehículo.



Figura 4.11 Astillamiento de la fibra de carbono.

Fuente: (Gómez J. , 2014), pág. 1

4.4 RESINA / ENDURECEDOR SC120

Es una resina epóxica de baja viscosidad, de alta resistencia mecánica, de excelente afinidad con la fibra de Carbono y otros tipos de cargas, alta estabilidad dimensional y de baja contracción. Posee buenas propiedades de humectación debido a su viscosidad, las mejores propiedades después de curada la pieza a 75° (Autoclave) se logra en 7 días a temperatura ambiente.



Figura 4.12 Endurecedor de Resina.

En la tabla 4.13 se observa las características de la resina y el endurecedor utilizadas en el proyecto, la matriz epoxica manipulada en el trabajo es la encargada de dar resistencia a la fibra de Carbono.

Tabla 4.13 Características de la resina y endurecedor.

	Resina	Endurecedor
Apariencia	Ambar translucido	Ambar translucido
Viscosidad a 25° (MPas)	1375- 1625 MPas	370- 470 MPas
Densidad a 25° (g/cm3)	1.1- 1.15gr/cm3	1.0- 1.05 gr/cm3

Fuente: (Bedoya, 2016), pág. 1

La mezcla de la resina y el endurecedor es homogénea para brindar propiedades mecánicas de resistencia, por lo tanto, es importante tener en cuenta las proporciones de la mezcla para que el material compuesto tenga un buen desempeño en su aplicación.

Tabla 4.14 Características de la mezcla de la resina epoxy.

Tiempo de vida útil (Para 500gr. De mezcla)	20 – 30 minutos
Proporción de mezcla	100 parte en peso de Resina 20 partes en peso de Endurecedor
Tiempo de curado	Después de 24 horas
Viscosidad	1200 – 1400 m Pas

Fuente: (Bedoya, 2016), pág. 2

4.4.1 PROCESO DE MEZCLA

La aplicación de la resina debe de ser completamente uniforme cuando se realiza una pieza de más de 2 capas para obtener una buena estabilidad dimensional, para poder desmoldear la pieza de la base en que se realiza el proceso debe de esperar 24 horas a temperatura ambiente ya que si se retira antes puede presentarse modificaciones dimensionales en el elemento procesado (Contracciones). (Bedoya, 2016)

4.4.2 GEOMETRÍA DEL TEJIDO DE REFUERZO

La estructura de la fibra de Carbono está compuesta de hilos que van tejidos en diferentes direcciones, se encuentran una de ellas en dirección longitudinal, se la conoce con el nombre de urdimbre y están entrelazadas por fibras que están en dirección transversal, llamadas tramas, equilibrando el tejido y teniendo como principal característica la uniformidad en direcciones de 0° y 90°.

El conjunto de láminas una sobre otra apiladas se conoce con el nombre de laminado, el proceso de fabricación utilizado garantiza la unión de la matriz en sentido ortogonal al plano entre sí, trabajando así el material conjuntamente de una manera adecuada una lámina con otra. Para la realización de la investigación el análisis de diferentes tipos de refuerzos que presenta la Universidad de Madrid generó datos importantes que fortaleció el conocimiento en los tipos de refuerzos.

El adecuado laminado ofrece importantes características de resistencia por tal motivo el laminado debe de ser uniforme, si el laminado no es simétrico las dilataciones producidas en el proceso de fabricación pueden ser deformes ya que se producen tenciones internas del material de origen térmico.

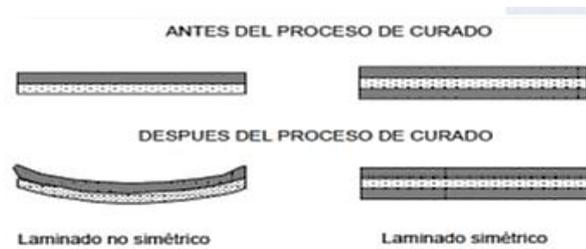


Figura 4.13 Efecto del curado en láminas de Fibra de Carbono.
Fuente: (Núñez, 2014), pág. 60

El laminado al ser simétrico se minimiza las tensiones de origen térmico, dando como resultado que no aparezcan deformaciones en la pieza fabricada.

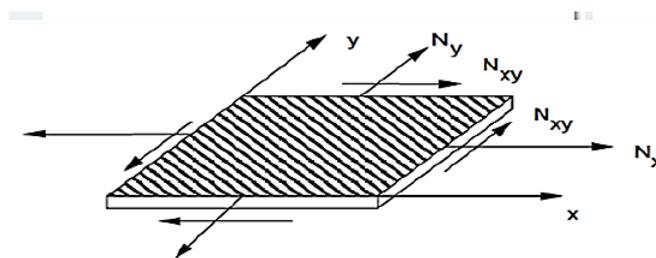


Figura 4.14 Esfuerzos que operan sobre el laminado.
Fuente: (Núñez, 2014), pág. 61

4.4.3 TEORÍA CLÁSICA DE LAMINADOS

Las láminas en la teoría tienen un comportamiento ortótropo y trabajando en tensión plana y unidas unas a otras perfectamente, esto quiere decir que el campo que se produce en el desplazamiento del interior del laminado es continuo sin dejar que las láminas se deslicen entre sí.

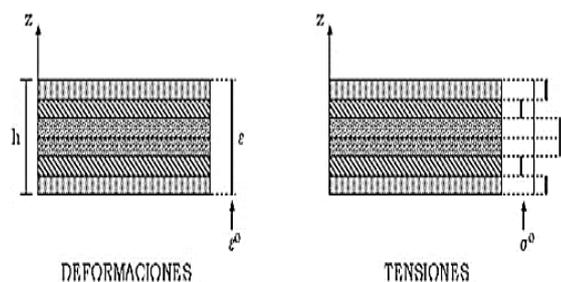


Figura 4.15 Distribución de tensiones y deformaciones en laminado plano.
Fuente: (Núñez, 2014), pág. 61

La deformación de todas las láminas ϵ_0 , que se observa en la figura es la misma, son distintas las tensiones actuantes en cada lámina cuando es simétrica la distribución de respecto al plano.

4.5 CONSTRUCCIÓN DEL HORNO (AUTOCLAVE).

Para la realización del presente trabajo de grado se procedió a la construcción de la autoclave (horno) de materiales compuestos para la elaboración del material con nanofibra de Carbono y su matriz de resina epoxi.

La autoclave de materiales compuestos es una máquina que permite procesar materiales o piezas a través de un sistema de vacío el cual genera que el material se compacte con la matriz (resina epoxi) de la mejor manera para que el material posea buenas características. Para la construcción de la autoclave se utilizó distintos accesorios que permitan generar un correcto funcionamiento que revisaremos a continuación.

4.5.1 ESTRUCTURA DEL HORNO.

Para la elaboración de la estructura del horno se implementó acero galvanizado y fibra de vidrio para no poseer perdidas de energía (calor) donde sus dimensiones son 600 mm de ancho, 600 mm de alto, 700 mm de fondo y un marco de 120 mm.



Figura 4.16 Autoclave.

El horno fue construido con un marco de 120 mm el cual el acero es ensamblado con una cámara donde se incorpora la fibra de vidrio para que no exista transferencia de calor y una puerta de vidrio de seguridad (templado) de 10 mm.

4.5.2 CAJA DE CONTROL.

La caja de control es el gabinete de los elementos eléctricos donde se realizan las conexiones eléctricas de todos sus componentes como: botones, swich, contactores, selectores y focos de señalización etc.



Figura 4.17 Caja de control.

4.5.3 ACCESORIOS ELÉCTRICOS.

4.5.3.1 Niquelinas.

Son barras o varillas que están colocadas en las paredes del horno, permiten transmitir el calor.

4.5.3.2 Selector.

La autoclave del proyecto se utilizó un selector de dos funciones abrir y cerrar para el paso de energía.

4.5.3.3 Termocupla.

La termocupla es un dispositivo importante en la autoclave ya que permite controlar la temperatura y mantener una temperatura constante en el interior ya que lee un tipo de señal en otra por medio de sus dos metales.

4.5.3.4 Contactor.

En el sistema eléctrico de la autoclave se utilizó un contactor mecánico que se activa mediante una energía no manual con un dispositivo de abrir y cerrar.

4.5.3.5 Control de temperatura.

El sistema de control de temperatura análogo permite controlar la temperatura deseada por medio de un sistema de abierto y cerrado, el cual permite asumir una posición cuando el actuador es mayor y cuando el actuador es menor asume otra posición.



Figura 4.18 Accesorios eléctricos.

4.6 PROCESO DE ELABORACIÓN DE PROBETAS.

Para la elaboración del trabajo de grado se va a utilizar dos tipos de tejidos de fibra de carbono como la unidireccional (0°) y la bidireccional (90°) del cual se diferencian el tipo de tejido, donde el material compuesto va ser la unión del tejido de fibra de carbono y la resina epoxi.



Figura 4.19 Tejido de fibra de carbono bidireccional 90° .

En la figura 4.19 se observa el recorte de la fibra de Carbono unidireccional, material utilizado en la elaboración de probetas para medir la resistencia a la tracción que posee, la fibra de Carbono unidireccional debido a la orientación de su tejido posee como característica principal resistencia en una sola dirección.



Figura 4.20 Tejido de fibra de carbono unidireccional 0°.

El proceso de elaboración de probetas consiste en la unión de la resina epoxi y el tejido de fibra de Carbono para la creación de un material compuesto con alta resistencia y extremadamente ligero.

Para la fabricación de las probetas se realizó los siguientes procesos hasta llegar a obtener el material compuesto con las propiedades y características necesarias para la realización del trabajo de grado, a continuación, las mencionamos.

4.6.1 CORTE DEL TEJIDO DE FIBRA DE CARBONO.

Para la realización del corte del tejido primero se debe colocar cinta adhesiva (mazquin) por donde se la va a recortar, esto se debe por las fibras del tejido para evitar el desprendimiento de las mismas ya que cuenta el tejido de forma longitudinal y transversal.



Figura 4.21 Colocación de la cinta adhesiva.

Una vez trazado el tejido de las medidas requeridas se procede a recortar el tejido esto se lo puede realizar con diferentes instrumentos como tijeras y estiletes, pero con cuidado para evitar el desprendimiento del tejido, en nuestro caso utilizamos un estilete y una regla para que el corte sea lo más exacto posible.



Figura 4.22 Corte del tejido.

4.6.2 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL MOLDE.

Durante la realización de las probetas un paso importante es la preparación de la superficie del molde, es decir, que no debe tener ningún negativo (orificios, añadiduras, etc.) y menos aún que su superficie sea porosa esto imposibilitaría o dañaría la probeta al momento de retirarla del molde.

Por tal motivo se ha implementado distintos materiales para la fabricación de la superficie como vidrio de 6mm y dos láminas de acero galvanizado de 1mm y perfiles de aluminio en forma de U.



Figura 4.23 Superficie del molde.

Las láminas de acero galvanizado forraron al vidrio para evitar que el vidrio explote por el calor al que iba hacer sometido mientras que los perfiles de

Aluminio permiten que el vidrio y el acero formen un solo cuerpo. En la superficie se debe colocar cera desmoldante para evitar que el material compuesto se adhiera a la superficie del molde.

4.6.3 PREPARACIÓN DE LA RESINA Y EL ENDURECEDOR.

La preparación de la mezcla debe ser homogénea ya que su preparación cuenta con normas establecidas mediante guías técnicas, se debe tener en cuenta a seguir las especificaciones para no alterar las cantidades de la mezcla ya que puede ser muy perjudicial para la elaboración del material compuesto como un mal curado o a su vez inflamarse.

Para una mezcla excelente entre el endurecedor y la resina se procede a calcular la cantidad idónea para la elaboración del material compuesto, es decir, en el proyecto la mezcla es de 7:1 (siete partes se de resina y una parte de endurecedor) para la compactación con el tejido de tres capas.



Figura 4.24 Mezcla entre la resina y el endurecedor.

Al combinar los dos elementos como la resina y el endurecedor se procede a agitar durante 6 minutos para obtener una buena mezcla en todo el recipiente, en el transcurso del proyecto se realizó a través de un taladro y una cuchilla especial para una mejor mezcla.

4.6.4 IMPREGNACIÓN DE LA MEZCLA CON EL TEJIDO.

En el proceso de impregnación tanto como la mezcla y el tejido de fibra de Carbono ya deben estar listos en el primer caso la mezcla debe ser homogénea y el segundo el tejido debe estar recortado sus tres capas, el proceso de

impregnación es por contacto manual donde la mezcla se la coloca por medio de una brocha primeramente en la superficie del molde.



Figura 4.25 Mezcla en la superficie del molde.

Posteriormente consiste en colocar la mezcla en el tejido de fibra de Carbono el proceso se debe repetir para cada una de las tres capas de tejido en sus dos lados, el tejido debe estar completamente cubierto de la mezcla para obtener un material compacto.



Figura 4.26 Impregnación del tejido y la mezcla.

4.6.5 PROCESO DE VACÍO DEL MATERIAL COMPUESTO.

El proceso de vacío consta para que el material compuesto tenga un laminado plano y sin ningún tipo de curvas que opaquen el acabado final del material esto permite que sea más compacto y resistente.

Este proceso además sirve para extraer el exceso de resina que se encuentra en el tejido a través de un plástico con poros (orificios) el cual permite que la resina sea expulsada por dichos orificios permitiendo que la tela absorba la mayor cantidad de resina.



Figura 4.27 Proceso de vacío.

El proceso de vacío culmina cuando se va sellando la bolsa plástica por medio de una cinta adhesiva (cinta doble fas), es decir, que la cinta adhesiva se ensamblará de las dos caras a la bolsa permitiendo un cierre hermético para que el material compuesto se compacte.



Figura 4.28 Proceso de vacío empacado.

4.7 MEDIDAS DE PROBETAS SEGÚN NORMAS ASTM DE TRACCIÓN Y FLEXIÓN.

En la tabla 4.15 se detalla las características de las probetas como sus dimensiones y normas que se emplean para realizar los ensayos a las probetas de material compuesto de fibra de Carbono bidireccional y unidireccional.

Tabla 4.15 Medidas de probetas.

Medidas de probetas según las normas ASTM para tracción y flexión.				
Ensayo.	Norma.	Medidas. Base por altura (mm)	Tipo de refuerzo.	Número de probetas.
Tracción.	ASTM D3039M – 14	250×25	Tejido	10
Flexión.	ASTM D7264 – 07	160×13	Tejido	10
TOTAL.				20

4.7.1 CÁLCULO VOLUMÉTRICO PARA ENSAYOS DE LAS PROBETAS.

En la realización del trabajo de grado es necesario calcular la cantidad necesaria con los parámetros correctos con el fin de elaborar las probetas (piezas) con el tejido de fibra de Carbono y su matriz de resina epoxi.

Por tal motivo se debe conocer la cantidad de resina epoxi para el área total del tejido de fibra de Carbono según las especificaciones de la ficha técnica y así no desperdiciar la sustancia.

Donde indica que se debe ocupar 500 gr de resina epoxi por un metro cuadrado con una densidad de $1,13 \text{ gr/cm}^3$.

$$V = \frac{m}{d} \quad [4. 1]$$

Nomenclatura:

1. Vf: volumen de fibra de Carbono.
2. Vm: volumen de matriz epoxi.
3. Vc: volumen del material compuesto.

Datos:

$$m = 500 \text{ gr}$$

$$d = 1,13 \text{ gr/cm}^3.$$

$$V = \frac{500 \text{ gr}}{1,13 \text{ gr/cm}^3}$$

$$V = 442.47 \text{ cm}^3$$

$$V = 0,442 \text{ lt}$$

4.7.1.1 Ensayo de tracción con tejido bidireccional.

Altura: 0,25 m

Ancho: 0,025 m

Área: $0,00625\text{m}^2$

Espesor: 0.000304 m

Numero de capas: 3

Considerando que 500gr = (0.442 lt) de resina para un metro cuadrado de tejido, se determina el volumen para cubrir una capa de tejido con un área de 0.00625 m².

$$V_m = 0.00625\text{m}^2 \times 0.442 \text{ lt/m}^2$$

$$V_m = 0.00276\text{lt.}$$

Si el material compuesto se desea con más números de capas entonces:

$$V_m = 0.00276\text{lt} \times 3$$

$$\mathbf{V_m = 0.0082\text{lt.}}$$

Para determinar el volumen de la fibra de Carbono se procede a multiplicar los siguientes datos:

$$V_f = \text{longitud} \times \text{ancho} \times \text{espesor} \quad [4.2]$$

$$V_f = 0.25 \times 0.025 \times 0.000304 \text{ [m]}$$

$$V_f = 0.0000019 \text{ m}^3$$

$$V_f = 0.0019\text{lt.}$$

Para obtener la cantidad deseada del volumen del tejido se procede a multiplicar por número de capas.

$$V_f = 0.0019\text{lt} \times 3$$

$$\mathbf{V_f = 0.057\text{lt}}$$

$$V_c = V_f + V_m$$

$$V_c = 0.0057\text{lt} + 0.0082\text{lt}$$

$$\mathbf{V_c = 0.0139\text{lt.}}$$

4.7.1.2 Ensayo de tracción con tejido unidireccional.

Altura: 0,25 m

Ancho: 0,025 m

Área: $0,00625m^2$

Espesor: 0.000406 m

Numero de capas: 3

Considerando que 500gr = (0.442 lt) de resina para un metro cuadrado de tejido, se determina el volumen para cubrir una capa de tejido con un área de 0.00625 m².

$$V_m = 0.00625m^2 \times 0.442 \text{ lt/m}^2$$

$$V_m = 0.00276 \text{ lt.}$$

Si el material compuesto se desea con más números de capas entonces:

$$V_m = 0.00276 \text{ lt} \times 3$$

$$\mathbf{V_m = 0.0082 \text{ lt.}}$$

Para determinar el volumen de la fibra de carbono se procede a multiplicar los siguientes datos:

$$V_f = \text{longitud} \times \text{ancho} \times \text{espesor.} \quad [4.3]$$

$$V_f = 0.25 \times 0.025 \times 0.000406 \text{ [m]}$$

$$V_f = 0.00000253 \text{ m}^3$$

$$V_f = 0.00253 \text{ lt.}$$

Para obtener la cantidad deseada del volumen del tejido se procede a multiplicar por número de capas.

$$V_f = 0.00253 \text{ lt} \times 3$$

$$\mathbf{V_f = 0.00751 \text{ lt}}$$

$$V_c = V_f + V_m \quad [4.4]$$

$$V_c = 0.0075 \text{ lt} + 0.0082 \text{ lt}$$

$$\mathbf{V_c = 0.0157 \text{ lt.}}$$

4.7.1.3 Ensayo de flexión con tejido bidireccional.

Altura: 0.079m

Ancho: 0.013

Espesor: 0.000304m

Numero de capas: 3

Considerando que 500gr = (0.442 lt) de resina para un metro cuadrado de tejido, se determina el volumen para cubrir una capa de tejido con un área de 0.0010 m².

$$V_m = 0.0010 \text{m}^2 \times 0.442 \text{ lt/m}^2$$

$$V_m = 0.00045 \text{lt.}$$

Si el material compuesto se desea con más números de capas entonces:

$$V_m = 0.00045 \text{lt} \times 3$$

$$\mathbf{V_m = 0.0013 \text{lt.}}$$

Para determinar el volumen de la fibra de Carbono se procede a multiplicar los siguientes datos:

$$V_f = \text{longitud} \times \text{ancho} \times \text{espesor}$$

$$V_f = 0.079 \times 0.013 \times 0.000304 \text{ [m]}$$

$$V_f = 0.00000031 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{V_f = 0.00031 \text{lt.}}$$

Para obtener la cantidad deseada del volumen del tejido se procede a multiplicar por número de capas.

$$V_f = 0.00031 \text{lt} \times 3$$

$$\mathbf{V_f = 0.000931 \text{lt}}$$

$$V_c = V_f + V_m$$

$$V_c = 0.00093 \text{lt} + 0.0013 \text{lt}$$

$$\mathbf{V_c = 0.0022 \text{lt.}}$$

4.7.1.4 Ensayo de flexión con tejido unidireccional.

Altura: 0.079m

Ancho: 0.013

Espesor: 0.000406m

Número de capas: 3

Considerando que 500gr = (0.442 lt) de resina para un metro cuadrado de tejido, se determina el volumen para cubrir una capa de tejido con un área de 0.0010m².

$$V_m = 0.0010 \text{m}^2 \times 0.442 \text{ lt/m}^2$$

$$V_m = 0.00045 \text{lt.}$$

Si el material compuesto se desea con más números de capas entonces:

$$V_m = 0.00045 \text{ lt} \times 3$$

$$V_m = 0.0013 \text{ lt.}$$

Para determinar el volumen de la fibra de Carbono se procede a multiplicar los siguientes datos:

$$V_f = \text{longitud} \times \text{ancho} \times \text{espesor.} \quad [4. 5]$$

$$V_f = 0.079 \times 0.013 \times 0.000406 \text{ [m]}$$

$$V_f = 0.00000040 \text{ m}^3$$

$$V_f = 0.00040 \text{ lt.}$$

Para obtener la cantidad deseada del volumen del tejido se procede a multiplicar por número de capas.

$$V_f = 0.00040 \text{ lt} \times 3$$

$$V_f = 0.0012 \text{ lt}$$

$$V_c = V_f + V_m$$

$$V_c = 0.0012 \text{ lt} + 0.0013 \text{ lt}$$

$$V_c = 0.0025 \text{ lt.}$$

4.8 DESARROLLO DEL ENSAYO A TRACCIÓN.

En el ensayo de tracción se utilizó una máquina de ensayos Universal que está ubicada en el laboratorio de análisis de cargas de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional y que se detalla a continuación.

Datos	Figura
Tipo: Máquina de ensayos	
Denominación: TINIUS OLSEN	
Fabricación: U.S. A	
Capacidad máxima: 30 Ton	
Alimentación: Electricidad	

Figura 4.29 Características Máquina Universal TINIUS OLSEN

Fuente: (Núñez, 2014)

Para desarrollar el ensayo a tracción se utilizó 5 probetas con la geometría y dimensiones adecuadas y recomendadas según la norma ASTM D3039. Teniendo en cuenta los concentradores de tensiones que se generan por la presión de las mordazas hacia las probetas y el daño que se produce en las zonas de sujeción, por tal motivo utilizamos lijas que fueron pegadas al material para que así se produjese una mejor sujeción. Las dimensiones de las probetas a utilizar se presentan en la tabla.

Tabla 4.16 Dimensiones de las probetas para ensayos de tracción.

Elemento/Tracción	Dimensiones (mm)		
	Largo	Ancho	Espesor
Laminado Tejido Bidireccional	250	25	1.2
Laminado Tejido Unidireccional	250	25	1.8

El tiempo de curado de las probetas antes de someterse al ensayo fue de 24 horas a temperatura de 75°C



Figura 4.30 Probeta (FC Bidireccional) sometida a ensayos de tracción

La probeta unidireccional utilizada en la máquina de ensayos universal obtuvo más resistencia debido a la orientación de las fibras. En el ensayo realizado en la Escuela Politécnica Nacional se obtuvo los resultados esperados para el desarrollo del proyecto al realizar pruebas de tracción antes de someter las probetas al ensayo.



Figura 4.31 Probeta (FC Unidireccional) sometida a ensayos de tracción.

4.8.1 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Σ).

El esfuerzo máximo que puede resistir el material sometido a tracción se puede valorar utilizando la relación.

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{F}{A} \quad [4.6]$$

Nomenclatura:

σ máx = Esfuerzo máximo a tracción (MPa)

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

F = Carga máxima aplicada (N)

Con la fórmula de resistencia a la tracción se realiza los respectivos cálculos.

En la tabla 4.17 se detalla los esfuerzos y las medidas obtenidas de medidas de las probetas de material compuesto bidireccional.

Tabla 4.17 Esfuerzo máximo a tracción de la FC bidireccional.

Denominación	Espesor	Ancho	Área	Carga máx	Carga máx	σ máx
	(mm)		(mm^2)	(Kg)	(N)	(Mpa)
FC-B1	1.19	24.43	29.07	1587.57	15568.74	535.56
FC-B2	1.19	24.78	29.48	1292.73	12677.35	430.03
FC-B3	1.21	25.07	30.33	1553.55	15235.12	502.31
FC-B4	1.21	25.83	31.25	1610.25	15791.15	505.31
FC-B5	1.16	24.50	28.42	1360.77	13344.59	469.54
Promedio	1.19	24.92	29.70	1480.97	14523.39	488.55

Fuente: (EPN, 2018)

En la tabla 4.18 se detalla las medidas de la probeta de material compuesto unidireccional.

Tabla 4.18 Esfuerzo máximo a tracción de la FC unidireccional.

Denominación	Espesor	Ancho	Área	Carga máx	Carga máx	σ máx
	(mm)		(mm^2)	(Kg)	(N)	(Mpa)
FC-U1	1.68	25.33	42.55	4207.07	41257.26	969.61
FC-U2	1.54	25.84	39.79	3628.74	35585.78	894.33
FC-U3	1.21	26.31	31.83	2744.23	26911.70	845.46
FC-U4	1.54	26.01	40.05	3810.18	37365.10	932.96
FC-U5	1.52	25.24	38.36	3810.18	37365.10	974.06
Promedio	1.49	25.74	38.51	3640.08	35696.98	923.10

Fuente: (EPN, 2018)

4.8.2 ELONGACIÓN DEL MATERIAL SOMETIDO AL ENSAYO DE TRACCIÓN.

Al finalizar el ensayo, la muestra que se sometió a la prueba se mide su longitud final y se compara con la longitud inicial para adquirir la elongación del material. Fórmula para determinar la elongación.

$$EL = \frac{L_f - L_o}{L_o} \quad [4. 7]$$

$$\% n = \frac{L_f - L_o}{L_o} * 100\% \quad [4. 8]$$

Nomenclatura:

EL = Deformación por tracción (Elongación)

Lf = Longitud final

Lo = longitud inicial

A continuación, se determina la elongación.

Tabla 4.19 Elongación de la fibra de carbono bidireccional.

Denominación	Longitud Inicial	Longitud Final	EL	Deformación
	(mm)		(mm)	%
FC-B1	250.2	253.8	0.014	1.4
FC-B2	250.4	254.2	0.015	1.5
FC-B3	250	252.8	0.011	1.1
FC-B4	250.3	251.8	0.006	0.6
FC-B5	251	252.3	0.005	0.5

En la tabla 4.20 se observa la elongación con el determinado porcentaje que sufre el material al momento que se sometió a un esfuerzo, en el ensayo de tracción de las probetas de material compuesto obtuvieron una variación de longitud por el esfuerzo que se realizó en dicho material.

Tabla 4.20 Elongación de la fibra de carbono unidireccional.

Denominación	Longitud Inicial	Longitud Final	EL	Deformación
	(mm)		(mm)	%
FC-U1	250.3	252.5	0.008	0.8
FC-U2	251.2	252.8	0.006	0.6
FC-U3	251	258	0.027	2.7
FC-U4	250	257.1	0.028	2.8
FC-U5	249.2	250.09	0.003	0.3

4.8.3 MÓDULO DE YOUNG (E)

Se determina según la norma que se sigue se lo conoce como módulo de elasticidad y viene dado por la ecuación:

$$E = \left(\frac{dP}{dL} \right) * \left(\frac{L}{b*d} \right) \quad [4.9]$$

Donde:

E = módulo de elasticidad (GPa)

dL = Variación de la longitud en la probeta (m)

dP = Fuerza aplicada (N)

L = Longitud inicial de la probeta (m)

d = Espesor de la probeta (m)

b = Ancho de la probeta (m)

Tabla 4.21 Módulo de elasticidad de las probetas FC-B

Denominación	Carga Máx. Aplicada (dP)	Variación de la longitud (dL)	Longitud Inicial (L)	Ancho (b)	Espesor (d)	Módulo de Young (E)
	(N)	(m)	(m)	(m)	(m)	(GPa)
FC-B1	15568.74	0.0036	0.25	0.024	0.00119	37,19
FC-B2	12677.35	0.0038	0.25	0.024	0.00119	28,28
FC-B3	15235.12	0.0028	0.25	0.025	0.00121	44,84
FC-B4	15791.15	0.0015	0.25	0.025	0.00121	84,21
FC-B5	13344.59	0.0013	0.25	0.024	0.00116	90,30
Promedio	14523,39	0.0026	0.25	0.024	0.00119	56,96

En la tabla 4.22 se efectuó el cálculo para determinar el módulo de Young en las probetas elaboradas de fibra de Carbono unidireccional para posteriormente obtener un valor promedio, el módulo de Young en materiales compuestos se produce una ruptura del material después de haber alcanzado su máximo esfuerzo debido a que el material es frágil.

Tabla 4.22 Módulo de elasticidad de las probetas FC-U

Denominación	Carga Máx. Aplicada (dP)	Variación de la longitud (dL)	Longitud Inicial (L)	Ancho (b)	Espesor (d)	Módulo de Young (E)
	(N)	(m)	(m)	(m)	(m)	(GPa)
FC-U1	41257.26	0.0022	0.25	0.025	0.0016	110,17
FC-U2	35585.78	0.0016	0.25	0.025	0.0015	139,73
FC-U3	26911.70	0.007	0.25	0.026	0.0012	30,19
FC-U4	37365.10	0.0071	0.25	0.026	0.0015	32,85
FC-U5	37365.10	0.00089	0.24	0.025	0.0015	262,64
Promedio	35696.98	0.00375	0.25	0.025	0.00146	115,11

El análisis estadístico obtenido en la práctica permitió realizar un cálculo promedio de las probetas sometidas al ensayo tanto FC-B y FC- U también obteniendo el valor promedio para posterior evaluación del material compuesto.

Tabla 4.23 Evaluación de resultados de las probetas FC-B

Denominación	Carga Máx. Aplicada (dP)	Variación de la longitud (dL)	Módulo de Young (E)	Esfuerzo (σ máx)
	(N)	(m)	(GPa)	(Mpa)
FC-B1	15568.74	0.0036	37,19	535.56
FC-B2	12677.35	0.0038	28,28	430.03
FC-B3	15235.12	0.0028	44,84	502.31
FC-B4	15791.15	0.0015	84,21	505.31
FC-B5	13344.59	0.0013	90,30	469.54
Promedio	14523,39	0.0026	56,96	488.55

En la tabla 4.24 se detalla la evaluación de resultados realizadas en la Escuela Politécnica Nacional del ensayo de tracción realizadas al material compuesto de la fibra de Carbono unidireccional.

Tabla 4.24 Evaluación de resultados de las probetas FC-U

Denominación	Carga Máx. Aplicada (dP)	Variación de la longitud (dL)	Módulo de Young (E)	Esfuerzo (σ máx)
	(N)	(m)	(GPa)	(Mpa)
FC-U1	41257.26	0.0022	110,17	969.61
FC-U2	35585.78	0.0016	139,73	894.33
FC-U3	26911.70	0.007	30,19	845.46
FC-U4	37365.10	0.0071	32,85	932.96
FC-U5	37365.10	0.00089	262,64	974.06
Promedio	35696.98	0.00375	115,11	923.28

4.8.4 ANÁLISIS VISUAL.

Las probetas al someterlas a ensayos de tracción se genera zonas de falla el cual es importante evaluar visualmente para un mejor análisis.

DETERMINACIÓN	ZONA DE FRACTURA	IMAGEN
FC-B1	Parte inferior	
FC-B2	Parte superior Parte inferior	
FC-B3	Parte superior Parte inferior	
FC-B4	Parte superior Parte inferior	
FC-B5	Parte media Parte inferior	

Figura 4.32 Análisis Visual de probetas FC-B

El análisis visual realizado después de realizar los ensayos determino que el material compuesto elaborado tiene alta resistencia al esfuerzo a tracción, las lijas adheridas a la fibra ayudaron a la sujeción del material para que el ensayo pueda realizarse con éxito.

DETERMINACION	ZONA DE FRACTURA	IMAGEN
FC-U1	Parte Inferior	
FC-U2	Parte Inferior	
FC-U3	Parte superior	
FC-U4	Parte central	
FC-U5	Parte superior Parte inferior	

Figura 4.33 Análisis Visual de probetas FC-U

Posteriormente de realizar los ensayos se muestra las curvas típicas de esfuerzo-deformación de los dos tipos de fibras que se utilizó para realizar el proyecto, las curvas corresponden a las probetas que presentaron un mejor comportamiento.

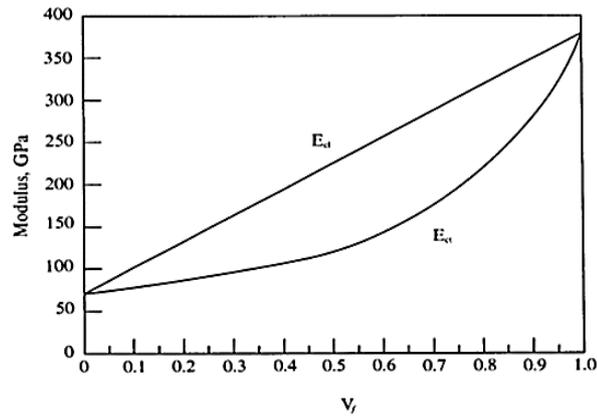


Figura 4.34 Diagrama de deformación vs Esfuerzo

A continuación, se efectúa una evaluación de los resultados de los dos tipos de material expuesto al ensayo a tracción, determinando el valor promedio de los esfuerzos para compararlos entre sí.

Tabla 4.25 Análisis de resultados de las probetas FC-B y FC-U

Valor promedio	Unidad	Denominación	
		FC-B	FC-U
Carga máx. aplicada	(N)	14523,39	35696.98
Módulo de Young (E).	(GPa)	400	600
Esfuerzo tao máx.	(MPa)	488	652
Evaluación.			✓

4.9 DESARROLLO DEL ENSAYO A FLEXIÓN.

Para realizar los ensayos de flexión a los dos tipos de probetas se utilizó la maquina TINIUS OLSEN.

El ensayo de flexión está determinado por la norma ASTM D7264, que nos indica el módulo de ruptura del material o resistencia a la flexión y se lo realiza con 5

probetas normalizadas aplicando la carga adecuadamente en las dimensiones que nos indica la norma.

El procedimiento A de la norma se la utilizo en los ensayos de tracción, en el cual la probeta es apoyada en dos soportes y es aplicada la carga en un punto (nariz de carga) según las dimensiones que nos indica la norma.

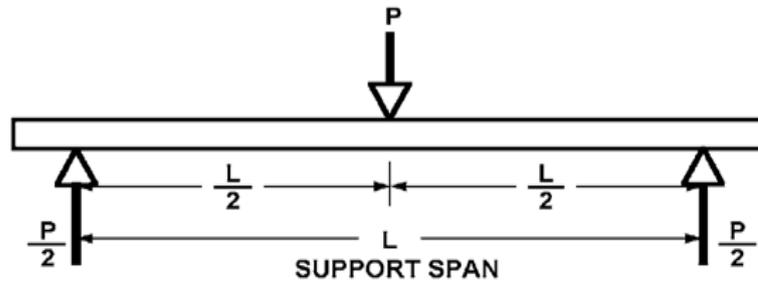


Figura 4.35 Ensayo de polímeros reforzados (Procedimiento A ASTM D7264)

Fuente: (ASTM, 2015), pág. 2

En el ensayo el material (Probeta) la flexión es constante entre la carga aplicada central gracias a los dos puntos, por lo tanto, el máximo esfuerzo de flexión es uniforme en los puntos de aplicación. Esta prueba fue desarrollada para el buen uso de los polímeros con fibra.

Tabla 4.26 Dimensión de la probeta de FC-B para ensayo de Flexión.

Elemento/ Flexión	Dimensiones (mm)		
	Largo	Ancho	Espesor
Fibra de carbono Bidireccional	79	13	1.2

La norma ASTM es la encargada de dar los parámetros para la realización de ensayos de flexión para materiales en el caso de la fibra de Carbono la norma ASTM determina que la longitud para un espesor de 1.8 mm es de 79mm x 13mm

Tabla 4.27 Dimensión de la probeta de FC-U para ensayo de Flexión.

Elemento/ Flexión	Dimensiones (mm)		
	Largo	Ancho	Espesor
Fibra de carbono Unidireccional	79	13	1.8

El ensayo de flexión se lo realizo aplicando una carga en la probeta hasta obtener la carga de deformación que soporta el material mediante la carga continua del cabezal. En consecuencia, el cabezal debe de ir ajustado para realizar la prueba adecuadamente.



Figura 4.36 Desarrollo del ensayo a flexión.

Se obtuvo del ensayo realizado a cada probeta los resultados de la carga máxima que soporta cada probeta, en las siguientes tablas se detalla los resultados.

Tabla 4.28 Resultados de carga máxima de probeta de FC-B

Determinación	Espesor	Ancho	Carga máx.	Carga máx.
	(mm)	(mm)	(Kg)	(N)
FC-B1	1.2	13	6.350	61
FC-B2	1.2	13	8.618	85
FC-B3	1.2	13	5.896	57
FC-B4	1.2	13	5.443	55
FC-B5	1.2	13	4.535	47

En la tabla 4.29 se observa los resultados obtenidos durante la prueba de tracción a las probetas de nanofibras de carbono unidireccional.

Tabla 4.29 Resultados de carga máxima de probeta de FC-U

Determinación	Espesor	Ancho	Carga máx.	Carga máx.
	(mm)	(mm)	(Kg)	(N)
FC-U1	1.8	13	15.422	151
FC-U2	1.8	13	23.586	231
FC-U3	1.8	13	12.247	120
FC-U4	1.8	13	9.979	96
FC-U5	1.8	13	14.968	145

4.9.1 ESFUERZO A FLEXIÓN.

El esfuerzo máximo (Flexión) que puede soportar un material viene dado por la siguiente formula.

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{3FL}{2bh^2} \quad [4.10]$$

Donde:

$\sigma_{\text{flexión}}$ = Esfuerzo máximo a flexión (MPa)

L = Longitud entre apoyos (mm)

F = Carga máxima aplicada (N)

h = Espesor de la probeta (mm)

b = Ancho de la probeta (mm)

Tabla 4.30 Calculo esfuerzo a flexión (Bidireccional)

Determinación	Espesor	Ancho	Carga máx. aplicada	Longitud entre apoyos (L)	Esfuerzo máx ($\sigma_{\text{flexión}}$)
	(mm)	(mm)	(N)	(mm)	(GPa)
FC-B1	0.92	12.65	61	64	0.55
FC-B2	1.00	12.65	85	64	0.64
FC-B3	0.85	13.07	57	64	0.57
FC-B4	0.88	12.98	55	64	0.52
FC-B5	1.03	12.95	47	64	0.32

En la tabla 4.31 se detalla los resultados obtenidos posteriormente al ensayo de flexión determinado la longitud entre apoyos para realizar el ensayo y la carga máxima que se le aplico al material.

Tabla 4.31 Calculo esfuerzo a flexión (Unidireccional)

Determinación	Espesor	Ancho	Carga máx. aplicada	Longitud entre apoyos (L)	Esfuerzo máx ($\sigma_{\text{flexión}}$)
	(mm)	(mm)	(N)	(mm)	(GPa)
FC-U1	1.30	12.95	151	64	0.66
FC-U2	1.35	12.95	231	64	0.93
FC-U3	1.20	12.95	120	64	0.61
FC-U4	1.20	12.95	96	64	0.49
FC-U5	1.25	12.98	145	64	0.68

El análisis realizado entre los dos tipos de materiales sometidos a los ensayos de flexión tiene como resultado.

Tabla 4.32 Análisis estadístico de resultados de FC-B

Determinación	Carga máx. aplicada	Resistencia a la flexión
	(N)	(MPa)
FC-B1	61	545.4
FC-B2	85	645.1
FC-B3	57	584.5
FC-B4	55	524.5
FC-B5	47	325.4
Valor Max	85	645.1
Promedio	61	524.98

En la tabla 4.33 se detalla los resultados obtenidos del ensayo a flexión realizado a las probetas unidireccionales para determinar la resistencia que soportan las probetas ante carga aplicada.

Tabla 4.33 Análisis estadístico de resultados de FC-U

Determinación	Carga máx. aplicada	Resistencia a la flexión
	(N)	(MPa)
FC-U1	151	661.6
FC-U2	231	938.9
FC-U3	120	636.3
FC-U4	96	493.3
FC-U5	145	686.3
Valor Max	231	938.9
Promedio	148.6	683.2

4.9.2 ANÁLISIS VISUAL.

Las probetas al someterlas a ensayos de tracción se genera zonas de falla el cual es importante evaluar visualmente para interpreta el motivo de la ruptura del material, una de las causas es la sujeción de las mordazas por tal motivo en el análisis visual se corrigió ese tipo de falla fijando en los extremos lijas para no generar concentradores de tensiones.

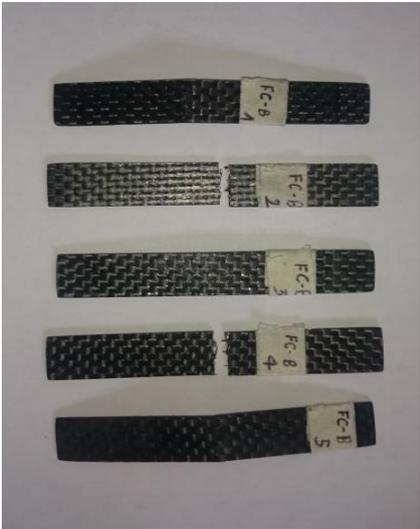
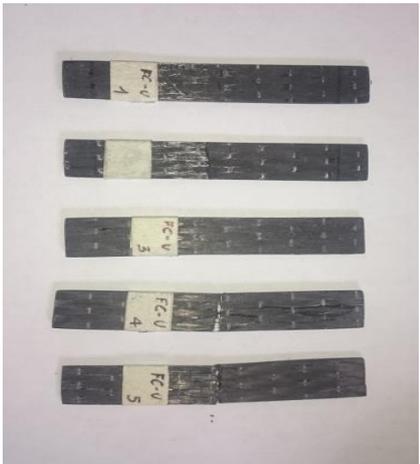
DETERMINACION	EVALUACIÓN	IMAGEN
FC-B1	Deformación sin ruptura, parte central	
FC-B2	Deformación con ruptura, parte central	
FC-B3	Deformación sin ruptura, parte central	
FC-B4	Deformación con ruptura, parte central	
FC-B5	Deformación sin ruptura, parte central	
FC-U1	Deformación sin ruptura, parte central	
FC-U2	Deformación sin ruptura, parte central	
FC-U3	Deformación sin ruptura, parte central	
FC-U4	Deformación con ruptura, parte central	
FC-U5	Deformación con ruptura, parte central	

Figura 4.37 Análisis visual de la FC-B y FC-U (Ensayo de flexión)

4.10 EVALUACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO MEDIANTE SOLIDWORKS

4.10.1 MODELADO DE LA PROBETA

En el presente estudio se van a modelar 2 probetas las mismas que se van a someter a esfuerzos de tracción, en el primer caso una fuerza unidireccional y en el otro 2 esfuerzo en sentidos opuestos o bidireccionales.

Las dimensiones y los esfuerzos a los que se somete cada probeta se especifica en la siguiente tabla.

Tabla 4.34 Especificaciones de fibra carbono

Tipo de esfuerzo	Bidireccional	Unidireccional
Longitud	250,38 mm	250,8 mm
Ancho	24,92 mm	25,7 mm
Espesor	1,19 mm	1,49 mm
Esfuerzo máximo	3265 libras	8025 libras

Se proceden a realizar los croquis de la superficie plana en el software SolidWorks 2018 de acuerdo con las dimensiones especificadas en la tabla por ejemplo en la siguiente figura se observa la superficie plana de la probeta que va a ser sometida a esfuerzos bidireccionales.

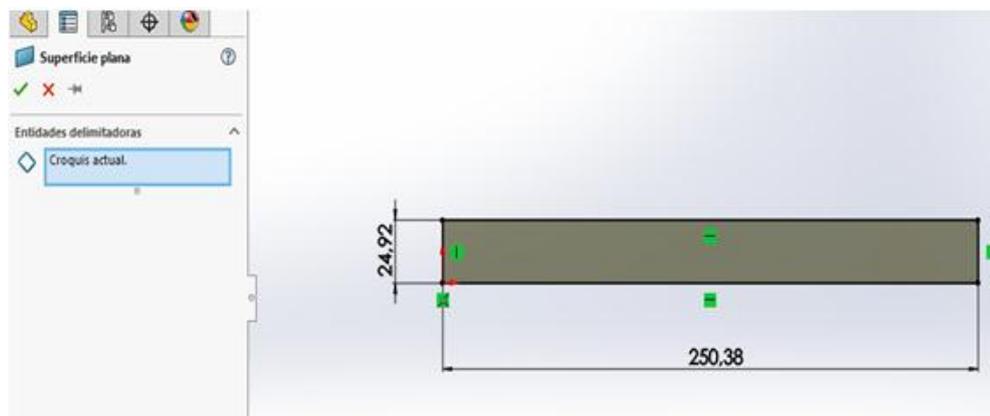


Figura 4.38 Dimensión de la probeta.

Una vez dimensionadas las probetas, es posible conformar el sólido y asignar el material en este caso fibra de Carbono con 3 capas que presenta una apariencia como se observa en la siguiente imagen.



Figura 4.39 Asignación de la fibra de carbono y sus capas.

El siguiente paso será someter a las probetas a un estudio estático.

4.10.2 ESTUDIO ESTÁTICO.

El análisis estático lineal calcula los desplazamientos, las deformaciones unitarias, las tensiones y las fuerzas de reacción bajo el efecto de cargas aplicadas.

Precisamente lo que se desea determinar son las deformaciones que sufren las probetas y donde se presentan los esfuerzos principales.

4.10.3 EL MATERIAL EN ESTE CASO ES FIBRA DE CARBONO.

El primer paso es asignar las propiedades al material como densidad y límite elástico de la fibra de Carbono.

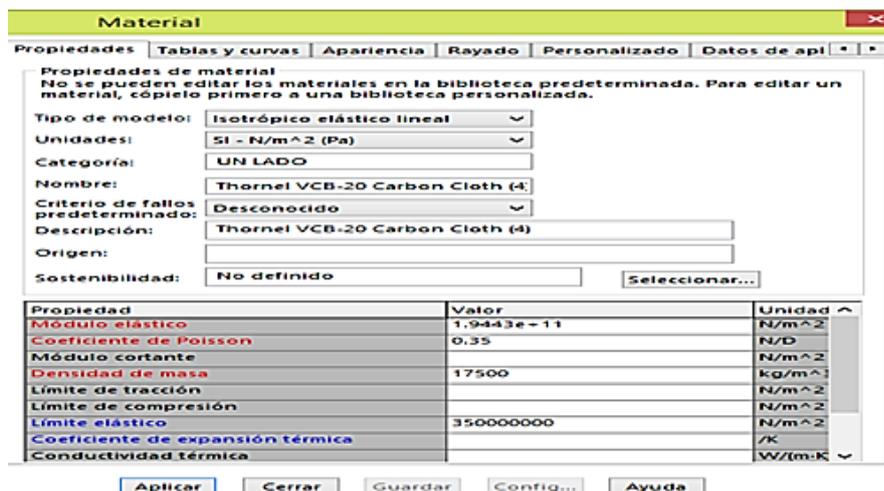


Figura 4.40 Asignación de las propiedades del material.

A continuación, ubicamos las sujeciones y la zona donde se va a aplicar la fuerza. En el gráfico se observa la zona fija de color verde y lila donde se aplica la fuerza con la dirección.

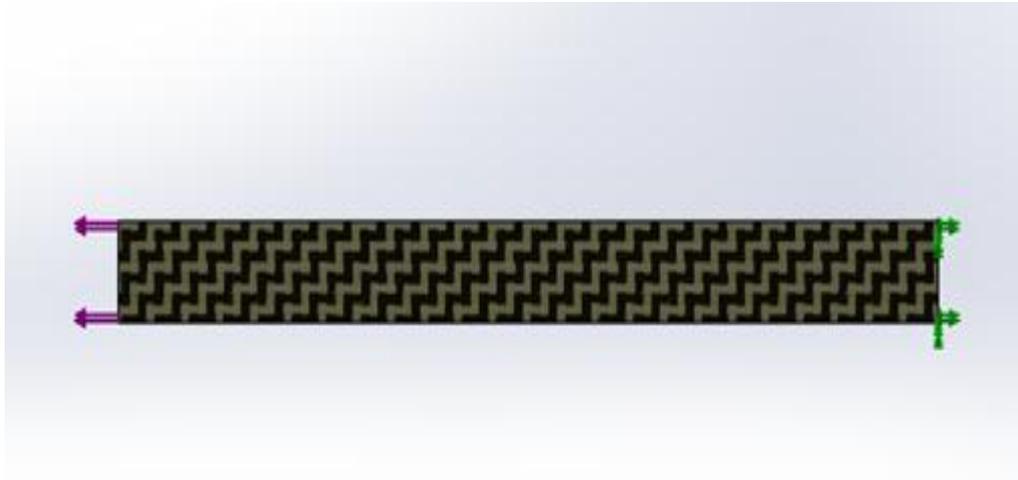


Figura 4.41 Zona de sujeción.

Una vez aplicadas las sujeciones y las fuerzas, es necesario realizar el mallado del elemento. El mallado es un paso crucial en el análisis de diseño. El mallador automático en el software genera una malla basándose en un tamaño de elemento global, una tolerancia y especificaciones locales de control de malla. El control de malla le permite especificar diferentes tamaños de elementos de componentes, caras, aristas y vértices.

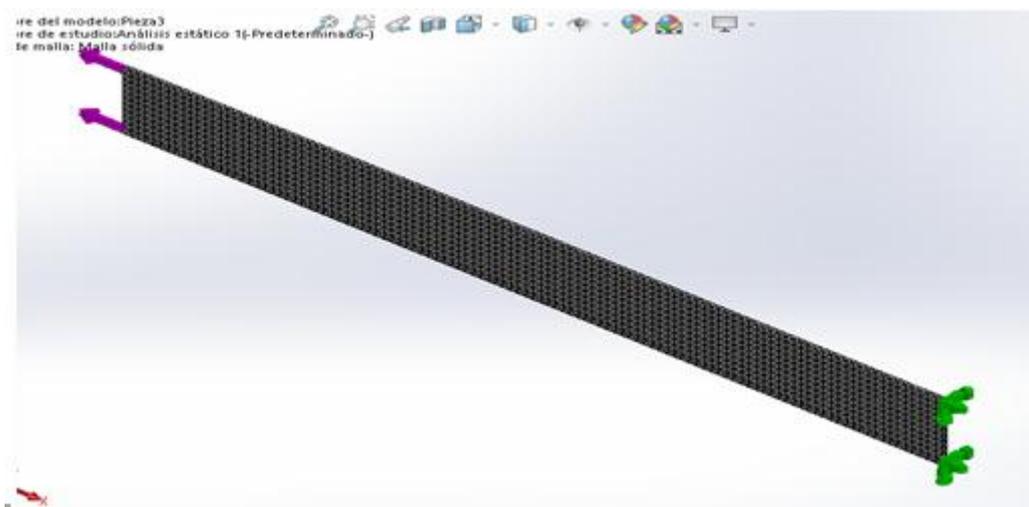


Figura 4.42 Realización del mallado.

Una vez que el mallado se haya realizado correctamente, se procede a ejecutar el estudio.

4.10.4 ENSAYO DE TRACCIÓN.

En el software SolidWorks, es factible simular el ensayo a tracción realizado en el laboratorio con la finalidad de obtener 3 resultados que son de gran importancia tales como la deformación del elemento, los esfuerzos principales y el factor de seguridad.

En la probeta que se somete a una fuerza unidireccional, la deformación máxima se presenta la deformación máxima en la zona de color rojo donde se presenta una elongación de 1,2 mm.

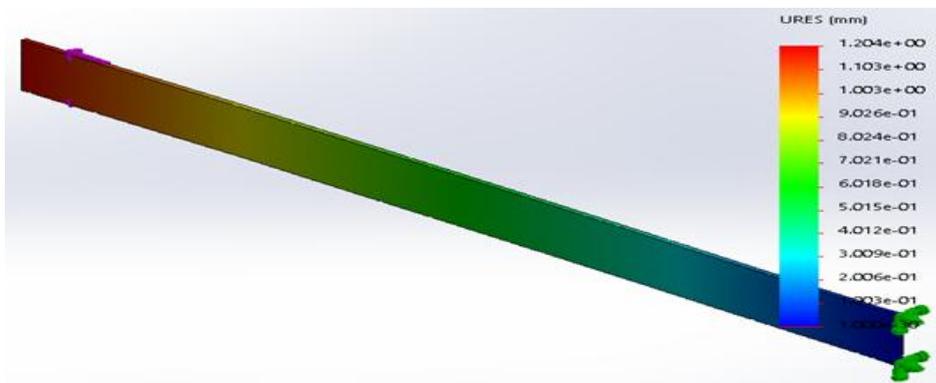


Figura 4.43 Ensayo de tracción.

En la probeta con cargas bidireccionales, la deformación máxima es en los extremos la deformación es 0,47 mm por cada lado.

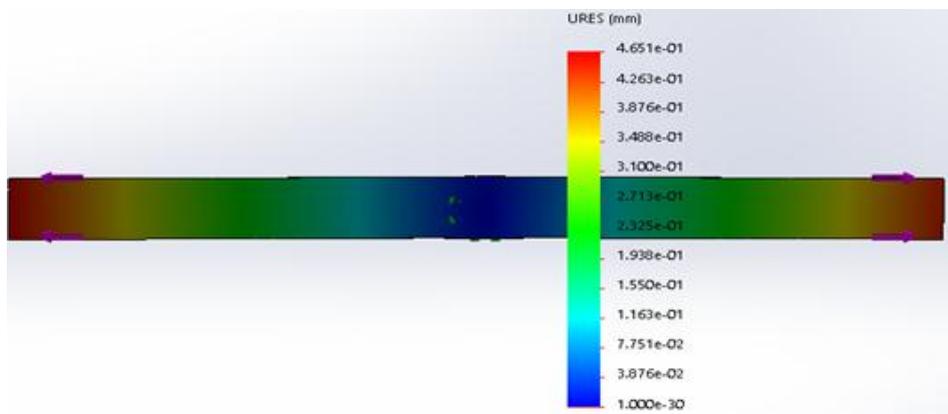


Figura 4.44 Deformación máxima.

La concentración de los esfuerzos principales se obtiene a través del criterio de máxima tensión de von Mises se basa en la teoría de von Mises-Hencky, también conocida como teoría de la energía de cortadura o teoría de la energía de distorsión máxima. Los esfuerzos máximos se observan en ambos casos de coloración roja.

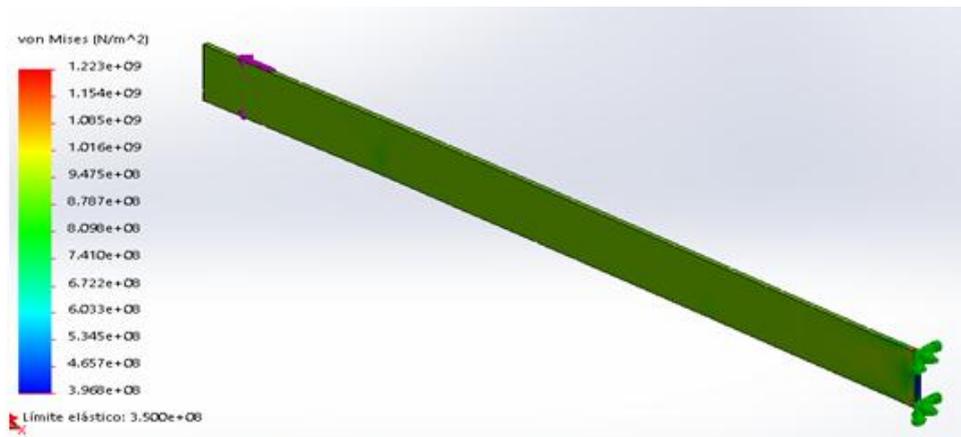


Figura 4.45 Esfuerzo máximo en un extremo.

En la figura 4.46 se refleja el estudio del ensayo de tracción simulado en el programa de SolidWorks indicándonos los esfuerzos máximos en la coloración roja.

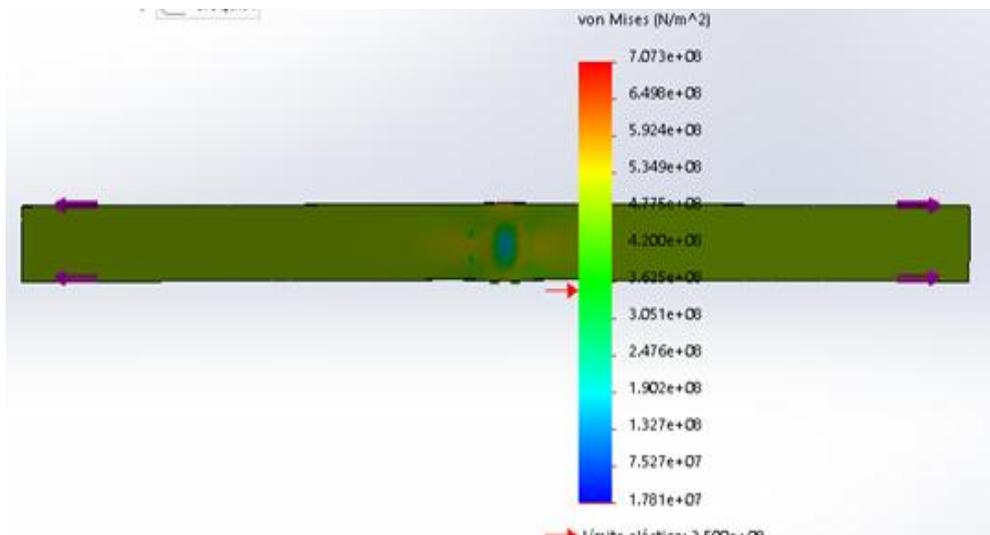


Figura 4.46 Esfuerzo máximo en los extremos.

A continuación, se va a obtener el coeficiente de seguridad conocido también como factor de diseño que es la relación entre el esfuerzo máximo en el elemento sobre el esfuerzo permisible del material. Este factor debe ser superior a 1.

En ambos casos el factor de seguridad mínimo es inferior a 1 ya que la fuerza de tracción a la que se somete el material es superior al esfuerzo permisible de la fibra de carbono, motivo por el cual el material sufrió fracturas en el banco de pruebas con la fuerza aplicada. Es obvio que, si se realizaría la misma prueba en acero, el factor de seguridad sería considerablemente inferior. El valor del coeficiente de seguridad en la probeta sometida a una fuerza unidireccional es 0,29 mientras que en la probeta con fuerza bidireccional es 0,49 como se observa en las imágenes.

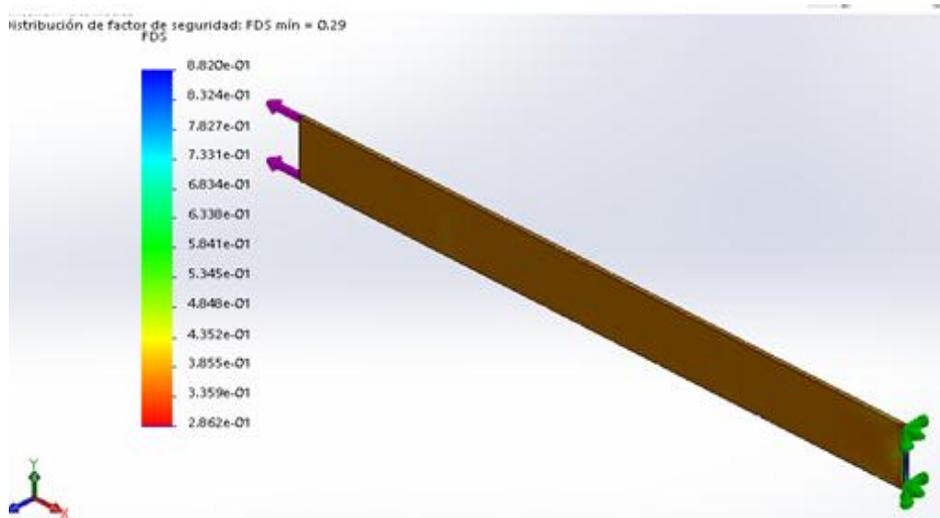


Figura 4.47 Coeficiente de seguridad en una dirección.

En la figura 4.48 se observa el coeficiente de seguridad que tiene la fibra en dos direcciones con un factor de seguridad de 0.49.



Figura 4.48 Coeficiente de seguridad en dos direcciones.

CAPÍTULO V

5.1 TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.2 TABULACIÓN DE RESULTADOS.

Los aceros Bake Hardening de ArcelorMittal tienen un aumento de límite elástico por su tratamiento especial a bajas temperaturas, buscando reducir el espesor de las chapas y aumentar la resistencia a la deformación.

En la tabla 2-11 determina los resultados del acero al estar sometido a esfuerzo de tracción. ArcelorMittal al ser una empresa líder en el mercado de la industria carrocera se tomó como referencia para el análisis de nuestro estudio y poder determinar el material compuesto con nanofibra de Carbono por termoconformado para la fabricación de puertas automotrices.

Tabla 5.1 Fatiga del acero Bake Hardening.

Descripción	Espesor (mm)	Esfuerzo máx. (MPa)
260BH	1,2mm	384

Fuente: (Mittal, 2017) 82

En la tabla 4-17 detallamos los resultados obtenidos del ensayo realizado en la Escuela Politécnica Nacional en el laboratorio de Analisis de Esfuerzos y Vibraciones, la prueba de tracción en las probetas elaboradas de Nano fibra de Carbono bidireccional por termoconformado nos indica el esfuerzo máximo que soporto el material ante una carga de 3265 Lb.

Tabla 5.2 Esfuerzo máx Fibra de Carbono Bidireccional.

Descripción	Espesor (mm)	Esfuerzo máx. (MPa)
FIBRA DE CARBONO BIDIRECCIONAL	1.19	488,55

Fuente: (EPN, 2018)

El análisis realizado en la tabulación de datos obtenidos de las diferentes tablas nos indica que el material adecuado para la fabricación de puertas automotrices es la fibra de Carbono, ya que presenta propiedades es tres veces resistente y

más liviano con una densidad de 4.5, la fibra de Carbono posee propiedades especiales como la resistencia a corrosión, inercia química, al fuego conductividad eléctrica. El vehículo automotriz al estar dotado de piezas de fibra de carbono protegerá el medio ambiente debido que reducirá de gran manera las emisiones CO2 y lo más importante la seguridad que generan ante un impacto al absorber gran cantidad de energía, evitando que la descarga de energía sea directamente a los ocupantes del vehículo.

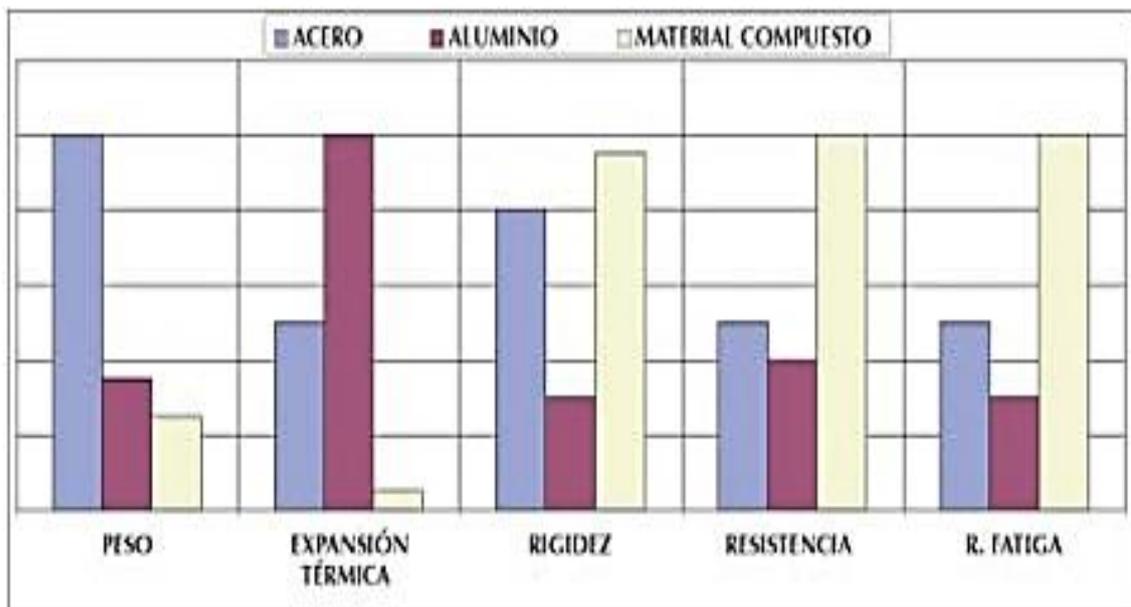


Figura 5.1 Propiedades de los Materiales

Fuente: (González A. , 2011), pág. 2

El estudio realizado generó datos que validan el uso de materiales compuestos en el vehículo como en el caso de puertas automotrices. La fibra de Carbono bidireccional tiene un comportamiento diferente que la fibra de Carbono unidireccional debido al astillamiento que puede producirse ante un impacto lateral.

Los límites de esfuerzo máximo que soporta un material ante una carga tiene un determinado comportamiento, la fibra de Carbono bidireccional es adecuada para la fabricación de puertas debido a que su astillamiento es leve y no genera daños al ocupante del vehículo, los datos que generan la siguiente tabla son reales y nos indican que el esfuerzo máximo a tracción que tiene la fibra de carbono bidireccional es más elevado que el acero bake Hardening que se utiliza para la fabricación de puertas automotrices

Tabla 5.3 Obtención general de resultados.

Descripción	Espesor (mm)	Esfuerzo máx. (MPa)
Acero original para fabricación de puertas automotrices. 260BH	1,2	384
Material propuesto (Fibra de Carbono Bidireccional)	1.19	488,55

En la tabla 2.11 La empresa ArcelorMittal con su extenso catálogo de materiales para la industria carrocera, determina que el acero Bake Hardening utilizado en el piso del habitáculo del Vehículo se someten a esfuerzos de deformación del material, el acero utilizado se somete a esfuerzos de tracción para determinar el límite de tracción que posee y así el material salir a al mercado.

Tabla 5.4 Esfuerzo de deformación acero Bake Hardening Piso.

Descripción	Espesor (mm)	Esfuerzo máx. (MPa)
180BH	0.8	334

Fuente: (Mittal, 2017), pág. 82

El acero Bake Hardening utilizado en el piso posee distintas propiedades a diferencia de los materiales compuestos, la resistencia que tiene la fibra de Carbono es la característica principal que poseen los materiales compuestos. La fibra de Carbono unidireccional es utilizada en la F1, mediante el estudio realizado aprendimos que el material del piso en la F1 es de fibra de Carbono unidireccional debido a su alta resistencia que la fibra de Carbono bidireccional. Las fibra de Carbono unidireccional tiene excelente rigidez a una sola dirección, esta fibra es adecuada para la construcción de pisos de vehículos debido a que la fuerza está orientada en una sola dirección, el costo y el peso es más reducido que la fibra de Carbono bidireccional, ya que la elaboración del tejido es más manejable que el tejido bidireccional.

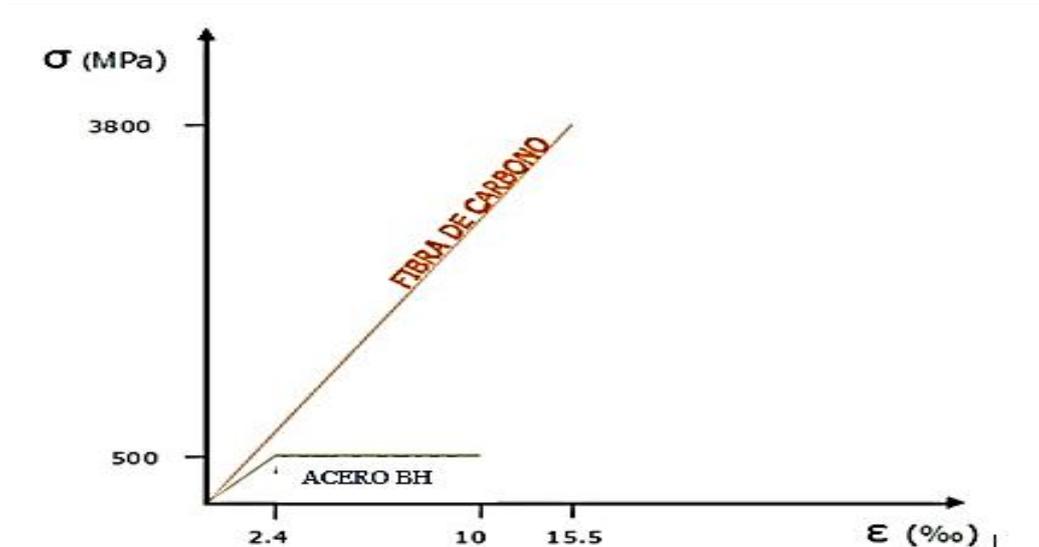


Figura 5.2 Diagrama esfuerzo Deformación

En la tabla 4.18 se describe los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en Quito en el laboratorio de Esfuerzos y Vibraciones de la EPN al someter al análisis probetas de material de fibra de Carbono unidireccional, el material utilizado se lo analizó y se determinó que es el apropiado para la elaboración de pisos de vehículos en la industria automotriz debido a que el esfuerzo que soporto de 8025 Lb.

La fibra de Carbono unidireccional es una de las más resistentes en fibras, pero cabe tomar en cuenta que la resistencia de la fibra también viene dada por la orientación de corte que tiene la fibra, es aconsejable que la fibra de Carbono unidireccional se la utilice a 45° ya que su característica a la resistencia varía de acuerdo con la orientación que se la aplique.

Tabla 5.5 Esfuerzo máx Fibra de Carbono Unidireccional

Descripción	Espesor (mm)	Esfuerzo máx. (MPa)
FIBRA DE CARBONO UNIDIRECCIONAL	1.5	923.28

Fuente: (EPN, 2018)

El estudio realizado generó datos que valida el uso de materiales compuestos en el vehículo como en el caso del piso del habitáculo del vehículo. La fibra de Carbono unidireccional tiene un comportamiento diferente que la fibra de

Carbono bidireccional debido al astillamiento que puede producirse ante un impacto central.

Los límites de esfuerzo máximo que soporta un material ante una carga tiene un determinado comportamiento, la fibra de Carbono unidireccional es la adecuada para la fabricación de pisos debido a que su resistencia es más elevada y su astillamiento es más áspero, pero no genera daños al ocupante ya que el piso no se parte y con fibra de Carbono unidireccional menos, los datos que generan la siguiente tabla son reales y nos indica que el esfuerzo máximo a tracción que tiene la fibra de Carbono unidireccional es más elevado que el acero Bake Hardening que se utiliza para la fabricación de pisos en la industria automotriz, a continuación, un detalle general del material óptimo para la construcción de piso del vehículo.

Tabla 5.6 Resultados.

Descripción	Espesor (mm)	Esfuerzo máx. (MPa)
Acero original para fabricación de pisos de vehículos. 180BH	0.8	384
Material propuesto (Fibra de Carbono Unidireccional)	1.5	923.28

El estudio realizado en el Laboratorio de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional nos indica el esfuerzo máximo que soportó los materiales de fibra de Carbono tanto unidireccional como bidireccional. Se determinó que la fibra de Carbono bidireccional es la adecuada para la elaboración de las puertas mientras que la fibra de carbono unidireccional es la aconsejable para el piso, debido a su alta resistencia a la tracción y por lo que sobre el piso se sujetan los elementos del vehículo.

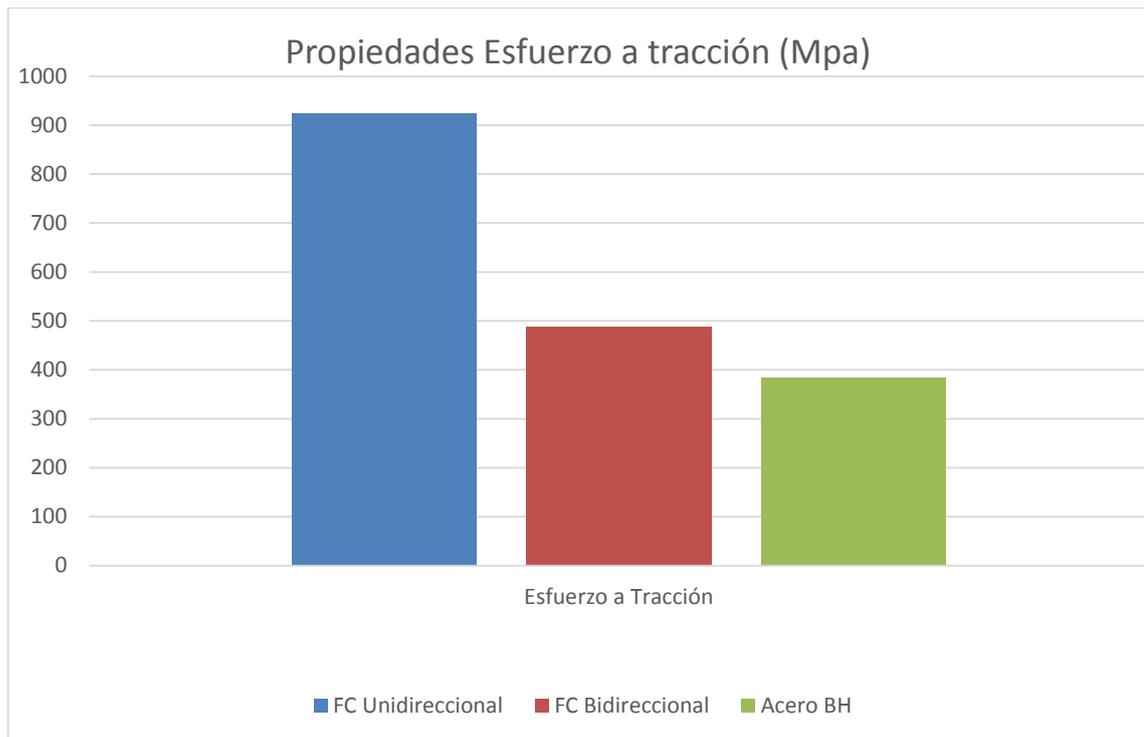


Figura 5.3 Esfuerzo a tracción MPa

Como se muestra en la tabla, el resultado obtenido de la resistencia a tracción es más elevado que la fibra de carbono bidireccional y el acero BH, por las fibras que están tejidas en un solo sentido. La fibra de Carbono unidireccional es la más adecuada para aplicaciones que necesiten alta resistencia soportando 923.28 MPa de esfuerzo a tracción con una carga de 8025 lb siendo el material más fuerte en nuestro estudio. La fibra de Carbono bidireccional es capaz de soportar un esfuerzo a la tracción de 488.55MPa con una carga de 3265 Lb.

5.1 SIMULACIÓN FACTOR SEGURIDAD SOLIDWORKS

El Software utilizado para la simulación del cálculo de SolidWorks valora la seguridad por los criterios de fallo que tiene el programa. Se puede realizar el trazo del factor de seguridad en áreas o en todo el modelo para encontrar las zonas más débiles.

Tabla 5.7 Factor de seguridad.

Descripción	Espesor (mm)	Factor seguridad
Fibra de Carbono	1.19	0.49

Las áreas azules nos enseñan las regiones seguras el factor de seguridad en la fibra de Carbono es de 0.49 en un espesor de 1.19 teniendo un factor de seguridad adecuada en la simulación SolidWorks.

CAPITULO VI

5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1.1 CONCLUSIONES.

- Para la investigación del trabajo de grado se estableció estudiar el refuerzo y la matriz para la elaboración del material compuesto, es decir, se estudió las características de la nanofibra como la composición química y su proceso de obtención esto permite conocer su calidad para sus aplicaciones en diferentes áreas, en cambio en el estudio de la matriz se debe conocer los tipos de polímeros ya que cuentan con diferentes especificaciones para cada refuerzo. Esto pasos influye en la calidad del material compuesto realizado durante la investigación en el cual se ve reflejada la resistencia a la tracción con la del acero, la NFC bidireccional posee una resistencia de 488.55 Mpa, la NFC unidireccional posee una resistencia de 923.28 MPa a comparación con la resistencia del acero de 384 MPa.
- Se determinó mediante estudios realizados las propiedades de cada fibra de Carbono bidireccional (90°), unidireccional (45°) y su matriz resina epoxi con la cual permite que el material compuesto se a más compacto, además la resina epoxi fue seleccionada por permitir la transferencia de energía a todos los tejidos durante una colisión provocando el astillamiento total de la pieza (absorción de energía) y evitando lesiones al ocupante.
- Se concluyó que la elaboración del material compuesto con nanofibra de carbono por termoconformado se la realizó bajo procesos establecidos como fichas técnicas y normas. Se determinó que durante la elaboración del material compuesto es necesario basarse a las fichas técnicas para tener en cuenta las cantidades exactas de resina y endurecedor (como se muestra en el anexo) para no ocasionar causar anomalías en la mezcla por ser inflamables.
- Para determinar las propiedades mecánicas del material compuesto se sometió a ensayos de tracción (D3039M-14) y flexión (D7264-07) respectivamente mediante las normas ASTM, la cual permitió que se analicen las características de cada fibra de Carbono al soportar

diferentes cargas como se muestran en las tablas 4-26 y 4-27 del ensayo de tracción, en cambio en el ensayo de flexión se muestran en las tablas 4-39 y 4-40 respectivamente.

5.1.2 RECOMENDACIONES.

- Es necesario realizar un estudio de los componentes que se van a utilizar durante la elaboración del material compuesto, para no tener ningún inconveniente durante el proceso y obtener los resultados esperados en los ensayos. Estos parámetros se lo deben realizar para establecer la parte teórica en lo práctico para que el material elaborado cumpla con los estándares de calidad esperados.
- Se recomienda analizar detenidamente las características de cada tejido (trama, grados) de fibra de Carbono y las propiedades de la resina antes de elaborar el material ya que de esto depende su homogeneidad. Además, es necesario conocer el comportamiento del tejido según la dirección de las tramas, es decir, se debe colocar las tramas en forma transversal (según los grados del tejido) dependiendo el número de capas para generar un material compuesto más compacto.
- Se recomienda que en la elaboración del material compuesto se la debe hacer de forma minuciosa debido a que la fibra se la debe cortar con cuidado para que el tejido no tenga ningún desperdicio de la misma manera se debe realizar la mezcla de resina y el endurecedor en proporciones exactas como indica las fichas técnicas al no cumplir las especificaciones de la resina puede ocasionar incendios debido a que es altamente inflamable. Durante su manipulación es necesario utilizar equipos de protección personal como guantes, ropa, mascarilla y gafas para no producir riesgos en la salud del operario.
- En la realización de los ensayos de tracción como de flexión es necesario que las probetas cuenten con las dimensiones que establecen las normas ASTM, además para los ensayos de tracción se deben colocar pedazos de ligas en los extremos esto se debe para que las probetas tengan mejor adherencia con las mordazas de la máquina de ensayos este proceso permite tener un mejor resultado en el ensayo.
- Se recomienda seguir investigando la nanotecnología de los materiales compuestos debido a que cada día va evolucionando el campo industrial como en el área automotriz, ya que cuentan con mejores propiedades que

los materiales convencionales por lo cual se sugiere a futuros estudiantes seguir investigando esta nueva tecnología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. America, C. F. (2017). *Productos de Fibra de Carbono*. Obtenido de <http://www.cfamills.com/?lang=es>
2. Andrade, A., & Jaramillo, G. (octubre de 2009). *Tesis*. Obtenido de <dspace.espoeh.edu.ec/bitstream/123456789/133/1/65A00005.pdf>
3. Antonio, M. (2017). *Materiales Compuestos*. Zaragoza: Reverte.
4. ASTM. (2015). *Metodos de pruebas Standar para Materiales compuestos*. USA.: ASTM.
5. Autofacil. (17 de 3 de 2013). *Qué tipos de prueba realiza euroNCAP*. Obtenido de www.autofacil.es/seguridad/2013/03/17/tipos-prueba-realiza-euroncap/13302.html
6. Barroso, I. (2014). *Introducción al conocimiento de materiales*. Madrid: UNED.
7. Bedoya, I. (2016). *Resina/ Endurecedor*. Obtenido de <http://www.carbotex.co>
8. Bueno, D., & Daniel, B. (2018). *Ciencia de los materiales*. Obtenido de www.academia.edu/8081948/Ciencia_de_los_materiales_LA_FIBRA_DE_CARBONO
9. Carbono, P. (2014). *Pareja de Puertas delanteras carbono*. Obtenido de http://www.puzzlecarbono.com/contact_us.php
10. Cede. (2014). *Carrocerías y bastidores*. Madrid: Centro Documentación de Estudios y Opociones.
11. Cesar, O. (2015). *Manufactura General*.
12. Chung, D. (2012). *Carbon Fiber Composites*. Washington: Butterworth.
13. Dávila, W. (21 de Diciembre de 2015). *Automoción y más*. Obtenido de automocionymasswatsond.blogspot.com/2015/
14. Diaz, I. (Diciembre de 2012). *Tipos de aceros empleados en el automovil y sus propiedades*. Obtenido de www.israleldiro.blogspot.com/2012/12/tipos-de-acero-empleados-en-el.html
15. EPN. (2018). *Ensayos de Traccion y Flexion a probetas de material compuesto*. Quito.
16. Garcia, A. (12 de 10 de 2017). *Accidentes F1*. Obtenido de https://www.elconfidencial.com/deportes/formula-1/2017-10-12/f1-palmer-dinero-resultados-categorias-inferiores_1459814/
17. Gómez, J. (10 de 10 de 2014). *Accidentes de F1*. Obtenido de <https://www.autobild.es/noticias/los-accidentes-de-formula-1-mas-peligrosos-en-20-anos-3657>

18. Gómez, T., & etal. (2011). *Estructuras del vehículo*. Madrid: Paraninfo.
19. Gomez, T., & etal. (2012). *Estructuras del Vehiculo*. España: Poligono Alparrache.
20. González, A. (4 de 11 de 2011). *Innovaciones tecnológicas*. Obtenido de <http://elrayomcqueen.blogspot.com/2011/09/innovaciones-en-la-industria-automotriz.html>
21. González, V. (22 de 5 de 2015). *Nanomateriales de carbono, síntesis, funcionalización y aplicaciones*. Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/21605#preview>
22. Hull, D. (2010). *Materiales Compuestos*. Barcelona: Reverte.
23. INEN. (2013). *VEHICULOS AUTOMOTORES. FABRICANTES CARROCERIAS DE BUSES*. Quito: Asociados editores .
24. ISO. (2016). *Organizacion Internacional de Normalización*. Switzerland : AENOR.

25. Jimenez, M. (Octubre de 2007). *Tesis*. Obtenido de www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/39/036/39036380.pdf
26. Karina. (2013). *Fibras Sintética*. Obtenido de <https://kary0.webnode.mx/fibra-de-carbono/proceso-de-obtencion/>
27. Mariano. (18 de Noviembre de 2011). *Tecnología de los plásticos*. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/11/fibra-de-carbono.html>
28. Marin, A. (2016). *Soldadura y Estructuras* . Obtenido de soldadurayestructuras.com/clasificacion-de-los-aceros.html
29. Martinez, G. (16 de Marzo de 2014). *SlideShare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/gonzalomartinezbarre/fibras-de-carbono>
30. Materia, T. (2018). *Total Metals*. Obtenido de <http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=Library&LN=ES>
31. Maza, J. (2013). *Diseño de un sistema de gestión de calidad para la empresa carrocerías Olimpica*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4789/6/UPS-CT002642.pdf>
32. Mittal, A. (2017). *Extracto Del Catalogo de productos*. Chicago: Automotive worldWide.
33. NCap, E. (2015). *Protocolos*. Europa: Euro NCAP.
34. Núñez, L. (2014). *Tesis*. Obtenido de http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:_d35-DWUJZUJ:repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8327/1/Tesis%2520I.%2520M.%2520226%2520-

[%2520N%25C3%25BA%25C3%25B1ez%2520Barrilga%2520Ludwin%2520Daniel.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec](#)

35. Pérez, C. (3 de Enero de 2000). *Los plásticos en el automóvil y su reparación*. Obtenido de www.centrozaragoza.com:8080/web/sala_prensa/revista_tecnica/hemeroteca/articulos/R3_A1.pdf
36. Puente, H. (19 de Mayo de 2014). *Materiales en la fabricación de cuadros*. Obtenido de <http://blog.nbici.es/2014/05/09/materiales-en-la-fabricacion-de-cuadros-mtb-propiedades-de-los-materiales-parte-ii/>.
37. Rodriguez, A. (Julio de 2007). *Obtención de materiales compuestos de matriz polimerica reforzados con nanofibra de carbono mediante termoconformado*. Obtenido de Tesis: https://www.researchgate.net/profile/Alvaro_Rodriguez-Prieto/publication/303924077_Obtencion_de_materiales_compuestos_de_matriz_polimerica_reforzados_con_nanofibra_de_carbono_mediante_termoconformado/links/575e932708ae414b8e542a78/Obtencion-de-materiales-
38. Rodriguez, H. (31 de Enero de 2018). *Ingemecánica*. Obtenido de www.ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn69.html
39. SolidWorks, C. (2014). *Guía del estudiante para el aprendizaje del Software SolidWorks*. Massachusetts: Concord .
40. Yeaguer, G. W. (2005). *Composiciones termoendurecibles con base de éster cianato*. España: Oficina Española de Patentes y Marcas.

ANEXOS

Anexo 1: Informe técnico EPN.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA 
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

INFORME TÉCNICO
 LAEV – ENE.18.16.0
 Quito, 16 de enero de 2018

TRABAJO SOLICITADO POR: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

ORDEN DE TRABAJO Nº 0005713

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de material compuesto pertenecientes a Cristian Alonso Quiroz Valencia y Luis Germán Castro Amaguaña para el proyecto de titulación: "ELABORACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO CON NANOFIBRA DE CARBONO POR TERMOCONFORMADO". Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

RESULTADOS

1. **MUESTRAS:** Diez (10) muestras de material compuesto para ensayo de tracción y diez (10) muestras de material compuesto para ensayo de flexión.

2. **ENSAYO DE TRACCIÓN**
 En la tabla 1 se presenta los resultados del ensayo de tracción realizado a las muestras.

Tabla 1. Resultados del ensayo de tracción.

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción	
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa
FC-B1	24,43	1,19	3.500	15.569	77,7	535,5
FC-B2	24,78	1,19	2.850	12.677	62,4	429,9
FC-B3	25,07	1,21	3.425	15.235	72,8	502,2
FC-B4	25,83	1,21	3.550	15.791	73,3	505,2
FC-B5	24,5	1,16	3.000	13.345	68,1	469,6
FC-U1	25,33	1,68	9.275	41.257	140,6	969,5
FC-U2	25,84	1,54	8.000	35.586	129,7	894,3
FC-U3	26,31	1,21	6.050	26.912	122,6	845,3
FC-U4	26,01	1,54	8.400	37.365	135,3	932,8
FC-U5	25,24	1,52	8.400	37.365	141,3	977,9




Orden Nº. 0005713

Figura A1.1. Informe Técnico de ensayo de tracción y flexión.

Fuente: (EPN, 2018)

3. ENSAYO DE FLEXIÓN

En la tabla 2 se presenta los resultados del ensayo de flexión realizado a las muestras de material compuesto. La distancia entre apoyos es de 64 mm.

Tabla 2. Resultados del ensayo de flexión.

Id.	Base promedio	Altura promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la flexión	
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa
FC-B1	12,65	0,92	14	61	79,1	545,4
FC-B2	12,65	1,00	19	85	93,6	645,1
FC-B3	13,07	0,85	13	57	84,8	584,5
FC-B4	13,00	0,88	12	55	76,1	524,5
FC-B5	12,98	1,03	10	47	47,2	325,4
FC-U1	12,95	1,30	34	151	96,0	661,6
FC-U2	12,95	1,35	52	231	136,2	938,9
FC-U3	12,95	1,20	27	120	92,3	636,3
FC-U4	12,95	1,20	22	96	71,6	493,3
FC-U5	12,98	1,25	33	145	99,5	686,3

En el anexo se presenta fotografías del montaje de las muestras en la máquina universal de ensayos.

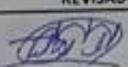
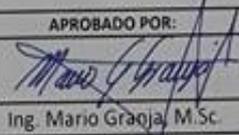
	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:		
Nombre:	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ing. Mario Graña, M.Sc.
Cargo:	TÉCNICO DOCENTE	JEFE
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES		



Figura A1.2 Informe Técnico del ensayo realizado de tracción y flexión.

Fuente: (EPN, 2018)

ANEXO



Fotografía 1. Montaje de la muestra de tracción en la máquina universal de ensayos.



Fotografía 2. Muestras de tracción ensayadas en la máquina universal de ensayos.



Fotografía 3. Montaje de la muestra de flexión en la máquina universal de ensayos.

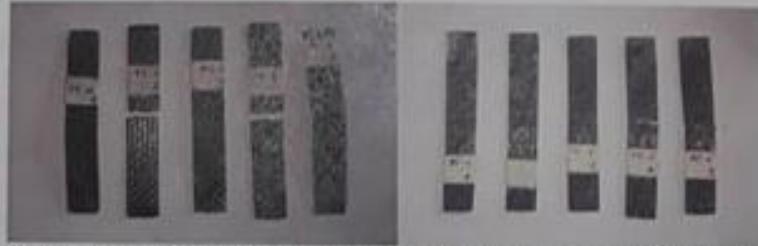


LAEV-EPN
Orden N°: 0005713

Página 3 de 4

Figura A1.3 Informe Técnico del ensayo realizado de tracción y flexión.

Fuente: (EPN, 2018)



Fotografía 4. Muestras de flexión ensayadas en la máquina universal de ensayos.



LAEV-EPN
Orden N°: 0005713

Página 4 de 4

Figura A1.4 Informe Técnico del ensayo realizado de tracción y flexión.
Fuente: (EPN, 2018)

Anexo 2: Ficha técnica NFC (Bidireccional).



Style: 1102-05

Fiber:	Warp Yarn:	3k Carbon
	Fill Yarn:	3k Carbon
Fabric Weight, Dry:		198 GSM / 5.8 oz
Weave Style:		Plain
Nominal Construction:	Warp Count:	12.5 / In
	Fill Count:	12.5 / In
Fabric Width:		50"

Please Contact Us For Additional Information

Composite Fabrics of America
PO Box 609
105 Pierpoint Lane
Taylorsville, NC 28681
828-632-5220 Office
828-632-5464 Fax
www.cfamilis.com
www.Textral.com
Made in the United States of America

Figura A2.1 Ficha técnica NFC (Bidireccional).

Fuente: (CFA, 2017)

Anexo 3: Ficha técnica NFC (Unidireccional).



Style: 1033-01

Fiber:	Warp Yarn:	12k Carbon
	Fill Yarn:	Low Melt Fiberglass
Fabric Weight, Dry:		325 GSM / 9.6 oz
Weave Style:		Unidirectional
Nominal Construction:	Warp Count:	10 / in
	Fill Count:	3 / in
Fabric Width:		12"

Please Contact Us For Additional Information

Composite Fabrics of America
PO Box 609
105 Pierpoint Lane
Taylorsville, NC 28681
828-632-5220 Office
828-632-5464 Fax
www.cfamills.com
www.Textral.com
Made in the United States of America

Figura A3.1 Ficha técnica NFC (Unidireccional).

Fuente: (CFA, 2017)

Anexo 4: Ficha técnica resina/endurecedor (matriz).



**Ficha Técnica
RESINA / ENDURECEDOR
SC 120**

GENERALIDADES

Es un sistema epóxico formulado de baja viscosidad, alta resistencia mecánica, multipropósito, de excelente compatibilidad con la fibra de carbono y otros tipos de cargas, baja contracción y alta estabilidad dimensional.

APLICACIONES

Relleno de moldes de embutición, cerámica, metalmecánica, fundición, fabricación de placas modelo, moldes, prototipos y herramientas auxiliares.

PROPIEDADES

Por su viscosidad es fácil posee buenas propiedades de humectación en fibras y demás cargas.

Ofrece excelentes propiedades mecánicas, mínimo encogimiento y alta estabilidad dimensional.

Las mejores propiedades se logran a los siete (7) días después de curada la mezcla a temperatura ambiente.

CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS

	Resina	Endurecedor
Apariencia	Ambar translúcido	Ambar translúcido
Viscosidad a 25°C (mPas)	1375 –1625 m Pas	370 –470 m Pas
Densidad a 25°C (g/cm3)	1.1 – 1.15 gr/cm3	1.0 - 1.05 gr/cm3

Figura A4.1 Ficha técnica resina/endurecedor (matriz).

Fuente: (Bedoya, 2016)



Ficha Técnica RESINA / ENDURECEDOR SC 120

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

Tiempo de vida útil (para 500 gr. de mezcla) a 25°C	20 – 30 minutos
Proporción de la mezcla	100 partes en peso de Resina 20 partes en peso de Endurecedor
Tiempo de curado	Después de 24 Horas
Viscosidad a 25°C	1200 – 1400 m Pas

PROCESO DE LA MEZCLA

Cuando aplique varias capas, se debe esperar que esté al tacto una capa para aplicar la siguiente.

Debe esperarse un tiempo mínimo de 24 horas a temperatura ambiente para desmoldar la pieza. Cuando no se cumple lo anterior, se pueden presentar modificaciones dimensionales en la pieza (contracciones).

INDICACIONES GENERALES

ALMACENAMIENTO:

Tanto la resina como el Endurecedor deben ser almacenados en lugares secos a temperatura entre 18° C y 25°C en sus envases originales y bien sellados. Los envases parcialmente llenos deben ser usados lo antes posible ya que la humedad puede alterar el producto.

La vida de almacenamiento en sus envases originales es de un año.

Figura A4.2 Ficha técnica resina/endurecedor (matriz).

Fuente: (Bedoya, 2016)



Ficha Técnica
RESINA / ENDURECEDOR
SC 120

PRECAUCIONES DE MANEJO:

Las resinas epóxicas y sus endurecedores son productos químicos y por lo tanto deben seguirse las precauciones de manejo indicadas por el fabricante.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD:

Es corrosivo. Puede causar irritaciones severas en la piel y en los ojos.
No haga contacto con los ojos, piel y la ropa. No inhale vapores.
Mantenga el recipiente bien cerrado cuando no lo esté usando o durante el transporte.
Después de manejar el producto lávese muy bien.

PRIMEROS AUXILIOS:

Si presenta contacto con:

Ojos: Lávese inmediatamente con agua por un tiempo no menor a 15 minutos.
Acuda inmediatamente al médico.

Piel: Lávese inmediatamente y en forma abundante con agua y jabón.

Inhalación: Salga inmediatamente a un sitio donde haya aire fresco. Suministre oxígeno si hay dificultad para respirar.

Ingestión: Si la persona está conciente, suministre abundante agua. Acuda inmediatamente al médico.

Figura A4.3 Ficha técnica resina/endurecedor (matriz).

Fuente: (Bedoya, 2016)

Anexo 5: Tipos de fibra de carbono.



Types of Carbon Fiber

TORAYCA® carbon fibers are designated by two main types:

- T series high strength fibers with both standard and intermediate modulus values
- M series intermediate and high modulus fibers, including higher strength MJ series fibers.
- A summary data sheet of the entire TORAYCA® carbon fiber product line is available [here](#).

See below for additional information, including product data sheets, to assist you in selecting the correct TORAYCA® carbon fiber for your specific application.

Note that all values listed on these data sheets are typical lot average properties and do not guarantee any specific values. Data sheet values are to be used for material selection purposes only and not for design. If your application requires guaranteed values, please contact a member of our sales and technical team. They will assist you in establishing a material specification for your application.

Standard Modulus Carbon Fibers

Standard modulus carbon fibers typically exhibit a fiber modulus of 33-34 msi, or slightly higher. These are the most cost-effective fibers as measured by tensile strength or modulus per unit cost. Toray's T300 standard modulus carbon fibers are a recognized industry standard, having been in production for over 30 years. T700S is the highest tensile strength, standard modulus carbon fiber available in the industry. Standard modulus carbon fibers are available in tow sizes from 1K to 24K.

- T300 - Baseline carbon fiber used in aerospace applications with over 20 year service history. Has 30 year production history and is known for balanced composite properties, high quality and consistency, reliability and availability of supply. Available in 1K, 3K, 6K and 12K tow sizes. [View Datasheet](#).
- T400H - Enhanced tensile strength and modulus over T300 and T300J, specifically designed for aerospace applications. Available in 3K and 6K tow sizes. [View Datasheet](#).
- T700S - The highest strength, standard modulus fiber available, with outstanding processing characteristics for filament winding, weaving and prepregging. This never-twisted fiber is used in a variety of industrial and recreational applications, including pressure vessels such as natural gas vehicle (NGV) storage tanks and SCBA breathing tanks. Available in 6K, 12K, and 24K tow sizes. [View Datasheet](#).
- T700G - Enhanced tensile modulus and adhesion properties over T700S. Applications of this never-twisted fiber include aircraft and high performance sporting goods where demanding conditions require superior composite properties. Available in 12K tow sizes. [View Datasheet](#).

Intermediate Modulus

Figura A5.1 Tipos de fibra de carbono

Fuente: (CFA, 2017)

Intermediate modulus (IM) carbon fibers exhibit a tensile modulus of 42 msi. Originally developed for aerospace applications, IM fibers now find use in recreational and industrial applications as well. Toray offers a broad range of IM fibers with a mix of price and performance characteristics to meet the needs in a broad range of industries. Toray's IM fibers are available in 6K, 12K, 18K and 24K tow sizes.

- T800H - An intermediate modulus, high tensile strength fiber, with high level and balance composite properties. Designed and developed to meet the weight saving demands of aircraft applications. Is used in primary structure of commercial aircraft, including vertical fin and horizontal stabilizers. Available in 6K and 12K tow sizes. [View Datasheet](#).
- T800S - A very cost-effective, high tensile strength alternative to T800H. This never-twisted fiber has especially high tensile properties. Available only in a 24K tow size. [View Datasheet](#).
- T1000G - The world's highest tensile strength carbon fiber. Suitable for lightweight, tensile strength critical applications such as pressure vessels for aerospace vehicles, and satellites, as well as hydrogen storage tanks for fuel cell vehicles. Available only in a 12K tow size. [View Datasheet](#).

High Modulus Carbon Fibers

Toray's MJ and M-series high modulus carbon fibers represent the highest modulus PAN-based carbon fibers available. PAN-based high modulus fibers are superior to pitch-based fibers due to tensile and compressive strengths that are often times more than twice that of a corresponding pitch-based fiber. The MJ series fibers offer enhanced tensile strength and elongation over M series fibers. They are typically used in stiffness and coefficient of thermal expansion (CTE)-critical applications such as spacecraft, premium sporting goods and industrial rollers.

Fiber	Tensile Modulus (msi)	Tensile Strength (ksi)	Datasheet
M35J	50	683	View Datasheet
M40J	55	640	View Datasheet
M46J	63	611	View Datasheet
M50J	69	597	View Datasheet
M55J	78	583	View Datasheet
M60J	85	569	View Datasheet

High Strength Carbon Fibers

Toray offers the highest tensile strength and highest strain-to-failure carbon fibers available in the world. With the exception of T1000G, each of the fibers listed below is produced as a never-twisted fiber.

- T700S - The highest strength, standard modulus fiber available, with outstanding processing characteristics for filament winding, weaving and prepregging. This never-twisted fiber is used in a variety of industrial and recreational applications, including pressure vessels such as natural gas vehicle (NGV) storage tanks and SCBA breathing tanks. Available in 6K, 12K, and 24K tow sizes. [View Datasheet](#).
- T800S - A very cost-effective, high tensile strength alternative to T800H. This never-twisted fiber has especially high tensile properties. Available only in a 24K tow size. [View Datasheet](#).
- T1000G - The world's highest tensile strength carbon fiber. Suitable for lightweight, tensile strength critical applications such as pressure vessels for aerospace vehicles, and satellites, as well as hydrogen storage tanks for fuel cell vehicles. Available only in a 12K tow size. [View Datasheet](#).

Figura A5.2 Tipos de fibra de carbono

Fuente: (CFA, 2017)

Anexo 6: Total Materia.

Más de 12 millones de registros de propiedad para más de 450,000 materiales metálicos y no metálicos presentado en 26 lenguas

- ✓ Propiedades para más de 450.000 Materiales
- ✓ Más de 2.000 Fuentes de Datos Avanzados
- ✓ Metales, Polímeros, Cerámicas, Compuestos
- ✓ Más de 150.000 Curvas de Tensión-Deformación
- ✓ 69 Organizaciones de Desarrollo de Estándares
- ✓ Más de 15.000 Materiales con Propiedades Cíclicas
- ✓ Tablas de Referencias Cruzadas Internacionales
- ✓ Estimación de Propiedades e Interpolación
- ✓ Composición Química
- ✓ Exportación de Datos a Software CAE
- ✓ Propiedades Mecánicas y Físicas
- ✓ Identificación de Materiales Desconocidos
- ✓ Múltiples Opciones de Comparación de Materiales
- ✓ Seguimiento de las Actualizaciones de Normas y Materiales

www.totalmateria.com/es

Figura A6.1 Total Materia.

Fuente: (Materia, 2018)



Designation: D 3039/D 3039M – 00^{a1}

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.

^{a1} 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 Composite 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*, $e^{transition}$ $[nd]$, 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^u —ultimate tensile strength in the test direction.

3.3.7 F^s —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 e —general symbol for strain, whether normal strain or shear strain.

3.3.21 e —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

Figura A7.2 Norma ASTM 3039

Fuente: (ASTM, 2015)

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.

Norm 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.

Norm 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 unstabbed 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_1) and width plane (B_2) 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

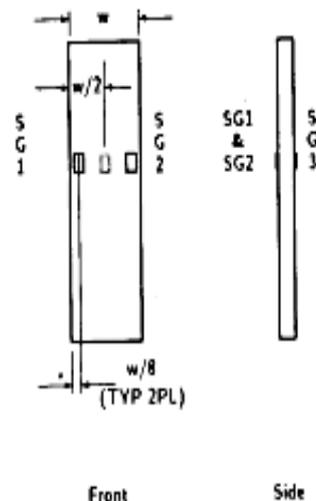


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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.

$$B_y = \frac{\epsilon_{max} - \epsilon_1}{\epsilon_{max}} \times 100 \quad (1)$$

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

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, %;
- $\epsilon_x, \epsilon_y,$ and ϵ_z = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, $\mu\epsilon$; and
- ϵ_{max} = $(|\epsilon_x| + |\epsilon_y|)/2 + |\epsilon_z|/2$.

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.

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.

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.

Figura A7.4 Norma ASTM 3039

Fuente: (ASTM, 2015)

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

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 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	±1% tab thickness
tabs:	
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.

Figura A7.5 Norma ASTM 3039

Fuente: (ASTM, 2015)



D 7264D 7264M - 07

Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fiscal 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 approval. A superscript option (c) indicates an editorial change since the last revision or approval.

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 Laminas 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_c = flexural chord modulus of elasticity

E_s = 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_{x_1} = sample standard deviation

x_i = measured or derived property

\bar{x} = sample mean

d = 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

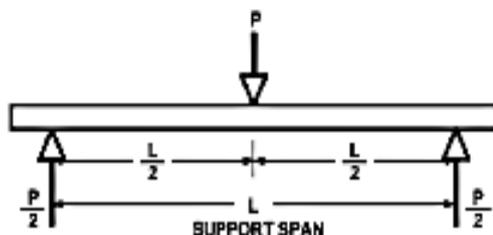


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

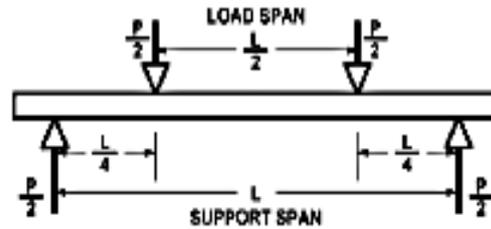


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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.

Figura A8.2 Norma ASTM D7264

Fuente: (ASTM, 2015)

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 60.02 mm [60.001 in.] is desirable for thickness and width measurement, while an instrument with an accuracy of 60.1 mm [60.004 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 61 % 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 61°C [62°F] and the required vapor level to within 63 % 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

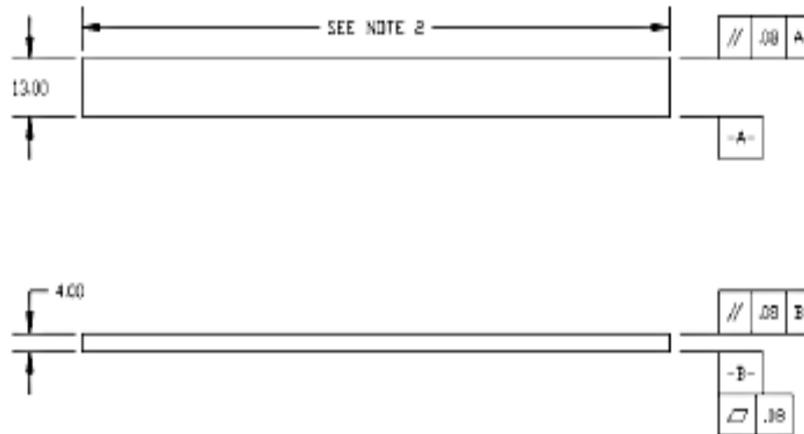
within 63°C [65°F] and the required vapor level to within 65 % relative humidity.

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)

Figura A8.3 Norma ASTM D7264

Fuente: (ASTM, 2015)

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 645° direction. The deviations from beam theory decrease with decreasing width.

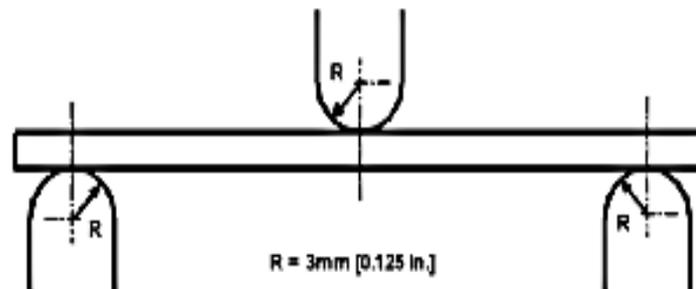
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces 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.

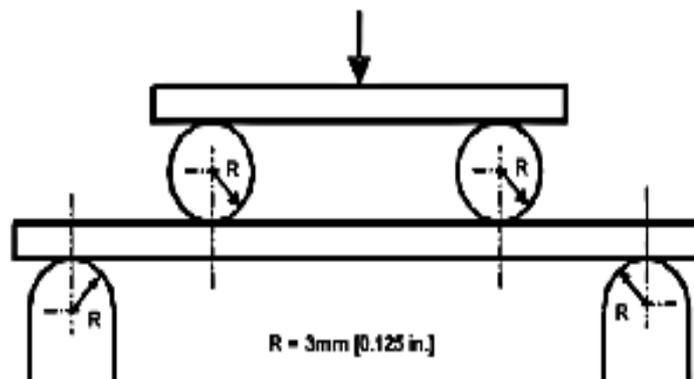
7. Apparatus

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)

Figura A8.4 Norma ASTM D7264

Fuente: (ASTM, 2015)

Anexo 9 Norma INEN 1323.



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1 323:2009
Primera revisión

VEHICULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES. REQUISITOS.

Primera Edición

ROAD VEHICLES. BUS BODIES. REQUIREMENTS

First Edition

DESCRIPTORES: Ingeniería automotriz, sistemas para vehículos automotores, carrocerías y componentes, buses, requisitos
MC: 01.01-401
CDU: 629.11.011.8
CIUF: 3843
ICS: 43.020.80

Figura A9.1 Norma INEN 1323

Fuente: (INEN, 2013)

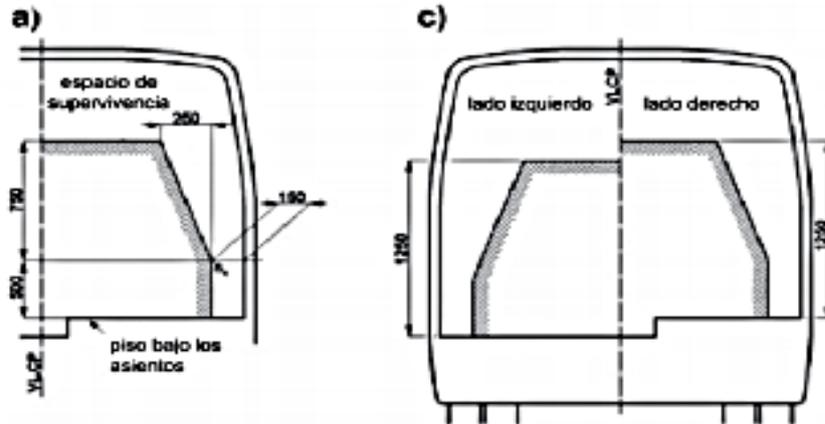
Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria	VEHÍCULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES. REQUISITOS	NTE INEN 1 323:2009 Primera Revisión 2009/02
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses para todas sus modalidades.</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma se aplica a todas las carrocerías de buses, sean importadas o de construcción nacional. (Ver nota 1).</p> <p>2.2 Esta norma incluye a las carrocerías que son parte de los chasis carrozados importados y carrocerías autoportantes</p> <p style="text-align: center;">3. DEFINICIONES</p> <p>3.1 Para los efectos de la presente NTE INEN se adoptan las definiciones establecidas en las NTE INEN ISO 3833 vigente, NTE INEN 1 155 vigente, y las que a continuación se detallan:</p> <p>3.1.1 Carga de aceleración brusca (A_b). Corresponde a la fuerza producida por la aceleración brusca del vehículo.</p> <p>3.1.2 Carga de frenado (F). Corresponde a la fuerza producida por el frenado del vehículo.</p> <p>3.1.3 Carga de giro (G). Corresponde a la fuerza producida por el giro de un vehículo.</p> <p>3.1.4 Carga por Resistencia del Aire frontal (R_w). Corresponde a la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal.</p> <p>3.1.5 Carga muerta (M). Corresponde al peso total de la carrocería en condiciones operativas, lo que incluye todos los componentes estructurales y no estructurales permanentes; es decir, la carrocería terminada con todos sus accesorios.</p> <p>3.1.6 Carga viva (V). Corresponde a la carga por ocupación y se la considerará como distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales de la carrocería.</p> <p>3.1.7 Carrocería. Conjunto de estructura, elementos de seguridad y confort que se adiciona al chasis de forma fija, para el transporte de personas.</p> <p>3.1.8 Carrocería autoportante. Aquella que en su diseño conforma el bastidor e incluye en su estructura los anclajes necesarios para el equipo mecánico y eléctrico.</p> <p>3.1.9 Bastidor o chasis. Constituye el soporte de todos los órganos principales del vehículo (motor, transmisión, suspensión sobre la que se apoya, dirección, ruedas, frenos).</p> <p>3.1.10 Espacio de supervivencia. Es el volumen que se obtiene en el compartimento de ocupantes, desplazando en línea recta el plano vertical y transversal indicado en la figura 1, de manera que se pase el punto S_R de la figura 2 desde el punto S_R del último asiento exterior a través del punto S_R de cada asiento exterior intermedio hasta el punto S_R del primer asiento exterior del ocupante.</p> <p>NOTA 1.- La definición de buses de acuerdo a la NTE INEN ISO 3833 vigente.</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p>		

Figura A9.2 Norma INEN 1323
Fuente: (INEN, 2013)

FIGURA 1. Vista transversal del espacio de supervivencia. (Ver nota 2)

Especificación del espacio de supervivencia

a) y c) disposiciones laterales



NOTA 2. El objetivo de las figuras 1 y 2 es indicar las dimensiones en milímetros del espacio de supervivencia. Las figuras 1 y 2 no están relacionadas con una forma geométrica o distribución de asientos específica en las carrocerías.

(Continúa)

Figura A9.3 Norma INEN 1323

Fuente: (INEN, 2013)

FIGURA 2 Vista longitudinal del espacio de supervivencia

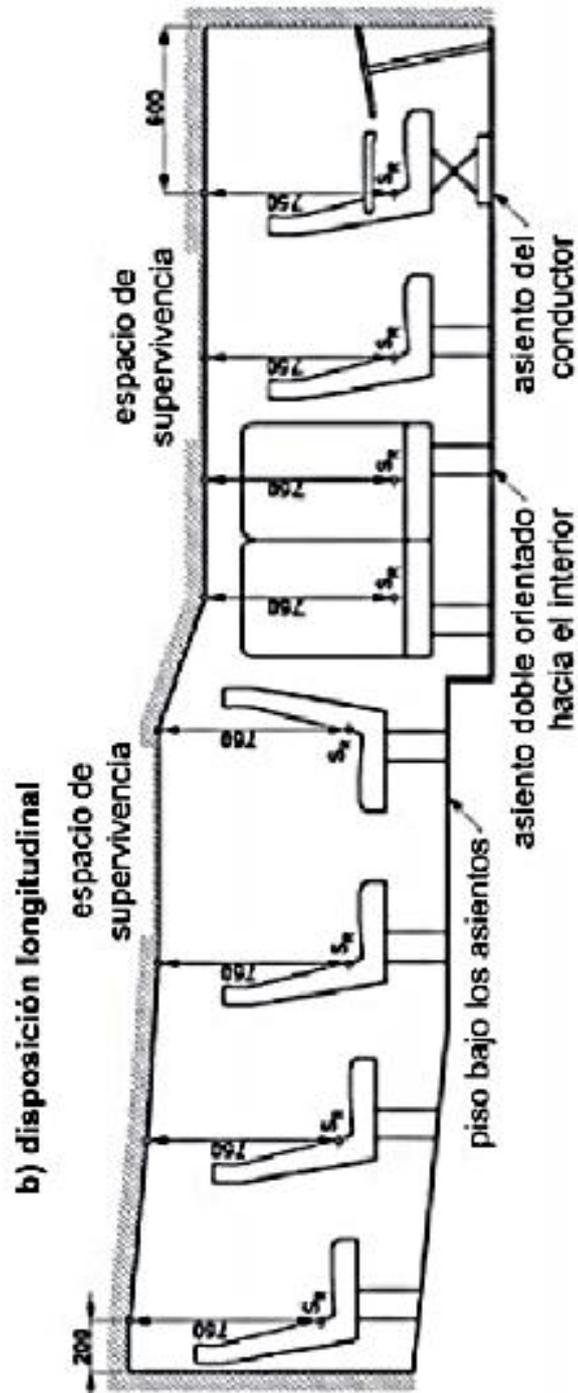


Figura A9.4 Norma INEN 1323

Fuente: (INEN, 2013)

3.1.11 Peso máximo admisible para el chasis. Conocida también como capacidad de carga. Es la carga útil máxima emitida para la cual fue diseñado el vehículo. Este valor es proporcionado por el fabricante del chasis.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 Consideraciones de diseño de la carrocería. Se debe considerar lo siguiente:

4.1.1 Las especificaciones del chasis, lo cual incluye:

- Tipo de Servicio de la carrocería.
- Peso bruto vehicular (PBV).
- Capacidad de carga de los ejes.
- Peso del chasis en vacío o tara, total y por ejes.
- Relación peso/potencia.

4.1.2 La estabilidad, lo cual incluye:

- Distribución de masa
- Altura del centro de gravedad
- Dimensiones de la carrocería
- Rigidez de suspensión.
- Capacidad de inclinación (rolido).

4.1.3 El confort, lo cual incluye:

- Aislamiento acústico y térmico.
- Ventilación.
- Hermeticidad.
- Ergonomía.

4.1.4 El mantenimiento, lo cual incluye:

- Accesibilidad a los elementos del vehículo.

4.1.5 La seguridad, lo cual incluye:

- Seguridad activa y pasiva.

4.1.6 Método de anclaje y montaje, lo cual incluye:

- Disposiciones y recomendaciones del fabricante del chasis (manual de carrozado).

4.1.7 Estructura, lo cual incluye:

- Materiales metálicos y no metálicos.
- Uniones y juntas.
- Tratamientos de materiales.
- Geometría.
- Resistencia estructural.

(Continúa)

Figura A9.5 Norma INEN 1323

Fuente: (INEN, 2013)

5. REQUISITOS

5.1 Estructura de las carrocerías de buses

5.1.1 Cargas de Diseño. Para el análisis cuasi estático de la estructura de la carrocería se aplicarán las cargas especificadas en el presente numeral.

5.1.1.1 Cargas vivas. Se determinarán de acuerdo con la tabla 1.

TABLA 1. Cargas vivas de diseño.

TIPO DE SERVICIO (ver nota 3)	MASA DE UN OCUPANTE (kg)	MASA MÍNIMA DE EQUIPAJE DE MANO POR PASAJERO (kg)	MASA MÍNIMA DE EQUIPAJE A TRANSPORTARSE EN BODEGAS PORTA EQUIPAJES (kg) (ver nota 4)	ESPACIO NECESARIO POR PASAJERO DE PIE (m ²)
Urbano	70	-	-	0,16
Urbano (escolar e institucional)	70	-	-	Sin pasajeros de pie
Interurbano (Intraprovincial)	70	5	100 x Vol	0,16
Larga Distancia (Interprovincial y turismo)	70	5	100 x Vol	Sin pasajeros de pie

5.1.1.2 Carga de Giro (G). Debe calcularse en función de la fuerza centrífuga que se genera al ingresar el vehículo en una curva de determinado radio de giro y a cierta velocidad. Esta fuerza centrífuga deberá ser inferior a la fuerza de vuelco, calculada sobre la base del peso total del bus a plena carga y su centro de gravedad. La velocidad crítica deberá ser considerada de al menos 90 km/h y el radio de giro se establece en función de la tabla 2.

TABLA 2.- Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera. (Ver Nota 5)

Velocidad (del vehículo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)	Peralte (%)	
80	250	8	
85	300		
90	350		
95	400		
100	450		
105	500		
110	550		
115	600		
120	700		
125	800		7,51
130	900		6,97
135	1050	6,25	
140	1250	5,49	
145	1475	4,84	
150	1725	4,29	

NOTA 3.- De acuerdo a la NTE INEN ISO 3833 vigente y al Reglamento de la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre vigente.

NOTA 4.- Vol.- Volumen de las bodegas portaequipajes en m³

NOTA 5.- Tabla determinada al documento Norma 3.1-4C

(Continúa)

5.1.1.3 Carga de frenado (F). Se asume una desaceleración mayor o igual a 4 m/s^2 (ver Nota 6).

5.1.1.4 Carga de aceleración brusca (A_b). Se calcula con el mismo criterio de la carga de frenado pero en sentido contrario.

5.1.1.5 Carga por resistencia del aire frontal (R_{af}). Se la aplicará como la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal. Se utilizará la siguiente fórmula:

$$R_{af} = (1/2) \times (C_x) \times \rho \times A_f \times V^2$$

Donde:

R_{af} = Carga por resistencia Aerodinámica, en (N).

ρ = Densidad del aire, en (kg/m^3).

V = Velocidad del aire, en (m/s). (Como mínimo 25 m/s).

A_f = Área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal, en (m^2).

C_x = Coeficiente de resistencia frontal del aire. (Como mínimo 0.7)

5.1.2 Combinaciones de cargas básicas. Las estructuras de las carrocerías deben ser diseñadas de tal manera que resistan los esfuerzos determinados en base al menos a las siguientes combinaciones de cargas básicas:

5.1.2.1 Según método ASD (Allowable strength design)

1: M

2: M + V

3: M + V + G

4: M + V + F

5: M + V + F + R_{af}

6: M + V + R_{af}

7: M + V + A_b

8: M + V + A_b + R_{af}

5.1.2.2 Según método LRFD (Load resistance factor design)

1: 1,4M+V

2: 1,2M + 1,6V + 0,5G

3: 1,2M + 0,5V + 1,6G

4: 1,2M + 1,6F + 0,8 R_{af}

5: 1,2M + 0,5 V + 0,5F + 1,3 R_{af}

6: 1,2M + 1,5 A_b + 0,5V

7: 0,9M + 1,3 R_{af}

8: 0,9M + 1,3 R_{af}

5.1.3 Factores. Los factores a utilizarse según el método ASD o LRFD serán los indicados en: Specification for Structural Steel Buildings (AISC) y North American Specification for the design of Cold Formed Steel-Structural Members (AISI).

5.1.4 Las cargas combinadas, según los dos métodos (ASD y LRFD), deben alcanzar una deformación elástica de todos los componentes de la estructura de la carrocería iguales o menores a 1/240 veces su longitud.

NOTA 6. De acuerdo con el Ensayo del Tipo 0 con motor embragado para vehículos clase N de la DIRECTIVA 88/12/CE DE LA COMISIÓN EUROPEA, Anexo 2, Ensayos de frenado y rendimiento de los dispositivos de frenado.

(Continúa)

Figura A9.7 Norma INEN 1323

Fuente: (INEN, 2013)

5.1.5 Resistencia de la estructura. Las estructuras de carrocerías deberán cumplir las siguientes condiciones:

5.1.5.1 Debe resistir una carga estática sobre el techo, equivalente al cincuenta por ciento (50%) del peso máximo admisible para el chasis, distribuido uniformemente a lo largo del mismo, sin experimentar deformaciones en ningún punto, que superen los setenta milímetros (70 mm).

5.1.5.2 Durante el ensayo de resistencia de la estructura o ni una vez finalizado el mismo, la estructura de la carrocería debe resistir para que el espacio de supervivencia no resulte invadido según el alcance del documento Regulation 68. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure de las Naciones Unidas. (Ver Nota 7)

5.1.6 Materiales de la estructura. Deben ser perfiles estructurales protegidos contra la corrosión que cumplan con las NTE INEN correspondientes vigentes. (Ver nota 8).

5.1.7 Soldadura de carrocerías. Las carrocerías de buses deben soldarse de acuerdo con las normas vigentes AWS D8.8 para componentes de acero y/o AWS D8.14 para componentes de aluminio.

5.1.7.1 El proceso y procedimiento de soldadura será calificado de acuerdo con las normas vigentes AWS D1.3 para acero, AWS D1.2 para aluminio y AWS D1.6 para acero inoxidable.

5.1.8 Manuales. El fabricante de carrocerías debe disponer y aplicar la información indicada en los manuales de fabricación y montaje de carrocerías provistos por el fabricante de chasis. Para ello el fabricante de chasis debe entregar obligatoriamente dichos manuales específicos para cada modelo de chasis.

5.2 Unión chasis-carrocería. Las uniones entre el chasis y la carrocería se realizarán siguiendo exclusivamente las recomendaciones del fabricante del chasis para bus de transporte de pasajeros, indicadas en su manual de fabricación y montaje de carrocerías de buses.

5.3 Documentos técnicos. El proveedor de carrocerías debe disponer de memorias de cálculo estructural, listado de materiales, planos de construcción dimensionales, eléctricos, y neumáticos; para cada modelo de carrocería y chasis. El formato de los planos debe cumplir con el CPE INEN 03 Código de Dibujo Técnico-Mecánico.

5.4 Vidrios de seguridad. Los vidrios deben cumplir con la NTE INEN 1669 vigente y con el RTE INEN 034 Elementos de Seguridad en vehículos automotores vigente.

5.5 Elementos de seguridad. Las carrocerías de buses deben cumplir con el RTE INEN 034 Elementos de Seguridad en vehículos automotores vigente.

5.6 Los dispositivos de alumbrado, espejos retrovisores y señalización luminosa deben cumplir con la NTE INEN 1 155 vigente y con el RTE INEN 034 Elementos de Seguridad en vehículos automotores vigente.

5.7 Otros Requisitos

5.7.1 Superficies de pisos y áreas de entrada y salida. Deben ser de material antideslizante.

5.7.2 Equipo e instalación eléctrica. Deben cumplir con lo indicado en el numeral 7.5.2 y 7.5.3 de la Directiva Europea 2001/85 CE (ver anexo A).

5.7.3 Pintura. Debe cumplir con las NTE INEN correspondientes vigentes (ver nota 8).

NOTA 7. Mientras no exista un documento normativo INEN equivalente

NOTA 8. En el caso de no existir Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN se deben utilizar las normas o reglamentos equivalentes de reconocido prestigio, tales como: ASTM, DIN, JIS, ANSI.

(Continúa)

Figura A9.8 Norma INEN 1323

Fuente: (INEN, 2013)

5.7.4 **Aislamiento térmico y acústico.** Debe cumplir con lo indicado en el numeral 7.5.1 de la Directiva Europea 2001/85 CE (ver Anexo A).

5.7.5 **Flamabilidad de materiales.** Retardante al fuego con un índice de llama no menor de 150 bajo la norma ASTM E 162 o un máximo de 250 mm/min según la norma ISO 3795.

5.7.6 **Sujeción de Parabrisas.** Debe cumplir con lo dispuesto en el documento normativo FMVSS 212 vigente.

5.7.7 Los materiales del piso, la periferia de las ventanas y de las puertas deben cumplir con las NTE INEN vigentes (ver Nota B).

5.7.8 Los sistemas eléctricos y neumáticos deben estar ocultos (ver Anexo A).

5.7.9 **Salidas de emergencia.** El número mínimo de salidas de emergencia será de acuerdo a la tabla 3.

TABLA 3. Número mínimo de salidas de emergencia

Número de pasajeros	Número total mínimo de salidas de emergencia
17-30	4
31-45	5
46-60	6
61-75	7
76-90	8
Mayor a 90	9

6. ENSAYOS

6.1 Los ensayos serán los indicados en la presente norma.

6.2 **Métodos de ensayo de resistencia de la estructura.**

La estructura del bus se ensayará por cualquiera de los métodos de ensayo contemplados en el numeral 6 del documento Regulation 68. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure, de las Naciones Unidas.

7. ROTULADO

7.1 Las carrocerías deben disponer de una placa inalterable de identificación, con fines de rastreo, de fácil acceso, visible, legible y debe disponer de al menos la siguiente información:

- Nombre de la empresa fabricante de la carrocería.
- Número de certificado de evaluación de la conformidad de la estructura (NCE).
- Capacidad de pasajeros.
- Fecha de la fabricación (de finalización) (MM/AAAA).
- Número de producción (seis dígitos alfanuméricos).
- Número de chasis (VIN)
- País de origen de la carrocería.

Tamaño mínimo de la placa: 148,5 mm de largo
105 mm de ancho (formato A6).

7.2 El fabricante será responsable de marcar el número de producción indeleblemente en al menos dos lugares de la carrocería.

(Continúa)

ANEXO A

Texto de los numerales 7.5.1, 7.5.2 y 7.5.3 de la Directiva 2001/85/CE.

7.5.1 Compartimento del motor

7.5.1.1 En el compartimento del motor no se utilizará ningún material de insonorización inflamable o susceptible de impregnarse de combustible o lubricante, salvo que dicho material esté recubierto de un revestimiento impermeable.

7.5.1.2 Se adoptarán las debidas precauciones, ya sea configurando de forma adecuada el compartimento del motor, ya sea disponiendo orificios de drenaje, para evitar en la medida de lo posible que pueda acumularse combustible o aceite lubricante en alguna parte del compartimento del motor.

7.5.1.3 Entre el compartimento del motor o cualquier otra fuente de calor (como un dispositivo destinado a absorber la energía liberada cuando un vehículo desciende por una larga pendiente, por ejemplo un ralentizador, o un dispositivo utilizado como calefactor del habitáculo, exceptuando sin embargo, los que funcionan por circulación de agua caliente) y el resto del vehículo, deberá colocarse una pantalla de separación resistente al calor. Todas las mordazas, juntas, etc. utilizadas en unión con dicha pantalla deberán ser resistentes al fuego.

7.5.1.4 Podrá instalarse en el compartimento de viajeros un dispositivo calefactor que funcione por un método distinto del de circulación de agua caliente, siempre que este rodeado de material que resista las temperaturas que produzca el dispositivo, no emita gases tóxicos y esté situado de forma que los viajeros no puedan entrar en contacto con una superficie caliente.

7.5.2 Equipo e instalación eléctricos

7.5.2.1 Todos los cables deben estar bien aislados y todos los cables y material eléctrico deben resistir las condiciones de temperatura y humedad a las que están expuestos. En cuanto al compartimento del motor, se prestará especial atención a su resistencia a la temperatura ambiente y a los efectos de todos los posibles productos contaminantes.

7.5.2.2 Ninguno de los cables utilizados en los circuitos eléctricos deben transmitir una corriente de intensidad superior a la admisible para el cable en cuestión. Habida cuenta de su forma de montaje y de la temperatura ambiente máxima.

7.5.2.3 Cada circuito eléctrico que alimente un elemento del sistema distinto del motor de arranque, el circuito de encendido (encendido por chispa), las bujías de incandescencia, el dispositivo de parada del motor, el circuito de carga y la conexión a tierra de la batería, deben estar provisto de un fusible o de un disyuntor. No obstante, podrán ir protegidos por un fusible o un disyuntor comunes, siempre que su potencia nominal no sobrepase los 16 A.

7.5.2.4 Todos los cables deben ir bien protegidos y firmemente fijados, de manera que no puedan ser dañados por cortes, abrasiones o roces.

7.5.2.5 Cuando la tensión eficaz supere los 100 voltios en uno o más de los circuitos eléctricos de un vehículo, se conectará un conmutador manual de aislamiento, capaz de desconectar dichos circuitos de la alimentación eléctrica principal, a todos los polos que no vayan conectados eléctricamente a tierra, situándolo en el interior del vehículo de modo que el conductor pueda acceder fácilmente a él, todo ello, siempre que dicho conmutador de aislamiento no pueda desconectar ninguno de los circuitos eléctricos que alimentan las luces exteriores obligatorias del vehículo. No obstante esto no será aplicable cuando se trate de circuitos de encendido de alta tensión o de circuitos autónomos incorporados a un elemento de equipo en el vehículo.

7.5.2.6 Todos los cables eléctricos deben estar colocados de tal forma que ninguna parte de los mismos pueda entrar en contacto con ningún tubo de carga de combustible ni con ninguna parte del sistema de escape, ni pueda estar sometida a calor excesivo, a menos que vayan provistos de aislamiento y protección especial, por ejemplo en el caso de una válvula de escape solenoide.

7.5.3 Baterías

7.5.3.1 Todas las baterías deben estar sólidamente fijadas y fácilmente accesibles.

7.5.3.2 El compartimento de las baterías estará separado del habitáculo destinado a los viajeros y del habitáculo del conductor y contará con ventilación por aire del exterior.

7.5.3.3 Los polos de la batería irán provistos de protección contra el riesgo de cortocircuito.

Figura A9.10 Norma INEN 1323

Fuente: (INEN, 2013)

APENDICE Z**Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR**

Código de Práctica Ecuatoriano CPE INEN 03:1989 Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1155:2008	<i>Código de Dibujo Técnico Mecánico. Vehículos automotores. Dispositivos para mantener o mejorar la visibilidad. Primera Revisión.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1669:1990	<i>Vidrios de seguridad para automotores. Requisitos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 3833:2008	<i>Vehículos automotores. Tipos. Términos y definiciones. Primera Revisión.</i>
Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE 034:2008	<i>Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores.</i>
Reglamento a la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre.	
ASTM E 162 Standard Test Method for Surface Flammability of Materials Using a Radiant Heat Energy Source.	
AWS D1.2 Structural Welding Code- Aluminium.	
AWS D1.3 Structural Welding Code- Sheet Steel.	
AWS D1.6 Structural Welding Code- Stainless Steel.	
AWS D8.8M. Specification for Automotive weld quality-Arc Welding of Steel.	
AWS D8.14M/D8.14. Specification for automotive and light truck components weld quality aluminium arc welding.	
Directiva Europea: Directiva 98/12/CE de la Comisión del 27 de enero de 1998 por la que se adapta al progreso técnico la Directiva 71/320/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los dispositivos de frenado de determinadas categorías de vehículos a motor y sus remolques.	
Directiva Europea: Directiva 2001/85/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 20 de noviembre del 2001, relativa a las disposiciones especiales aplicables a los vehículos utilizados para el transporte de viajeros con más de ocho plazas además del asiento del conductor, y por la que se modifican las Directivas 70/158/CEE y 97/27/CE.	
FMVSS 212. Federal Motors Vehicles Safety Standard 212. Windshield Mounting.	
ISO 3795. Road Vehicles, and tractors and machinery for agriculture and forestry. Determination of burning behaviour of interior materials.	
Norma 3.1-IC: Trazado. O.M. de 27 de diciembre de 1999. Boletín Oficial del Estado, número 28, de 2 de febrero de 2000. MINISTERIO DE FOMENTO (2000) Madrid.	
Regulation 66. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure	
Specification for Structural Steel Buildings. American Institute Steel Construction.	
North American Specification for the design of Cold Formed Steel-Structural Members. American Iron and Steel Institute.	

Z.2 BASES DE ESTUDIO

Regulation 36. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to their General Construction.

Figura A9.11 Norma INEN 1323

Fuente: (INEN, 2013)

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento:	TÍTULO: VEHÍCULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES. REQUISITOS	Código: MC 01.01-401
Primera Revisión		
ORIGINAL:	REVISIÓN:	
Fecha de iniciación del estudio: 2007-06	Fecha de aprobación anterior por Consejo Directivo 1985-07-05 Oficialización con el Carácter de Obligatoria Por Acuerdo No. 545 de 1985-07-31 publicado en el Registro Oficial No. 260(s) de 1985-08-29	
	Fecha de iniciación del estudio: 2007-06	
Fechas de consulta pública: de		
a		
Subcomité Técnico: Carrocerías de buses		
Fecha de iniciación: 2008-04-22	Fecha de aprobación: 2008-07-15	
Integrantes del Subcomité Técnico:		
NOMBRES:	INSTITUCIÓN REPRESENTADA:	
Ing. Alexis Ortiz, (Presidente)	CIMEPI	
Ing. Christian Villacrés	IBIMCO	
Ing. Santiago Mena	CIMEPI	
Sr. Luis A. Mosquera T.	IMETAM C.A	
Sr. Pedro Santos	COOPERATIVA ARTESANAL DE PRODUCCIÓN DE CARROCERIAS METALICAS TUNGURAHUA-IMPEDSA.	
	ARTESANOS	
Sr. Raúl Ruiz Dueñas	SIKA ECUATORIANA SA	
Sr. Johnny Lowndes	AUTEC S.A.	
Ing. Ángel Portilla	EPN-CCICEV	
Sr. Carlos Jácome	SERMAN	
Sr. Iván Paredes	CINAE	
Ing. Lenin Jiménez	L MUNICIPIO DE LOJA- UMTT-L	
Sr. Medardo Cepeda	CEPEDA CIA LTDA	
Sr. Ricardo Medina	AEADE	
Ing. James Casteline	METROVIA	
Arq. Vinicio Manzano	DIRECCIÓN NACIONAL DE TRÁNSITO	
Sr. Luis Patricio Pérez	METÁLICAS PAPER'S	
Sr. Robert Velasco	ESPE	
Sr. Jorge Enrique Salgado.	LA CASA DEL PARABRISAS Y VIDRIERIA I.S	
Sr. Carlos Laniano	ALUVID VENTANAS	
Sr. Raúl Morales	CHARLIE AUTOGLASS- CRISSETSA	
Ing. Pedro Cabrera	UMT-CUENCA	
Srte. Luis Palacios	DIRECCION NACIONAL DE TRANSITO Y TRANSPORTE TERRESTRE	
	ATTE	
Sr. Jorge Ledesma	PICOSA-CANFAC	
Sr. Bladimir Pico	CIMEG-COLEGIO DE ING. MEC. DEL	
Ing. Luigi M. Lertora Velarde	GUAYAS	
Sr. Rubén Román	DINA-VOLKSWAGEN	
Sr. Francisco Borja	COVIAL	
Sr. Moisés Flores	FAIRIS C.A.	
Ing. Jorge Álvarez	CORPAIRE	
Sr. Vicente Chávez	CÁMARA DE TRANSPORTE – TRANSPORTES	
	SAN CRISTOBAL	
Sr. Carlos Carchi	GLASSUIT LOJA	
Ing. Jorge Cevallos	D.N.T.	
Sr. Carlos Pillapa	CARROCERIAS PILLAPA	
Ing. José Sánchez López	STARMOTORS	

Figura A9.12 Norma INEN 1323

Fuente: (INEN, 2013)

Ing. Marco Grijalva	GM OBB
Ing. Victor Paredes	MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
Ing. Elizabeth Guamán	CCICEV
Sr. Francisco Velasco	MOVIMIENTO JUSTICIA VIAL
Leda. Piedad Aguilar	CANFAC
Ing. Geovany Novillo A	ESPOCH- FACULTAD INGENIERIA MECÁNICA-
Sr. Clemente Ponce	AEADE
Sr. Victor Jimenez	COVIAL
Ing. Flavio Cotacachi	CONSEJO NACIONAL DE TRANSITO Y TRANSPORTE TERRESTRE
Ing. Patricio Lara	CCICEV
Sr. Marco Garcia	ATTE ASOCIACIÓN TRANSPORTE TURÍSTICO DEL ECUADOR
Ing. Pablo Viteri	NEOHYUNDAI
Ing. Alvaro Meza	CARROCERLAS PATRICIO CEPEDA
Srta. Myriam Salgado	LA CASA DEL PARABRISAS
Ing. Santiago Benavides	CIMEPI
Ing. John A. Quintana I.	CIMEG
Ing. Diego Dávila	ANETA
Dr. Freddy Sánchez	POLISAN
Ing. Santiago Vargas	VARMA S.A.
Ing. Carlos Landires	COLEGIO DE INGENIEROS MECANICOS DEL GUAYAS-CIMEG
Ing. Galo Espin	CRILAMIT S.A.
Ing. Ángel Tierra	ESPOCH-FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Sr. Julio Llerena	CARROCERLAS JC LLERENA
Ing. Santiago Montero	SIKA
Ing. José Miranda	MIRAL
Ing. Santiago Moya	PICOSA
Sra. América Núñez	CARROCERLAS CUENCA
Ing. Antonio Chamorro	EMSAT
Sr. Marcelo Valencia r	DINA S.A.
Tlgo. Daniel Mosquera	IMETAM
Ing. Juan Revelo	ROOPTEC ECUADOR S.A.
Sr. Damián Llerena	CARROCERLAS JC LLERENA
Ing. Hugo Paredes, (Secretario Técnico)	INEN

Otros trámites:

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2008-11-28

Oficializada como: Obligatoria
 Registro Oficial No. 319 de 2009-02-02

Por Resolución No. 142-2009 de 2009-01-29

Figura A9.13 Norma INEN 1323

Fuente: (INEN, 2013)