

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA DE VIDRIO MÁS RESINA POLIÉSTER CON INCLUSIÓN DE NANOTUBOS DE CARBONO MEDIANTE ARCO ELÉCTRICO”.

AUTOR: Byron Ricardo Salazar Chuquiana

TUTOR: Ing. Mg. Juan Paredes

AMBATO – ECUADOR

2018

AUTORÍA DEL TRABAJO

Los criterios emitidos en el informe de investigación:

“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA DE VIDRIO MÁS RESINA POLIESTER CON INCLUSIÓN DE NANOTUBOS DE CARBONO MEDIANTE ARCO ELÉCTRICO”. Como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor de este trabajo de grado.

Ambato, Julio del 2018

AUTOR

.....
Byron Ricardo Salazar Chuquiana

C.I. 180410983-1

DERECHOS DEL AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigaciones según las normas de la institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos del autor.

Ambato, Julio del 2018

.....

Byron Ricardo Salazar Chuquiana

C.I. 1804109831

Autor

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el tema: “OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA DE VIDRIO MÁS RESINA POLIESTER CON INCLUSIÓN DE NANOTUBOS DE CARBONO MEDIANTE ARCO ELÉCTRICO”. Del señor **BYRON RICARDO SALAZAR CHUQUIANA**, estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica, considero que dicho informe reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación de jurado examinador designado por el H. Consejo.

Ambato, Julio del 2018

TUTOR

.....
Ing. Mg. Juan Paredes

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

El tribunal de grado aprueba el Proyecto Técnico, sobre el tema:

“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACION DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA DE VIDRIO MÁS RESINA POLIESTER CON INCLUSIÓN DE NANOTUBOS DE CARBONO MEDIANTE ARCO ELECTRICO” elaborado por Byron Ricardo Salazar Chuquiana, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Julio del 2018

Ing. Mg. Henry Vaca

Ing. Mg. Cristian Castro

DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación lo dedico a Dios, por haberme guiado en el camino del conocimiento y la sabiduría, por fortalecerme espiritualmente en los momentos de flaqueza dándome la salud y voluntad para poder llegar a cumplir mis desafíos, metas y por haberme bendecido con una gran familia e inolvidables amistades.

Al inmenso esfuerzo y sacrificio de mi madre Mariana Lourdes Salazar quien es el verdadero artífice de este logro y como olvidarme de mi esposa Ana Soledad Maisanche y mi hijo Eder Andrés Salazar M. por darme la fortaleza y confianza en cada decisión que he tomado y me apoyaron incondicionalmente.

A mis amigos, amigas quienes me brindaron su apoyo y amistad incondicional.

Byron Ricardo Salazar

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud a la Universidad Técnica de Ambato, de forma especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por haberme abierto las puertas para formar parte de ella y terminar mi vida estudiantil.

A mi madre, esposa porque fueron y siguen siendo el pilar fundamental en mi vida, sus consejos y apoyo incondicional fueron una inspiración para seguir adelante y formarme como profesional, a mis amigos porque supieron darme ánimos para seguir adelante en este difícil pero no imposible camino.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

	Pág.
PORTADA.....	I
AUTORÍA DEL TRABAJO	II
DERECHOS DE AUTOR.....	III
APROBACIÓN DEL TUTOR	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
RESUMEN EJECUTIVO	XVII
SUMMARY	XVIII
CAPÍTULO I	1
ANTECEDENTES	1
1.1. Tema	1
1.2. Antecedentes	1
1.3. Justificación	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos Específicos	3
CAPÍTULO II	5
FUNDAMENTACIÓN	5
2.1. Fundamentación Teórica	5
2.1.1. Ingeniería de Materiales.....	5
2.1.2. Materiales Compuestos	6
2.1.2.1. Definición	6
2.1.2.2. Clasificación y división de los materiales compuestos	6
2.1.2.3. Componentes de los materiales compuestos	7

2.1.2.4. Resina poliéster	10
2.1.2.5. Propiedades de la resina poliéster	11
2.1.2.6. Fibra de vidrio	13
2.1.3. Nanotubo de carbono	15
2.1.3.1. Definición	15
2.1.3.2. Métodos de obtención de nanotubos de carbono	17
2.1.3.3. Clasificación de los nanotubos de carbono	21
2.1.4. Propiedades de los nanotubos	23
2.1.4.1. Propiedades Electrónicas	23
2.1.4.2. Propiedades Mecánicas:	24
2.1.4.3. Propiedades Elásticas:	24
2.1.4.4. Propiedades Térmicas:	24
2.1.5. Propiedades mecánicas de los materiales	25
2.1.6. Ensayo de materiales	26
2.1.7. Ensayo de tracción	26
2.1.8. Ensayo de flexión	28
2.2. Hipótesis	30
2.3. Señalamiento de Variables	30
CAPÍTULO III	31
METODOLOGÍA	31
3.1. Nivel o Tipo de Investigación	31
3.1.1. Investigación Exploratoria	31
3.1.2. Investigación Descriptiva	31
3.2. Población y Muestra	32
3.2.1. Población	32
3.2.2. Muestra	32
3.3. Operacionalización de Variables	34
3.3.1. Variable dependiente: La obtención e inclusión de nanotubos de carbono mediante arco eléctrico	34
3.3.2. Variable independiente: Caracterización de materiales compuestos de fibra de vidrio más resina poliéster.	35

3.4.	Plan de Recolección de Información	36
3.5.	Procesamiento y Análisis	36
3.6.	Análisis e Interpretación de Resultados	36
CAPÍTULO IV		37
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		37
4.1.	Recolección de datos	37
4.1.1.	Flujograma para la caracterización del material en estudio	37
4.1.2.	Moldeo de probetas del material compuesto para ensayos	38
4.1.2.1.	Características de los materiales utilizados	38
4.1.2.2.	Adquisición de materiales para el moldeo	39
4.1.2.3.	Construcción del molde	39
4.1.2.4.	Dimensionamiento de probetas según norma para determinar las propiedades mecánicas, físicas del material compuesto en estudio y determinación el número de probetas requeridas para los ensayos de tracción, flexión.	40
4.1.2.5.	Propuesta de configuración del material del compuesto.	41
4.1.2.6.	Determinación de la fracción volumétrica en porcentaje del compuesto	42
4.1.2.7.	Propuesta de fracciones volumétricas de refuerzo (FV+NTC) y de matriz (rp) a utilizar en el compuesto para los primeros ensayos a tracción, flexión.	46
4.1.2.8.	Dimensionamiento de las probetas para las propiedades físicas	47
4.1.2.9.	Pruebas de moldeo para las probetas testigo (FV+RP) y probetas (FV+RP+N.T.C)).	53
4.1.2.10.	Proceso de estratificación de probetas de tracción, flexión.	53
4.1.2.11.	Ensayos y caracterización propiedades mecánicas (tracción, flexión)	54
4.1.2.12.	Resumen de ensayos de las probetas tracción del material compuesto testigo (fv+rp) y el nuevo material compuesto ((FV+RP) + NTC).	56
4.1.2.13.	Resumen de gráficas ensayos a tracción de los tres casos propuestos	65
4.1.2.14.	Deducimiento por eliminación de máximos y mínimos en valores de los ensayos a tracción.	67
4.1.3.	Ensayo a flexión del material compuesto	70

4.1.3.1. Resumen de ensayos de las probetas a flexión del material compuesto testigo (fv+rp) y el nuevo material compuesto ((FV+RP) + NTC).	72
4.1.3.2. Deducimiento por eliminacion de maximos y minimos de los ensayos a flexión del material compuesto.	80
4.1.3.3. Ensayo de adherencia entre matriz – refuerzo	84
4.2. Interpretación de datos	86
4.3. Verificación de hipótesis	87
4.3.1. Verificacion de la hipotesis con respecto al esfuerzo maximo según los ensayos de traccion.	88
CAPÍTULO V	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
5.1. Conclusiones	93
5.2. Recomendaciones	94
 MATERIALES DE REFERENCIA	
Bibliografía	95
Anexos	97

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla N° 2.1: Propiedades mecánicas de la resina Poliéster.....	12
Tabla N° 2.2: Propiedades Resina Poliéster Liquida Tereftálica RPD105ATIX. 12	12
Tabla N° 2.3: Propiedades Resina Poliéster Curada Tereftálica RPD105ATIX.. 13	13
Tabla N°2.4: Propiedades Mecánicas Resina Poliéster Tereftálica RPD105TIX 13	13
Tabla N° 2.5: Composiciones y características cristales comunes comerciales .. 14	14
Tabla N° 2.6: Propiedades físicas y mecánicas tipos de fibra de vidrio	15
Tabla N° 2.7: Propiedades Comparativas de un SWNT	24
Tabla N° 3.1: Población del Material Compuesto en Estudio	32
Tabla N° 3.2: Muestra del Material Compuesto en Estudio	32
Tabla N° 3.3: Muestra del Electrodo de Grafito en Estudio	33
Tabla N° 3.4: Operacionalización de variables: Variable independiente.....	34
Tabla N° 3.5: Operacionalización de variables Variable dependiente.....	35
Tabla N° 4.1: Pasos de construcción del molde	39
Tabla N° 4.2: Dimensionamiento probetas ensayos a tracción norma ASTM D3039-00	40
Tabla N° 4.3: Dimensionamiento probetas ensayos a flexión norma ASTM D7264 – 07	41
Tabla N° 4.4: Configuración del refuerzo.....	41
Tabla N° 4.5: Ensayos iniciales función porcentaje referencial calculado.	47
Tabla N° 4.6: Adquisición de Probetas de Muestras (270mm x 185mm x 2,5mm) y (y 180mm x 171mm x 4mm).....	47
Tabla N° 4.7: Determinación de propiedades físicas del compuesto (FV + RP). 50	50
Tabla N° 4.8: Determinación de propiedades físicas del compuesto ((FV + RP).50	50
Tabla N° 4.9: Determinación de propiedades físicas del compuesto (FV + RP+NTC 5%).....	51
Tabla N° 4.10: Determinación de propiedades físicas del compuesto (FV + RP)+NTC 5%)	51
Tabla N° 4.11: Determinación de propiedades físicas del compuesto (FV + RP)+NTC-10%).....	52

Tabla N° 4.12: Determinación de propiedades físicas del compuesto (FV + RP)+NTC).....	52
Tabla N° 4.13: Dimensionamiento de probetas para ensayos a tracción según la norma ASTM D3039-00.....	53
Tabla N° 4.14: Dimensionamiento de probetas para ensayos a flexión según la norma ASTM D7264 – 07	54
Tabla N° 4.15: Especificaciones Técnicas del Ensayo de Tracción.	55
Tabla N° 4.16: Ficha Técnica 1. Evaluación de propiedades mecánicas del ensayo a tracción de siete diferentes casos.	57
Tabla N° 4.17: Evaluación y observaciones	58
Tabla N° 4.18: Ficha técnica 2: Análisis de la Configuración de Refuerzo de Fibra de Vidrio y Nanotubos de Carbono (5%).....	59
Tabla N° 4.19: Resultados.....	61
Tabla N° 4.20: Ficha técnica 3: Análisis de la Configuración de Refuerzo de Fibra de Vidrio y Nanotubos de Carbono (10%).....	61
Tabla N° 4.21: Resultados de Propiedades Mecánicas a Tracción.	63
Tabla N° 4.22: Datos y resultados de las 5 probetas testigos.....	67
Tabla N° 4.23: Datos y resultados de las 5 probetas de Fibra de Vidrio más Resina Poliéster más Nanotubos de Carbono 5%	67
Tabla N° 4.24: Datos y resultados de las 5 probetas de Fibra de Vidrio más Resina Poliéster más Nanotubos de Carbono 10%	68
Tabla N° 4.25: Resultados Promedios de Ensayos Mecánicos a Tracción.	68
Tabla N° 4.26: Especificaciones Técnicas del Ensayo de Flexión	72
Tabla N° 4.27: Ficha técnica 1 flexión: Análisis de la configuración de Fibra de vidrio más resina Poliéster.....	73
Tabla N° 4.28: Evaluación de ensayos (Parámetros de Evaluación).	74
Tabla N° 4.29: Ficha técnica 2 de flexión: Análisis de la configuración de Fibra de vidrio más resina Poliéster más Nanotubos de Carbono en un 5%.....	74
Tabla N° 4.30: Evaluación de ensayos.....	75
Tabla N° 4.31: Ficha técnica 3 de flexión: Análisis de la configuración de Fibra de vidrio más resina Poliéster más Nanotubos de Carbono en un 10 %.....	76
Tabla N° 4.32: Evaluación de ensayos (Parámetros de Evaluación).	77

Tabla N° 4.33: Evaluación de ensayos.....	77
Tabla N° 4.34: Resultados de Ensayo a Flexión	79
Tabla N° 4.35: Ficha técnica 1 flexión: Análisis de la configuración de Fibra de vidrio más resina Poliéster con cinco valores recalculados.....	80
Tabla N° 4.36: Evaluación de ensayos (Parámetros de Evaluación).	81
Tabla N° 4.37: Ficha técnica 2 de flexión: Análisis de la configuración de Fibra de vidrio más resina Poliéster más Nanotubos de Carbono en un 5%	81
Tabla N° 4.38: Evaluación de ensayos.....	82
Tabla N° 4.39: Ficha técnica 3 de flexión: Análisis de la configuración de Fibra de vidrio más resina Poliéster más Nanotubos de Carbono en un 10 %.....	83
Tabla N° 4.40: Evaluación de ensayos (Parámetros de Evaluación).	84
Tabla N° 4.41: Resumen de resultados del esfuerzo máximo de los tres casos. .	84
Tabla N° 4.42: Resultados de los Ensayo a Tracción, Flexión de referencia de siete probetas por caso, Dureza	86
Tabla N° 4.43: Resultados de los Ensayo a Tracción, Flexión de referencia de cinco probetas por caso, Dureza	86
Tabla N° 4.44: Material compuesto testigo (FV+RP).....	88
Tabla N° 4.45: Nuevo material compuesto más nanotubos de carbono en 5% ...	89
Tabla N° 4.46: Nuevo material compuesto más nanotubos de carbono en 10% .	89

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura N°2.1: Compuestos a.) Madera Contrachapada (laminar); b.) Fibra de Vidrio + Resina Poliéster (Compuesto reforzado); c.). Concreto (compuesto particulado).....	6
Figura N° 2.2: Diferentes Materiales Compuestos de Ingeniería.	7
Figura N° 2.3: Gráfico de la estructura molecular de los termoplásticos	9
Figura N° 2.4: Estructura Molecular (Red tridimensional).....	10
Figura N° 2.5: La primeros nanotubos en forma de filamentos,.....	16
Figura N° 2.6: Los fulerenos.....	17
Figura N° 2.7: Diagrama del método de síntesis de nanotubos de carbono por descarga de arco voltaico.....	18
Figura N° 2.8: Se muestra el SWNT, que puede ser construido enrollando una hoja de grafito de tal forma que coincidan dos sitios cristalográficamente equivalentes de la red hexagonal.	22
Figura N° 2.9: De acuerdo a la forma en que es enrollada la hoja de grafito, se pueden tener 3 tipos de nanotubos de carbono.	22
Figura N° 2.10: Vista de un MWNT donde se aprecian las capas concéntricas la cual fue descubierta y sintetizada en 1991.....	23
Figura N° 2.11: Vista de un SWNT donde se aprecia la capa única que va a dar forma al nanotubo, fue sintetizada en 1993.	23
Figura N° 2.12: Determinación de un caso de tracción axial por el método de las secciones	27
Figura N° 2.13: (a) Máquina universal de ensayos Tinius Olsen “H25KS”, (b) mordazas para ensayo de tracción y (c) equipo para ensayo de flexión.	28
Figura N° 2.14: (a) Máquina universal de ensayos Tinius Olsen modelo Súper L.	28
Figura N° 2.15: Configuración de carga a flexión en tres puntos utilizada (ASTM D7264/D7264M – 07).....	29
Figura N° 4.1: Molde de Probetas para el material compuesto	39

Figura N° 4.2: Probetas Referenciales para ensayos a Tracción sin nanotubos de carbono (25x250xe) mm.....	48
Figura N° 4.3: Probetas Referenciales para ensayos a Tracción (25x250xe) mm	48
Figura N° 4.4: Probetas Referenciales para ensayos a Flexión (13x160xe) mm.	48
Figura N°4.5: Balanza BOECO y calibrador pie de rey vernier.....	49
Figura N° 4.6: Dimensionamiento de la Probeta Bajo la norma ASTM D3039-00 y Maquina Universal de ensayos Tinius Olsen, modelo H25KS.....	55
Figura N° 4.7: Esfuerzo Máximo a Tracción Parciales de Ensayos (Siete Probetas)	65
Figura N° 4.8: Esfuerzo Máximo a Tracción de Ensayos (Promedio).....	65
Figura N° 4.9: Módulo de Elasticidad Parciales de Ensayos (Siete Probetas) ...	66
Figura N° 4.10: Módulo de Elasticidad (Promedio)	66
Figura N° 4.11: Representación gráfica del esfuerzo máximo de 5 probetas por caso	68
Figura N° 4.12: Representación gráfica del esfuerzo máximo promedio de 5 probetas.....	69
Figura N° 4.13: Representación gráfica de módulo de elasticidad de 5 probetas	69
Figura N° 4.14: Módulo de elasticidad de 5 probetas (Promedio).....	70
Figura N° 4.15: Representación esquemática del dimensionamiento de las probetas a flexión y punto de aplicación de la carga.	72
Figura N° 4.16: Esfuerzo Máximo de las 7 probetas por cada caso	77
Figura N° 4.17: Esfuerzo Máximo a Flexión de Ensayos (Promedios)	78
Figura N° 4.18: Curva Esfuerzo – Deformación.....	78
Figura N° 4.19: Módulo de Flexión y Módulo de Trabajo	79
Figura N° 4.20: Probetas para ensayo de adherencia resina poliéster y fibra vidrio + nanotubos de carbono.	84
Figura N° 4.21: Ensayo de adherencia.....	85
Figura N° 4.22: Adherencia fibra de vidrio–resina poliéster–nanotubos de carbono variable 5%	85
Figura N°4.23: Adherencia fibra de vidrio–resina poliéster–nanotubos de carbono variable 10%	85
Figura N° 4.24: Distribución de T de Student	92

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA DE VIDRIO MÁS RESINA POLIÉSTER CON INCLUSIÓN DE NANOTUBOS DE CARBONO MEDIANTE ARCO ELÉCTRICO

Autor: Byron Ricardo Salazar Chuquiama.

Tutor: Ing. Mg. Juan Paredes.

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación se basa en la caracterización mecánica del material compuesto de matriz epoxi reforzada con nanotubos de carbono, se tomaron distintas configuraciones del material de refuerzo y fracción volumétrica para determinar cuál es la configuración y fracción volumétrica que proporcione mejor combinación de propiedades mecánicas, para luego ser comparado con los materiales tradicionales y con lo cual encontrar una nueva alternativa de un nuevo material compuesto (nanotubos de carbono – material compuesto de resina poliéster + 3 capas de fibra de vidrio).

Para la caracterización mecánica se realizaron ensayos a tracción, flexión, dureza y de la mejor configuración y fracción volumétrica se realizó un ensayo de adherencia entre fibra y matriz. Los ensayos realizados fueron basados en normas de tracción (ASTM D3039/D3039M-00), flexión (ASTM D7264 / D7264M – 07, ASTM D 2240-00).

Los resultados se determinó que el material que mejor comportamiento presenta en combinación en cuanto a propiedades mecánicas (Tracción – Flexión) fue el material compuesto por el 5% de material obtenido de nanotubos de carbono con un 65% de matriz y 30% de refuerzo a estratificación y mediante el siguiente orden de capas de refuerzo [FV+ (RP+NTC)+ FV+ (RP+NTC)+ FV+ (RP+NTC)], mejoró el esfuerzo máximo a Tracción en un 7,8 % respecto al material original y el esfuerzo máximo a flexión se mantiene dentro de la desviación estándar esperado a un nivel de confianza del 95%.

FV= Fibra de Vidrio

RP= Resina Poliéster

NTC= Nanotubos de Carbono

Palabras claves: Epoxi reforzada, nanotubos de carbono, fracción volumétrica

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING
MECHANICAL ENGINEERING CAREER

OBTAINING AND CHARACTERIZING COMPOSITE MATERIALS OF
GLASS FIBER PLUS POLYESTER RESIN WITH INCLUSION OF CARBON
NANOTUBES BY ELECTRIC BOW

Author: Byron Ricardo Salazar Chuquiana.

Tutor: Ing Mg. Juan Paredes

SUMMARY

This research is based on the mechanical characterization of composite epoxy matrix reinforced with carbon nanotubes, different configurations of the reinforcing material and volume fraction to determine the configuration and volume fraction to provide best combination of mechanical properties were taken to then it is compared to traditional materials and thus find a new alternative for a new composite material (carbon nanotubes - polyester composite resin + 3 layers of fiberglass)..

Mechanical characterization for tensile tests, bending, hardness and volume fraction best configuration and an adhesion test between fiber and matrix was performed were performed. The tests performed were based on standards of strength (ASTM D3039 / D3039M-00), bending (ASTM D7264 / D7264M - 07 ASTM D 2240-00).

Mechanical determination and relevant analysis determined that the material that best behavior present in combination in mechanical properties (Traction - Deflection) was the material composed of 5% of material obtained from carbon nanotubes with 65% matrix and 30% reinforcing and laminated in the following order of reinforcing layers [FV + (RP + NTC) + FV + (RP + NTC) + FV + (RP + NTC)], I improved the maximum tensile stress by 7.8% with respect to the original material and the maximum effort at bending remained within the expected standard deviation at a confidence level of 95%.

Keywords: Reinforced epoxy, carbon nanotubes, volumetric fraction

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. Tema

“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA DE VIDRIO MÁS RESINA POLIESTER CON INCLUSIÓN DE NANOTUBOS DE CARBONO MEDIANTE ARCO ELECTRICO”.

1.2. Antecedentes

En este trabajo se describe la manera de sintetizar la caracterización de nanotubos de carbono han sido tema de indagación en varias ilustraciones realizados por organismos especializadas, en este trabajo experimental se toman como referencia varios como son

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de México, FABRICACIÓN Y PURIFICACIÓN DE NANOTUBOS DE CARBONO PARA EL DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS TRANSPARENTES [1] nos da como conclusiones: En este trabajo se realizaron diferentes procesos con el objetivo de fabricar conductores eléctricos transparentes. Los procesos principales involucraron la fabricación, purificación, dispersión y depósito de nanotubos de carbono de paredes múltiples. En cada uno de estos procesos, se observaron resultados satisfactorios, y también algunos inconvenientes que deben ser mejores.

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS, LIMA – PERÚ, ESTRUCTURA Y SÍNTESIS DE

NANOTUBOS DE CARBONO [2] concluye: Este trabajo estuvo orientado principalmente en conocer y entender la estructura de los SWNT (Nanotubos de Carbono de pared única, “single-wallnanotubes”), llegando a determinar algunos parámetros estructurales, y algunas importantes conclusiones: En la actualidad “los nanotubos de carbono” son altamente investigadas por los grupos de investigación de todas partes del mundo, por lo cual, el presente trabajo puede servir como punto de inicio de futuros trabajos de investigación, ya que es escasa aún la bibliografía y material de consulta en nuestra facultad. Además, cabe mencionar que estamos interesados de continuar investigaciones en esta área realizando cálculo de estructura electrónica, propiedades térmicas y/o magnéticas

1.3. Justificación

El trabajo experimental realizado permite establecer las áreas para las cuales los nanotubos de carbono producidos pueden tener mayores proyecciones de interés científico e innovador.

Ya que los nanotubos de carbono son una forma alotrópica del carbono, como el diamante, el grafito o los fullerenos. Su estructura puede considerarse procedente de una lámina de grafito enrollado sobre sí misma. Dependiendo del grado de enrollamiento, y la manera como se conforma la lámina original, el resultado puede llevar a nanotubos de distinto diámetro y geometría interna.

Estas intrigantes estructuras han generado mucho entusiasmo en los últimos años y una gran cantidad de investigación ha sido dedicada a su entendimiento.

Actualmente, sus propiedades físicas aún no son descubiertas y debatidas, por lo que lo hace tan difícil que los nanotubos tengan un rango muy amplio de propiedades electrónicas, térmicas y estructurales que pueden cambiar dependiendo de las diferentes clases de nanotubo.

Se ha podido observar que los nanotubos poseen características únicas, tanto en su estructura física como en su configuración electrónica, por esto poseen un número

casi ilimitado de aplicaciones siendo posible utilizarlos en la totalidad de los campos ya sea para producir nuevos materiales y dispositivos o para mejorar las propiedades físicas de un material en cuestión.

Sin embargo, también existen muchas limitaciones en especial en los métodos de producción a gran escala y la determinación de ciertas características de estos materiales por lo que aún se requieren estudios y el desarrollo de nuevas tecnologías para poder mejorar el entendimiento de esta revolucionaria tecnología.

Como punto final un factor a tener en cuenta sería el cambio económico que produciría el desarrollo de materiales basados en nanotubos ya que por un lado mejoraría la producción y ventas de determinadas empresas, al ofrecer un producto de mayor calidad, pero a su vez esto relegaría a países en vías de desarrollo ya que estos serían capaces de producir artículos competentes, agravando aún más el desigual referente a la distribución de riquezas que existe en la actualidad.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Proveer de un estudio de la obtención de nanotubos de carbono bajo el método por arco eléctrico para determinar las propiedades mecánicas en materiales compuestos de fibra de vidrio y resina poliéster.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros y recursos que intervienen en el método de arco eléctrico para la obtención de nanotubos de carbono.
- Determinar los parámetros y normativas para la obtención de materiales compuestos de manera polimérica reforzada con fibra de vidrio.

- Determinar las propiedades mecánicas de tracción (ASTM D3039/D3039M-00), flexión (ASTM D7264 / D7264M – 07, ASTM D 2240-00), dureza y análisis microestructural de los materiales compuestos de fibra de vidrio y resina poliéster sin nanotubos de carbono bajo la normativa.
- Determinar las propiedades mecánicas de tracción (ASTM D3039/D3039M-00), flexión (ASTM D7264 / D7264M – 07, ASTM D 2240-00), dureza y análisis microestructural de los materiales compuestos de fibra de vidrio y resina poliéster con nanotubos de carbono bajo la normativa.
- Evaluar los resultados de los ensayos antes mencionados para determinar la mejor combinación de propiedades mecánicas en el material compuesto.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Fundamentación Teórica

2.1.1. Ingeniería de Materiales

La investigación y desarrollo dentro de los nuevos materiales en la actualidad ha conllevado a requerir materiales con combinaciones insólitas de propiedades que no pueden ser encontradas por las aleaciones convencionales metálicas, la cerámica, y materiales poliméricos. Esto se ve reflejado en la aplicación de la industria aeronáutica, aeroespacial, automotriz y otras; ya que por medio del desarrollo de estos materiales se busca materiales estructurales de menor densidad, resistentes, rígidos y de gran resistencia a la abrasión, corrosión e impacto. La ingeniería de materiales en el diseño de materiales compuestos ha logrado combinar varios metales, cerámicos, y polímeros para producir una generación nueva de materiales extraordinarios con propiedades mecánicas mejoradas como rigidez, dureza, y resistencia ambiental y de alta temperatura.

Los compuestos se han clasificado en tres categorías: con partículas, con fibras y laminares, dependiendo de la forma que tengan los materiales. Por ejemplo, el concreto (mezcla cemento – grava) es un *compuesto particulado*; materiales de fibra de vidrio + resina poliéster, es un *compuesto reforzado* con fibras; mientras que la madera contrachapada o triplex (capas alternas de chapa de madera), es un *compuesto laminar*. [3]

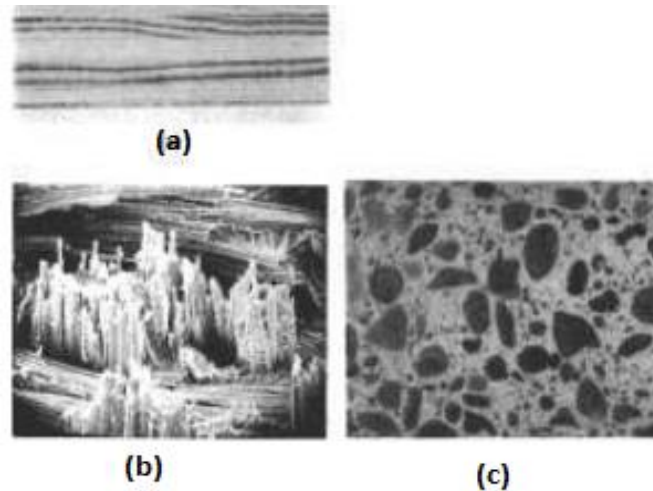


Figura N°2.1: Compuestos a.) Madera Contrachapada (laminar); b.) Fibra de Vidrio + Resina Poliéster (Compuesto reforzado); c.). Concreto (compuesto particulado)

Fuente: [4]

2.1.2. Materiales Compuestos

2.1.2.1. Definición

Se define como material compuesto a todo sistema o combinación de materiales constituido a partir de una unión (no química, insolubles entre sí) de dos o más componentes, que da lugar a uno nuevo con propiedades características específicas, no siendo estas nuevas propiedades ninguna de las anteriores. Los compuestos combinan las mejores propiedades de entre las diferentes clases de materiales que forman el material compuesto evitando con ello algunas de sus desventajas, si se los hiciera de manera individual.

2.1.2.2. Clasificación y división de los materiales compuestos

La clasificación presentada en la Figura 2.2 muestra los posibles materiales compuestos que se pueden obtener agrupando los diferentes tipos de material, para diferentes aplicaciones.



Figura N° 2.2: Diferentes Materiales Compuestos de Ingeniería.
Fuente: [5]

Los materiales compuestos son compuestos de solamente dos fases; es decir por medios continuos y discontinuos. El medio continuo se denomina matriz; mientras que el medio discontinuo denominado refuerzo, es más fuerte y resistentes. Las propiedades de un material compuesto dependen de las propiedades de los materiales que lo constituyen, de su distribución orientación e interacción.

Los Materiales Compuestos de Matriz polimérica se dividen en Compuestos Termoplásticos, Termoestables y Elastómeros. Para el estudio propuesto, la investigación se centra en los materiales compuestos de matriz termostables; por lo que el resto del mismo se profundizara solo dentro de estos compuestos. [5]

2.1.2.3. Componentes de los materiales compuestos

- Definiciones de matriz – refuerzo

(a).- **Matriz.**- “El uso de materiales isotrópicos convencionales, como puede ser el acero o el aluminio, con los materiales compuestos se puede diseñar las características del material dando lugar a materiales anisotrópicos. Esto se traduce en un cambio en la forma de plantear estructuras, una forma totalmente nueva que

permite mayor libertad.- Los métodos de cálculo de los materiales anisotrópicos difieren de los métodos de cálculo de la mecánica clásica de los materiales isotrópicos.

La función principal de la matriz es la de distribuir los esfuerzos entre las fibras a través de la intercara.- actúa como ligante manteniendo unidas las fibras por medio de fuerzas adhesivas y cohesivas. Además, tiene otras funciones como:

- ✓ Fijación de las Fibras en el ordenamiento geométrico deseado.
- ✓ Protección de las fibras de los esfuerzos de compresión.
- ✓ Protección a las fibras de los medios externos (humedad, ataque químico).

Juntamente con los materiales poliméricos existen otros materiales aptos para ser utilizados como matriz de unión (hormigón, aleaciones de aluminio y magnesio, cerámicos, etc.). [5]

(b).- Refuerzo.- Los materiales de refuerzo, son desde un punto de vista teórico, materiales ideales.- Constituyen estructuras cristalinas o semi-cristalinas, que son tenaces, rígidas y resistentes a altas temperaturas y medios agresivos.- Pero sin la aportación de una matriz tienen un serio inconveniente: son demasiado frágiles. Una fisura externa o un defecto interno pueden dar lugar a un fallo mucho antes de que alcance su resistencia teórica. Haciendo una pequeña analogía con un bloque compacto de cristal, un solo defecto superficial puede conducir a una rotura catastrófica con una carga mínima, mientras que una masa de fibras compactadas similar se perjudica a una de las fibras. Es el caso de fallo bajo carga y una fibra defectuosa, las demás fibras libres de defectos pueden soportar la unitaria adicional.

Entonces, para un mejor aprovechamiento de las fibras desde un punto de vista constructivo es necesario incorporarlas a una matriz, que las fije en una posición, y que las proteja de las agresiones externas.

La combinación de los materiales produce la mejora de las propiedades de uno de los materiales y a veces el perjuicio de otros.

En un material compuesto, de matriz y, en cambio, el alargamiento de la rotura retrocede a los valores de las frágiles fibras. [5]

(c).- Los polímeros.- El etimológico de la palabra polímero, proviene del Griego y significa muchos miembros o partes.- No obstante, químicamente se define como material constituido por grandes moléculas, las cuales se forman por la secuencia repetitiva de moléculas pequeñas o agrupaciones de átomos simples, enlazadas unas a otras por enlaces primarios (covalentes simples).

➤ **Clasificación de los polímeros.-** Según el criterio de comportamiento y procesabilidad frente al calor podemos clasificarlo en dos grandes grupos:

Termoplásticos.- Son polímeros que al calentarse a determinadas temperaturas se convierten en fluidos, permitiendo su moldeabilidad en la forma deseada que quedará reservada al enfriarse.- Constituyen el grupo más importante y de mayor uso comercial, su estructura o arquitectura molecular puede ser lineal o ramificada, lo que permite fluir con aportación de calor.

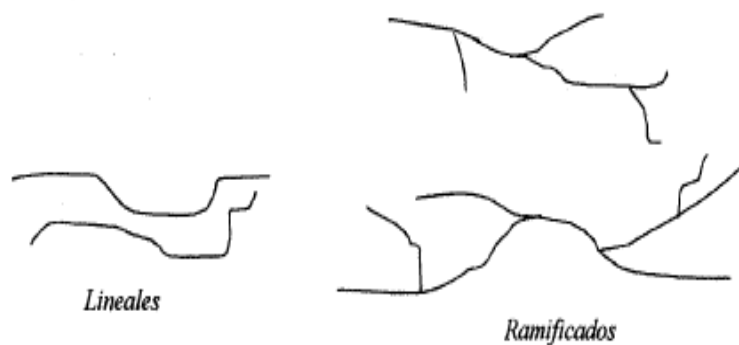


Figura N° 2.3: Gráfico de la estructura molecular de los termoplásticos
Fuente: [6]

Termoestables.- Son polímeros que no pueden fluir por efecto de la temperatura para ser remodelados. Molecularmente hablando son polímeros entrecruzados, tienden a ser resinas de mucha rigidez, someterlos a temperatura elevada promueve la descomposición química del polímero (carbonización).

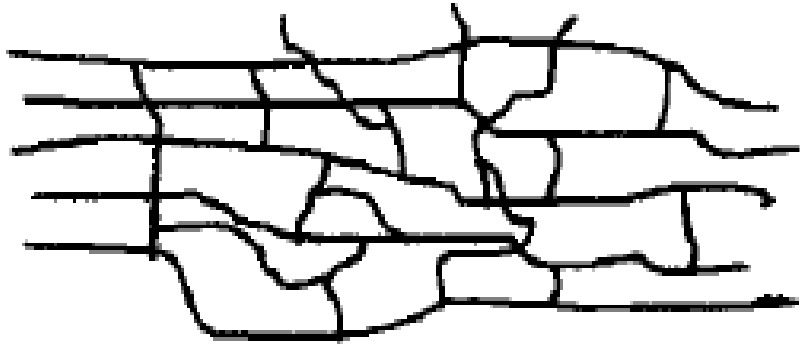


Figura N° 2.4: Estructura Molecular (Red tridimensional)

Fuente: [7]

Los polímeros se obtienen hoy en día de los derivados del petróleo, carbón o gas natural.- Para aumentar las características mecánicas de las termoestables, se combinan con diferentes tipos de refuerzos, como las fibras de vidrio, de carbono y aramidicas, obteniendo así laminados compuestos. [7]

2.1.2.4. Resina poliéster

La resina poliéster, frecuentemente usada por su bajo costo, tiene un contenido de estireno monómero entre 30 y 50% en peso. Como iniciador se utiliza generalmente octoato de cobalto y como catalizador peróxido de metiletil cetona (MEKP, por sus siglas en ingles).

La resina Poliéster es un plástico termo – estable, es decir que adquiere su forma final mediante reacción química y no existe forma de llevarlo luego a su estado inicial además no es reciclable. La resina poliéster insaturada, comercialmente se consigue como un líquido espeso, de color amarillo, rosa, azul o café, turbio o transparente; donde sus colores y características obedecen a su tipo, grado de preparación y uso recomendado.

En equipos llamados reactores con temperatura y ambiente controlado, se ponen a reaccionar, por lo general, anhídrido ftálico, anhídrido maleico y dietilen glicol para luego de aproximadamente quince horas de proceso, obtener la resina

poliéster. En esta etapa inicial el poliéster se presenta como un líquido muy viscoso e inestable.

Luego en un proceso complementario llamado dilución el poliéster se ajusta a sus propiedades finales con aditivos especiales y estireno. Comúnmente se conocen pocos tipos de resina poliéster, pero existen una gran variedad de ellas, diseñadas para facilitar nuestro trabajo y para lograr en los productos fabricados, la máxima calidad y duración. [3]

a) **Tipos de poliéster:**

- Poliéster Ortoftálico
- Poliéster Tereftálico
- Poliéster Isoftálico
- Poliéster Iso N.P.G.
- Poliéster Bisfenolico y Vinilester

2.1.2.5. Propiedades de la resina poliéster

El poliéster usado como material de diseño, tiene propiedades sobresalientes que debemos conocer para sacarles el máximo provecho y son las que se muestran en la Tabla 2.1. Aislante térmico y eléctrico. Anticorrosivo.

Reforzado con fibras de vidrio, puede tener resistencia mecánica igual al acero. Para igual resistencia mecánica, es más liviano que la mayoría de los materiales convencionales, bien seleccionado y formulado, el poliéster resiste el agua, la intemperie y el ataque químico de una amplia gama de productos industriales.

Los productos industriales fabricados con este material son de fácil transporte, montaje y mantenimiento, lo cual lleva a menor costo en la vida útil del equipo. [3]

Tabla N° 2.1: Propiedades mecánicas de la resina Poliéster

PROPIEDAD	VALOR
Peso específico (densidad)	1,28
Dureza	110 RockwellM
Resistencia a la Tracción	55 MN/m ²
Resistencia a la Compresión	140 MN/m ²
Resistencia al Impacto	2 KJ/m ²
Módulo de Young	3,5 GN/m ²
Alargamiento a la Rotura	2%
Conductividad Térmica	0,2 W/m°C
Coefficiente de dilatación lineal	100 ⁻⁶ /°C
Absorción de agua, 24 hr. 20°C	0,15%

Fuente: [6]

Resina Poliéster Tereftálica RPD105ATIX Resistencia a la corrosión de ácidos orgánicos e inorgánicos. Gran resistencia a los solventes, probada para muchos combustibles incluidos la gasolina, kerosene, aceite de calentamiento (térmico) y aceites crudos. Hay que considerar también una viscosidad adecuada. Tablas 2.2, 2.3 y 2.4. [3]

Tabla N° 2.2: Propiedades de la Resina Poliéster Líquida Tereftálica RPD105ATIX

ESPECIFICACIÓN	VALOR
Viscosidad @ 25°C, RVF Brookfield, aguja #2 a 20r.p.m (cps)	550
Índice Tixotrópica	2,5
Densidad @ 25 °C (gr/ml)	1,075
Color	Rosa
% de Sólidos	54
Dureza Barcol Vaciado sin refuerzo espesor 3mm en ø de 11cm	40

Fuente: [6]

Tabla N° 2.3: Propiedades de la Resina Poliéster Curada Tereftálica RPD105ATIX

ESPECIFICACIÓN	VALOR
Tiempo de gel @ 25 °C (min, seg) 100gr. De resina + 1.0 grs de catalizador Butanox BM-50 temperatura prueba 25 °C	10
Tiempo de Curado (minutos)	20
Temperatura de Exotermia (°C)	215

Fuente: [6]

Tabla N°2.4: Propiedades Mecánicas de la Resina Poliéster Tereftálica RPD105ATIX

PROPIEDAD	VALOR
Contenido de Resina	100
Resistencia a la Tensión (psi/Mpa)	10,100/70
Módulo de Tensión (psi/Mpa)	510,000/3.5
% Elongación en Tensión	2.3
Resistencia a la Flexión (psi/Mpa)	19,400/134
Módulo de Flexión psi/Gpa	570,000/3.9
Temperatura de distorsión al calor (°F/°C, 264 psi)	282/139
Dureza Barcol	51

Fuente: [6]

2.1.2.6. Fibra de vidrio

“La fibra de vidrio es simplemente un compuesto que consiste en fibras de cristal, continua o discontinua, contenida dentro de una matriz de polímero; este tipo de compuesto es producido en grandes cantidades.

La composición de cristales que forman las fibras son de diámetros que normalmente se encuentran entre 3-20 um.

Tabla N° 2.5: Composiciones y Características de Algunos Cristales Comunes Comerciales

Composition (wt%)							Characteristics and Applications
Glass Type	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Other	
Fused silica	≥ 99,5						High melting temperature, very low coefficient of expansion (thermally shock resistant)
96% Sílica (Vycor)	96				4		Thermally shock and chemically resistant - laboratory ware
Borosilicate (Pyrex)	81	3.5		2.5	13		Thermally shock and chemically resistant - oven ware
Container (soda-lime)	74	16	5	1		4MgO	Low melting temperature, easily worked, also durable
Fiberglass	55		16	15	10	4MgO	Easily drawn into fibres-glass-resin composites
Optical flint	54	1				37PbO, 8K ₂ O	High density and high index of refraction-optical lenses
Glass-ceramic (Pyroceram)	43.5	14		30	5.5	6.5TiO ₂ , 0.5As ₂ O ₃	Easily fabricated; strong: resists thermal shock-ovenware

Fuente: [8]

Las principales ventajas de la fibra de vidrio son: su bajo costo, alta resistencia a la tracción y alta resistencia química. Las desventajas radican en el relativamente bajo módulo de elasticidad, alta densidad, sensibilidad a la abrasión y alta dureza, que causa desgaste en herramientas de corte. Principalmente las fibras utilizadas en materiales compuestos son fabricadas con vidrios E (eléctricos) y vidrios S (de alta resistencia). Los últimos poseen una mejor relación resistencia-peso y son más costosos que los tipos. [3]

Presentación comercial de la fibra de vidrio

Una vez obtenidas las fibras, a partir de ellas se pueden generar varios productos y diferentes presentaciones, para usos específicos. Entre ellos se encuentran:

- Mechas
- Hilados
- Tejido
- Los Mats

Las principales características de la fibra de vidrio son:

- Alta adherencia fibra-matriz.
- Resistencia mecánica.
- Características eléctricas adecuadas.

- Incombustibilidad.
- Estabilidad dimensional.
- Compatibilidad con la mayoría de las matrices orgánicas.
- Alta relación peso-resistencia.
- Facilidad de fabricación y costo relativamente bajo.

Tabla N° 2.6: Propiedades físicas y mecánicas de algunos tipos de fibra de vidrio

Tipo	Vidrio A	Vidrio E	Vidrio S	Vidrio R
Diámetro de hilo [µm]	(5-13)	(10-20)	10	10
Densidad [g/cm ³]	2,5	2,54	2,48	2,59
Módulo de elasticidad [Gpa]	69	72,5	86	85
Resistencia a tracción [Gpa]	3,1	3,4	4,59	3,4-4,4
Elongación a la Ruptura	4,3	4,5	-	5,2

Fuente: [8]

Las propiedades de los materiales compuestos dependen de los materiales que se empleen, su configuración, disposición, cantidades relativas y la forma en la que se unen en la interfaz. [3]

2.1.3. Nanotubo de carbono

2.1.3.1. Definición

Se podría definir nanotubo, como una especie de tubo de diminutas dimensiones, formada que generalmente por una lámina de grafito enrollada, por lo que también suele adquirir el nombre de nanotubo de carbono, pero también se pueden utilizar otros materiales para su construcción como el silicio o el nitruro de boro. Estos nanotubos de carbono tienen forma alotrópica, y dependiendo del grado de enrollamiento de los mismos, adquieren diferentes diámetros y estructuras internas.

Están sometidos a numerosos estudios, ya que, por sus características, es capaz de sustentar su propio peso suspendido sobre nuestro planeta, y por este motivo, se

opina que podrían ser utilizados en la construcción de un ascensor espacial, algo que supondría un gran avance tecnológico. [10]

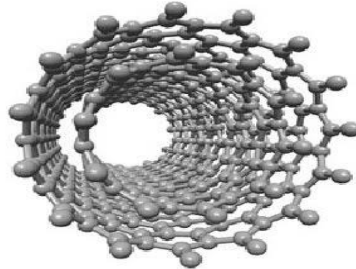


Figura N° 2.5: La primeros nanotubos en forma de filamentos, descubiertos en **1889**, cuando Hugues y Chambers, decidieron patentar un procedimiento en la fabricación
Fuente: [9]

A pesar de que el ser humano a lo largo de la historia ha hecho uso de los nanotubos con gran frecuencia, no ha sido consciente de muchas de sus aplicaciones hasta una época reciente, concretamente en 1991, año en el que se hicieron mundialmente famosos y comenzaron las investigaciones a su alrededor. La primera vez que podemos encontrarnos con nanotubos, a lo largo de la historia, debemos remontarnos a **1889**, cuando Hugues y Chambers, decidieron patentar un procedimiento en la fabricación de filamentos de carbono, utilizando hidrógeno y metano como gases precursores, en un crisol de hierro. Casi setenta años después, en el año **1952**, dos científicos rusos, Radushkevich y Lukyanovich, realizaron un admirable trabajo, realizando fotografías de 50 nanotubos, pero su trabajo no cobró importancia debido a la guerra fría. [10]

Posteriormente, se publicaron trabajos individuales sobre estos extraños tubos, que no tomaban referencia de antiguos trabajos realizados. En **1985**, se descubren, los primos-hermanos de los nanotubos, los fulerenos, que en lugar de tener forma de tubo, la tienen de esfera, el descubrimiento fue una serendipia, que galardonó con el premio nobel en 1996 a sus descubridores. [10]

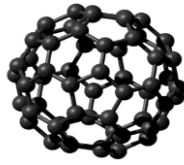


Figura N° 2.6: En 1985, se descubren, los primos-hermanos de los nanotubos, los fullerenos, que en lugar de tener forma de tubo, la tienen de esfera, el descubrimiento fue una serendipia.

Fuente: [9]

Ya por fin en 1991, se descubren los nanotubos, mientras se investigaba a los fullerenos, y desde entonces se han desarrollado investigaciones que podrían suponer un gran avance en la tecnología y la calidad de vida humana. Clases de nanotubos: Monocapa (Single-Walled Nanotubes): Como su propio nombre ya indica, se tratan de nanotubos de una sola capa, y éstos poseen determinadas características eléctricas que no comparten con sus hermanos nanotubos, y por lo que pueden ser utilizados para la creación de TRT (transistores) y puertas lógicas (son, básicamente, diferentes circuitos formados por transistores). Multicapa (Multi-Walled Natotubes): Se forman por varias capas de nanotubos dispuestas como las famosas muñecas rusas (una encima de la otra), o como un periódico enrollado. Son más complejas que las anteriores. Bicapa (Double-Walled Nanotubes): Formados por dos capas, comparten características similares a las de los monocapa o SWN. ¿Qué aplicaciones tienen? Los nanotubos tienen diversas aplicaciones y la mayoría parecen de ciencia-ficción, son capaces de transformar la energía solar, en eléctrica (placas solares), pueden ser utilizados como súper condensadores, sin olvidarse de que podrían su dar un paso agigantado en la tecnología de nuestros ordenadores, sirviendo como transistores, unas piezas diminutas que son el motivo por el que no son grandes habitaciones con gran demanda de energía eléctrica. Además, tiene otras aplicaciones, pero son tan diversas que me sería imposible nombrarlas todas. [10]

2.1.3.2. Métodos de obtención de nanotubos de carbono

Existen diferentes métodos para la obtención de los nanotubos de tipo monocapa y multicapa. El arreglo atómico de los nanotubos se puede cambiar con el método de obtención o procesamiento.

Los métodos más usados son:

- Arco eléctrico
- Pirolisis de hidrocarburos
- Vaporización de láser
- Otros Métodos de síntesis

En Breves las definiciones de los métodos de obtención de nanotubos de carbono

❖ **Arco Eléctrico.** - Consiste en conectar dos barras de grafito con diámetros de 0,5 a 40 mm a una fuente de alimentación con voltaje de 20 – 50 V, separarlas unos milímetros y accionar un interruptor. Al saltar una chispa de corriente DC de 50 - 120 A entre las barras y una presión base de 400 torr de helio, el carbono se evapora en un plasma caliente. Parte del mismo se vuelve a condensar en forma de nanotubos.

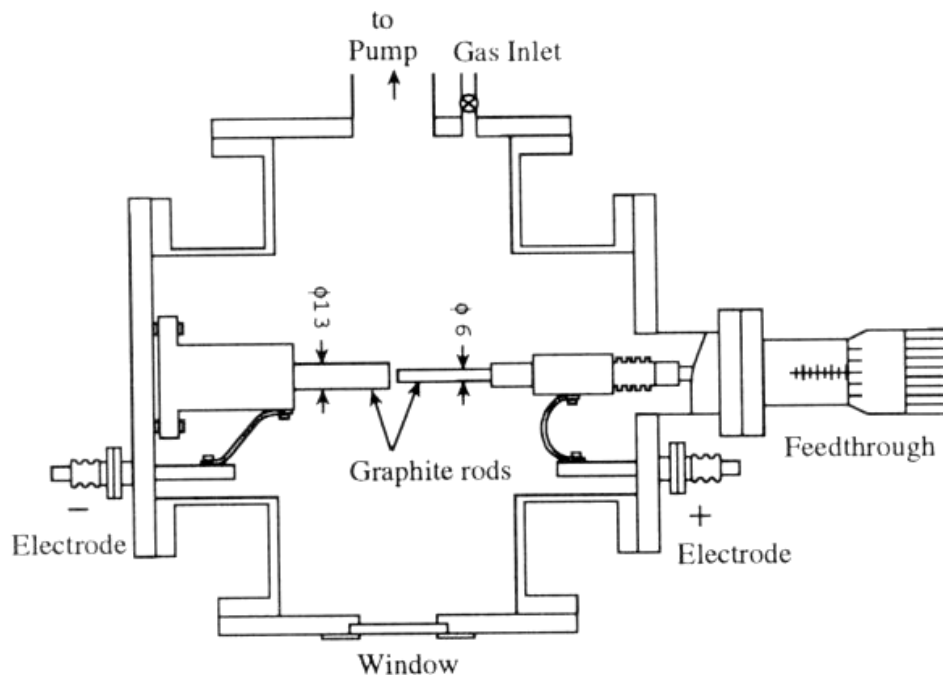


Figura N° 2.7: Diagrama del método de síntesis de nanotubos de carbono por descarga de arco voltaico.

Fuente: [11]

- **Ventaja:** Las altas temperaturas y los catalizadores metálicos añadidos a las barras puede producir nanotubos de carbono de pared única y múltiple con pocos defectos estructurales.
- **Limitaciones:** Los nanotubos de tienden a ser cortos (50 micras o menos) y depositarse en formas y tamaños aleatorios. Durante el proceso también son formados el carbono amorfo y los fullerenos.
- **Rendimiento normal.-** Hasta un 30% en peso.
- ❖ **Pirolisis de hidrocarburos.-** Se introdujo en la fabricación de nanotubos de carbono, el método de la deposición química en fase vapor (CVD), se coloca un sustrato que actúa como catalizador de (Fe, Co, Ni) formando un filme fino de 1 a 50 nm de espesor en un horno de atmosfera inerte de helio a baja presión, se calienta a 600 °C y lentamente se añade gas de metano, acetileno o benceno, liberándose átomos de carbono, que se pueden recombinar en forma de nanotubos. Debido a las temperaturas, el metal (catalizador) se aglutina en nano partículas separadas que sirven como centros de crecimiento que formaran la base de los nanotubos; por lo tanto, el tamaño de la partícula define el diámetro del nanotubo que será creado.
- **Ventaja:** La técnica de CVD es el más sencillo de los tres métodos para su aplicación a escala industrial. Podría emplearse para fabricar nanotubos largos, necesarios en las fibras empleadas en materiales compuestos.
- **Limitaciones:** Los nanotubos fabricados así suelen ser de pared múltiple y a veces están plagados de defectos. De ahí que los nanotubos tengan sólo una décima de la resistencia a la tracción respecto a los fabricados por la descarga de arco.
- **Rendimiento normal:** de 20 a casi 100 por ciento.

- ❖ **Vaporización de láser.-** Se realiza mediante bombardeo de un metal con pulsos intensos de láser para producir moléculas metálicas más extravagantes cuando les llegó la noticia del descubrimiento de los nanotubos. En su dispositivo sustituyeron el metal por barras de grafito. No tardaron en producir nanotubos de carbono utilizando pulsos de láser en lugar de electricidad para generar el gas caliente (1200°C) de carbono a partir del que se forman los nanotubos. Ensayaron con varios catalizadores (Fe, Co, Ni) y lograron, por fin, las condiciones en que se producen cantidades prodigiosas de nanotubos de pared única. [11]
- **Rendimiento normal:** Hasta un 70 por ciento.
- **Ventajas:** Producen nanotubos de pared única con una gama de diámetros que se pueden controlar variando la temperatura de reacción.
- **Limitaciones:** Este método necesita láseres muy costosos.
- ❖ **Otros métodos de síntesis.-** Desde su descubrimiento de los nanotubos de carbono originada por la pirolisis de electrodos de grafito en atmósfera controlada de helio, los nanotubos también vienen siendo sintetizados por otros métodos, tales como la síntesis catalítica, usando metales de transición sobre soportes de sílica alúmina y también sobre las zeolitas. Otro método es el llamado proceso HiPCO, que consiste en la descomposición de monóxido de carbono en altas presiones y altas temperaturas.

Por otra parte, no se ha hecho un estudio detallado por el método de irradiación de microondas, siendo este de gran uso en diversas áreas de la química.

Irradiación de Microondas: El método de la irradiación de microondas se aplica mucho en algunas áreas de la química y en la tecnología para la producción y destrucción de diversos materiales y compuestos químicos, así

como en el estudio de procesos físico - químicos. Las ventajas de utilizarlo para la producción de NT son las siguientes:

- 1) El calentamiento es rápido y fácil.
- 2) Se acumula energía dentro del material, sin las limitaciones que presenta el calentamiento superficial.
- 3) Se ahorra energía debido a que no se requiere de calentar primero el ambiente y después introducir la muestra.
- 4) No hay contacto directo entre la fuente de energía y el material.
- 5) Existe la posibilidad de ser automatizado.
- 6) Es un proceso limpio, práctico, y sencillo.

2.1.3.3. Clasificación de los nanotubos de carbono

a).- Según el número de capas de los nanotubos de carbono se clasifican en:

Nanotubos de capa múltiple (MWNT).- Son aquellas formadas por capas concéntricas de forma cilíndrica, las cuales están separadas aproximadamente una distancia similar a la distancia interplanar del grafito, ver **Figura 2.7**.

Nanotubos de capa única (SWNT).- Son los que se pueden describir como una capa bidimensional de grafito “enrollada” formando un cilindro de décimas de micrones de longitud y radio del orden de los nanómetros, los cuales además poseen en sus extremos semiestructuras de fullerenos, ver **Figura 2.6**.

b).- De acuerdo a una clasificación genérica en:

Nanotubos chiral.- no tienen simetría de reflexión y son no isomorficos.

Nanotubos no-chiral.- (zigzag y armchair) poseen simetría de reflexión y son isomorficos.

c).- De acuerdo a los índices de Hamada (n,m):

Nanotubos armchair.- Los nanotubos tendrá esta denominación si $(n = m)$ y si además posee una helicidad de $f = 0^\circ$.
Nanotubos zigzag.- Se llamara así cuando $(m = 0)$ y poseen además una helicidad de $f = 30^\circ$.
Nanotubos chiral.- Los nanotubos son tipo chiral si $(n > m > 0)$ y si además poseen una helicidad de $0^\circ < f < 30^\circ$.”

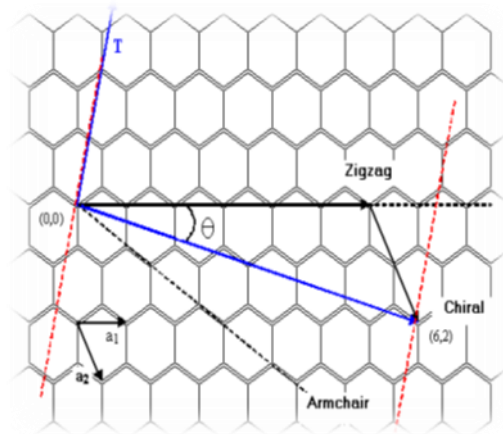


Figura N° 2.8: Se muestra el SWNT, que puede ser construido enrollando una hoja de grafito de tal forma que coincidan dos sitios cristalográficamente equivalentes de la red hexagonal.

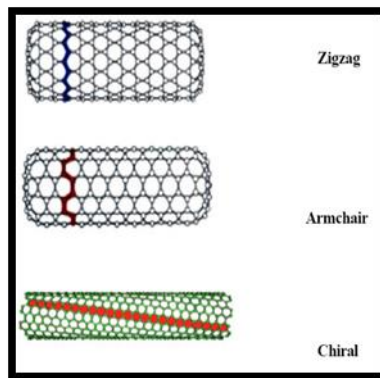


Figura N° 2.9: De acuerdo a la forma en que es enrollada la hoja de grafito, se pueden tener 3 tipos de nanotubos de carbono.

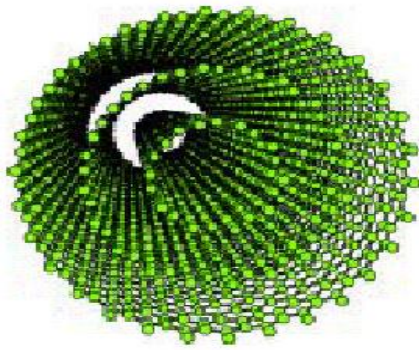


Figura N° 2.10: Vista de un MWNT donde se aprecian las capas concéntricas la cual fue descubierta y sintetizada en 1991.

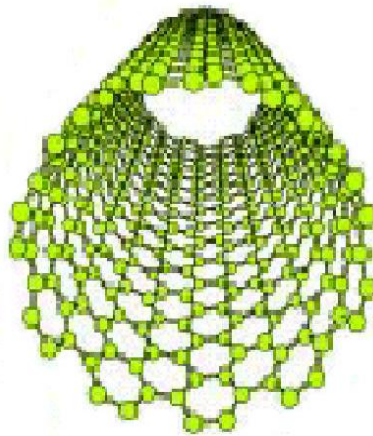


Figura N° 2.11: Vista de un SWNT donde se aprecia la capa única que va a dar forma al nanotubo, fue sintetizada en 1993.

Fuente: [11]

2.1.4. Propiedades de los nanotubos

En general las propiedades de los nanotubos dependen principalmente de los siguientes factores: el número de capas concéntricas que posee, la manera en que es enrollado y del diámetro del nanotubo.

2.1.4.1. Propiedades Electrónicas

- Transportan bien la corriente eléctrica.
- Pueden actuar con característica metálica, semiconductor o también superconductor.

- Para que un nanotubo sea metálico debe de cumplirse que la diferencia ($n - m = 3i$) debe ser múltiplo de 3, en caso contrario será semiconductor.

2.1.4.2. Propiedades Mecánicas:

- Uno de los materiales más “duros” conocidos (Similar a los diamantes)
- Presenta una altísima “resistencia mecánica”.
- Presenta una altísima flexibilidad.

2.1.4.3. Propiedades Elásticas:

- Por su geometría, podría esperarse que los nanotubos sean extremadamente duros en la dirección del eje, pero por el contrario son flexibles a deformaciones perpendiculares al eje.
- La curvatura causa aumento de la energía: los nanotubos son menos estables que el grafito, y cuanto menor es el diámetro menor es la estabilidad.
- Para grandes deformaciones radiales, los nanotubos pueden ser inestables (colapso). Esto ocurre principalmente para nanotubos de gran diámetro.
- Las características mecánicas de los nanotubos son superiores a las fibras de carbono; resistencia a deformaciones parciales, flexibilidad, etc. Las cuales las hacen idóneas para muchas aplicaciones posibles.

2.1.4.4. Propiedades Térmicas:

Presenta altísima conductibilidad térmica en la dirección del eje del nanotubo.

Tabla N° 2.7: Propiedades Comparativas de un SWNT

PROPIEDAD	NANOTUBOS DE PARED ÚNICA	POR COMPARACIÓN
Tamaño	0,6 a 1,8 nanómetros de diámetro	La litografía de haz electrónico puede crear líneas de 50 nm de ancho
Densidad	1,33 a 1,40 gcm ³	El aluminio tiene una densidad de 2,7 g/cm ³

Resistencia a la tracción	45 mil millones de pascales	Las aleaciones de acero de alta resistencia se rompen a alrededor de 2 mil millones de pascales.
Elasticidad	Pueden doblarse a grandes ángulos y vuelven a su estado original sin daño.	Los metales y las fibras de carbón se fracturan ante similares esfuerzos.
Emisión de campo	Pueden activar fósforos con 1 a 3 voltios si los electrodos están espaciados una micra	Las puntas de molibdeno requieren campos de 50 a 100 voltios/m y tienen tiempos de vida muy limitados.
Capacidad de transporte de corriente	Estimada en mil millones de amperes por centímetro cuadrado	Los alambres de cobre se funden a un millón de amperes por centímetro cuadrado aproximadamente.
Transmisión de Calor	Se predice que es tan alta como 6,000 vatios por metro por kelvin, a temperatura ambiente	El diamante casi puro transmite 3,320 W/mK
Estabilidad térmica	Estable aún a 2,800 °C en el vacío y 750 °C en aire.	Los alambres metálicos en microchips funden entre 600 y 1000 °C

Fuente: [11]

2.1.5. Propiedades mecánicas de los materiales

Se han desarrollado varios métodos estandarizados de prueba para determinar las propiedades mecánicas de los materiales. Estos son sometidos a pruebas de laboratorio en condiciones controladas para poder determinar sus reacciones ante los cambios de condiciones.

Cuando el ingeniero use los resultados de estas pruebas, deberá tener cuidado para aplicarlos solamente en condiciones similares a las de las pruebas. A veces es posible extrapolar los resultados de las pruebas a otras condiciones, como una primera aproximación, con precaución y recurriendo a los conocimientos generales sobre materiales.

En las subsecciones siguientes se describen las pruebas de tensión, de dureza, de impacto (Charpy V), de fatiga y de fluencia. [12]

2.1.6. Ensayo de materiales

Para determinar las propiedades mecánicas en la caracterización de los materiales compuestos, se utilizan ensayos destructivos. El proceso de ensayo comienza en tomar determinada cantidad de muestras del material y realizar cierto número de pruebas para caracterizar el comportamiento del mismo.

Los ensayos mecánicos se realizan ante circunstancias simuladas y con equipo adecuado, para resultados satisfactorios. La Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ASTM por sus siglas en inglés, ha desarrollado normas para ensayo de materiales entre las cuales se pueden encontrar las normas de caracterización de composites. Para la realización de estos ensayos, se ha considerado el equipamiento del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones “LAEV” de la Escuela Politécnica Nacional, la cual cuenta con los siguientes equipos: Dos máquinas universales de ensayos Tinius Olsen modelo “Súper L”, con capacidades de 132.000 lbf o (587.165 N) y 130.000 lbf o (578.269 N). Una máquina universal de ensayos Tinius Olsen modelo “H25KS”, con una capacidad de 5.620 lbf (25.000 N). [3]

2.1.7. Ensayo de tracción

Este ensayo es uno de los más comúnmente realizados. El material ensayado se deforma hasta la rotura de la probeta, mediante la aplicación de una fuerza uniaxial a lo largo del eje principal, y que aumenta de manera gradual.

Se denomina tracción axial el caso de sollicitación de un cuerpo donde las fuerzas exteriores actúan a lo largo del mismo. En este caso, en las secciones transversales del cuerpo (barra) aparece sólo una fuerza longitudinal transversal y las fuerzas transversales y momentos no están presentes. Esta fuerza transversal (de acuerdo

al método de las secciones) es igual a la suma algebraica de las fuerzas externas, que actúan de un lado de la sección (Fig. 2:13)

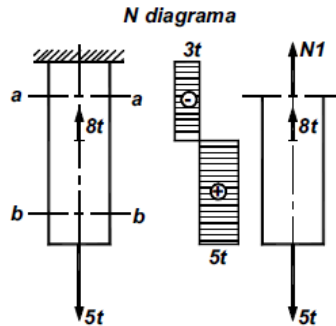


Figura N° 2.12: Determinación de un caso de tracción axial por el método de las secciones

Fuente: [3]

Se denomina *esfuerzo* (tensión) la fuerza interior, correspondiente a la unidad de superficie en un punto de una sección dada. Para el caso de tracción axial, que nos ocupa, el esfuerzo está determinado por la ecuación:

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

σ es el esfuerzo normal [N/m²],

N es la fuerza axial [N] y

A es el área de la sección [m²].

En cuanto a materiales compuestos reforzados con fibras, el ensayo de tracción se lleva a cabo bajo las regulaciones de la norma D3039/D3039M-00 y se lo realiza utilizando una maquina universal de ensayos como la que se muestra en la Figura 2.13 (a). Como implemento para la realización del ensayo debe utilizarse algún elemento mecánico que garantice que la sujeción de la probeta sea adecuada, de tal forma que el deslizamiento sea mínimo.

Para esto pueden usarse mordazas cuneiformes como las de la Figura 2.13 (b). Asimismo, puede o no utilizarse un extensómetro. Cabe indicar que el uso del extensómetro durante la realización del ensayo generara resultados con un menor margen de error. [3]

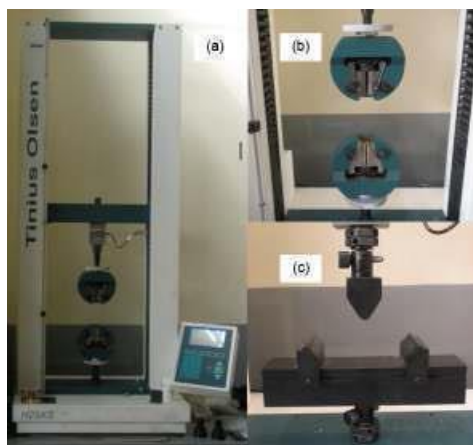


Figura N° 2.13: (a) Máquina universal de ensayos Tinius Olsen “H25KS”, (b) mordazas para ensayo de tracción y (c) equipo para ensayo de flexión.

Fuente: [3]

Para probetas de mayores dimensiones se puede utilizar la maquina universal de ensayos que se muestra en la Figura 2.14 Las probetas a ensayar deben presentar dimensiones especificas indicadas en la norma mencionada anteriormente. Además, dichas probetas requieren mostrar superficies libres de defectos visibles, fisuras o imperfecciones”.



Figura N° 2.14: (a) Máquina universal de ensayos Tinius Olsen modelo Súper L. (b) Mordazas Cuneiformes. (c) Set de flexión a tres puntos.

Fuente: [3]

2.1.8. Ensayo de flexión

Esta prueba es realizada mediante la norma D7264/D7264M-07, como lo indica la Figura 2:15. Este método de ensayo determina la rigidez a la flexión y

propiedades de resistencia de un compuesto de matriz polimérica. El procedimiento aplicado corresponde a un sistema de carga en tres puntos utilizando una carga central en una viga con apoyos simples. El equipo que es utilizado para este ensayo se indica en la Figura 2.13 (c). Las propiedades a flexión pueden variar dependiendo de la superficie de la probeta, pues ningún laminado es perfectamente simétrico. Estas diferencias desviarán el eje neutral y los resultados se verán afectados incluso por la mínima asimetría presente en el laminado. [3]

Las propiedades a flexión también pueden variar de acuerdo al espesor de la probeta, ambientes condicionantes o de ensayo en el que se ejecutan las pruebas, velocidad de aplicación de esfuerzo. Cuando se evalúan distintos materiales, los parámetros deben ser equivalentes para la comparación de todos los datos obtenidos. [3]

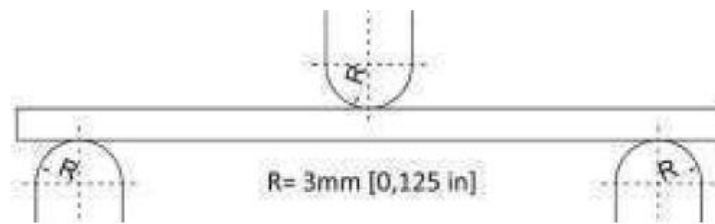


Figura N° 2.15: Configuración de carga a flexión en tres puntos utilizada (ASTM D7264/D7264M -07).

Fuente: [3]

Por consiguiente, la fórmula de trabajo para el cálculo de los esfuerzos elásticos durante la flexión de probetas de secciones rectangulares (cargadas por el esquema Fig. 2:15), es igual a:

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (Ec.2)$$

σ es el esfuerzo normal [N/m²].

P es la carga aplicada [N].

L es la distancia o ubicación de la fuerza [m].

b es la base.

h es la altura.

Para realización de este ensayo, se requieren al menos 5 probetas por cada condición de ensayo, a menos que se puedan obtener resultados validos mediante el ensayo de menos probetas, como en el caso de un diseño experimental. Las dimensiones de las probetas requeridas para los ensayos se encuentran indicadas en la norma ASTM D7264-07, y de igual manera, las respectivas ecuaciones que permiten calcular valores para las propiedades a flexión.

Al igual que en los ensayos de tracción y de impacto, las probetas deben respetar características solicitadas de aspecto superficial, como es la ausencia de fisuras o defectos que influyan erradamente en los resultados del ensayo. Al igual que en el ensayo de tracción, las marcas ocasionadas por operaciones de corte deben ser cuidadosamente eliminadas con una lima fina o un abrasivo. De esta manera se alcanza una pre-selección y preparación de probetas que serán aptas para la realización del ensayo. [3]

2.2. Hipótesis

La obtención e inclusión de nanotubos de carbono mediante arco eléctrico mejorará la caracterización de materiales compuestos de fibra de vidrio más resina poliéster.

2.3. Señalamiento de Variables

Variable Independiente:

La obtención e inclusión de nanotubos de carbono mediante arco eléctrico

Variable Dependiente:

Caracterización de materiales compuestos de fibra de vidrio más resina poliéster.

Término de Relación:

Mejorará

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Nivel o Tipo de Investigación

3.1.1. Investigación Exploratoria

En este tipo de estudios se ejecutan, normalmente cuando el objetivo es explorar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes.

3.1.2. Investigación Descriptiva

El propósito es que, el investigador describe situaciones y eventos, es decir, como es y cómo se manifiesta se manifiestan determinados fenómenos. Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes que sea sometido a análisis.

Con este trabajo investigativo se evaluará las propiedades del proceso de obtención de los nanotubos de carbono para posteriormente determinar su aplicación industrial.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

La población sobre la cual versa la investigación está constituida por electrodos de grafito, probetas de resina de poliéster y de fibra de vidrio como material base y a los cuales se realizarán una serie de pruebas de laboratorio con el objeto de obtener datos acerca de la microestructura los cuales deben ser concretos y verídicos.

Tabla N° 3.1: Población del Material Compuesto en Estudio

# PROBETAS TRACCIÓN	# PROBETAS FLEXIÓN	# PROBETAS DUREZA	# DE PROBETAS MICROESTRUCTURA L
7	7	1	1
7	7	1	1
7	7	1	1

Fuente: Autor

3.2.2. Muestra

En nuestro caso la muestra es:

Probetas con un mínimo de cinco por tipo de ensayo y bajo lo establecido en las Normas correspondientes (Tracción ASTM D3039-00, Flexión ASTM D7264-07), en función de la configuración y fracción volumétrica del material compuesto común propuesto (resina poliéster y fibra de vidrio), mediante moldes y probetas, para luego del análisis correspondiente determinar el material que presente la mejor combinación de propiedades mecánicas.

Tabla N° 3.2: Muestra del Material Compuesto en Estudio

Material compuesto	Porcentaje de composición en el material compuesto
MC	70 % Resina Poliéster + 30 % Fibra de Vidrio
MC1	65 % Resina Poliéster + 5 % NTC + 30 % Fibra de Vidrio
MC2	60 % Resina Poliéster + 10 % NTC + 30 % Fibra de Vidrio

Fuente: Autor

Tabla N° 3.3: Muestra del Electrodo de Grafito en Estudio

ELECTRODOS DE GRAFITO	CASO A		CASO B	
	$\phi = 6,7$ mmm	$\phi = 8,3$ m	$\phi = 8,3$ mm	$\phi = 6,7$ mm
TIEMPO y VOLTAJE	CATODO (-) ANODO (+)		CATODO (-) ANODO (+)	
15 Seg 15 V	Consumo A1 (11,931 gr)		Consumo B1 (5,996 gr)	
5 Seg 12 V	Consumo A2 (11,640 gr)		Consumo B2 (5,85 gr)	
25 Seg 20 V	Consumo A3 (12,22 gr)		Consumo B3 (6,1425 gr)	

Fuente: Autor

3.3. Operacionalización de Variables

3.3.1. Variable dependiente: La obtención e inclusión de nanotubos de carbono mediante arco eléctrico

Tabla N° 3.4: Operacionalización de variables: Variable independiente

CONCEPTO	CATEGORIA	INDICADOR	ÍNDICE	TECNICAS E INSTRUMENTOS
Se podría definir nanotubo, como una especie de tubo de diminutas dimensiones, formada que generalmente por una lámina de grafito enrollada, por lo que también suele adquirir el nombre de nanotubo de carbono.	Parámetros	Materiales utilizados en la obtención de nanotubos de carbono.	- Electrodos grafito. - Gas Helio. - Gas Argón.	- Observación Directa.
		Método.	-Método de arco eléctrico.	- Ensayos de procesos.
		Proceso de nanotubos de carbono.	-Tiempo. (1.5-30 seg.) -Temperatura. -Voltaje. (200-260)	- Observación Bibliográfica.
		Fracción Volumétrica del compuesto FV+RP.	70% - 30%	

Fuente: Autor

3.3.2. Variable independiente: Caracterización de materiales compuestos de fibra de vidrio más resina poliéster.

Tabla N° 3.5: Operacionalización de variables Variable dependiente

CONCEPTO	CATEGORIA	INDICADOR	ÍNDICE	TECNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Propiedades mecánicas. Están determinadas mediante ensayos que se utilizan para medir la forma en que un material resiste a una fuerza aplicada.</p>	- Ensayo de tracción	- Resistencia a la tracción.	20 - 50 Mpa	<p>- Ensayos mecánicos, físicos.</p> <p>- Observación Bibliográfica</p> <p>- Ensayo metalográfico</p>
		- Módulo de Elasticidad.	4000 - 6500 Mpa	
	- Ensayo de flexión	- Esfuerzo de flexión.	60 - 120 Mpa	
		- Módulo de flexión.	6500 - 13700 Mpa	
	- Ensayo de Dureza	- Dureza (Brinell).	50 - 300	
	- Análisis microestructural	- Componentes microestructural	Distribución del Refuerzo en la matriz. Identificación de NTC	

Fuente: Autor

3.4. Plan de Recolección de Información

La gran parte de información será obtenida de ensayos, pruebas, practicas, observaciones, ideas, fotografía, procesos, registros, experimentaciones, controles etc. Todos estos procesos serán útiles para apreciar el tipo de defecto y posibles falencias en probetas como elemento de estudio

3.5. Procesamiento y Análisis

- Revisión adecuada de la información bibliográfica recogida.
- Selección de la información más importante adquirida.
- Realizar y analizar los ensayos para obtener la información más adecuada.
- Análisis de los resultados de las pruebas basándose en estudios antepuestos.
- Interpretación de los resultados, basándose en la información obtenida (marco teórico).
- Analizar e interpretar resultados.
- Crear conclusiones y recomendaciones de los estudios realizados.

3.6. Análisis e Interpretación de Resultados

- Análisis microestructural de probeta.
- Análisis microestructural de la réplica obtenida de la muestra.
- Interpretación de los resultados, basándose en la información obtenida (marco teórico).
- Analizar y relacionar los resultados obtenidos con las diferentes partes de nuestra investigación y con los requerimientos planteados.
- Representación de los resultados obtenidos a través de tablas y gráficos
- Verificación de la hipótesis.
- Crear conclusiones y recomendaciones.

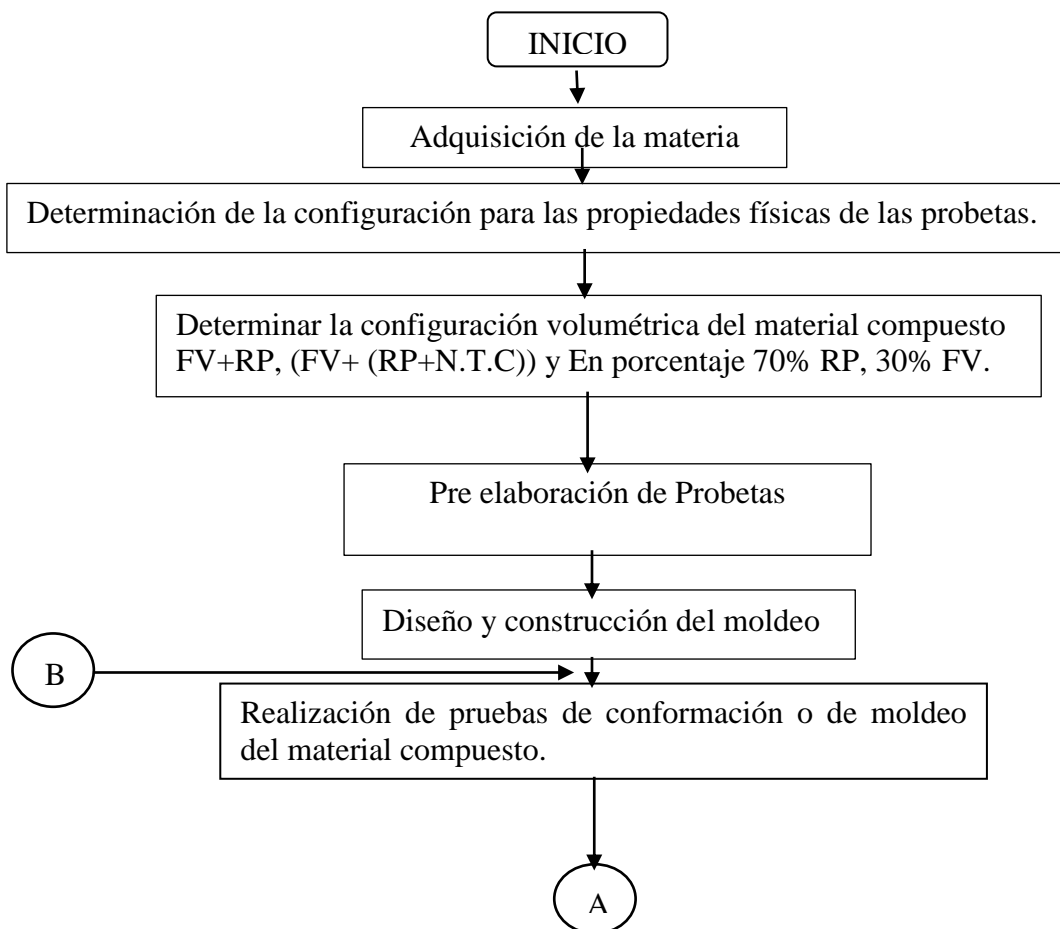
CAPÍTULO IV

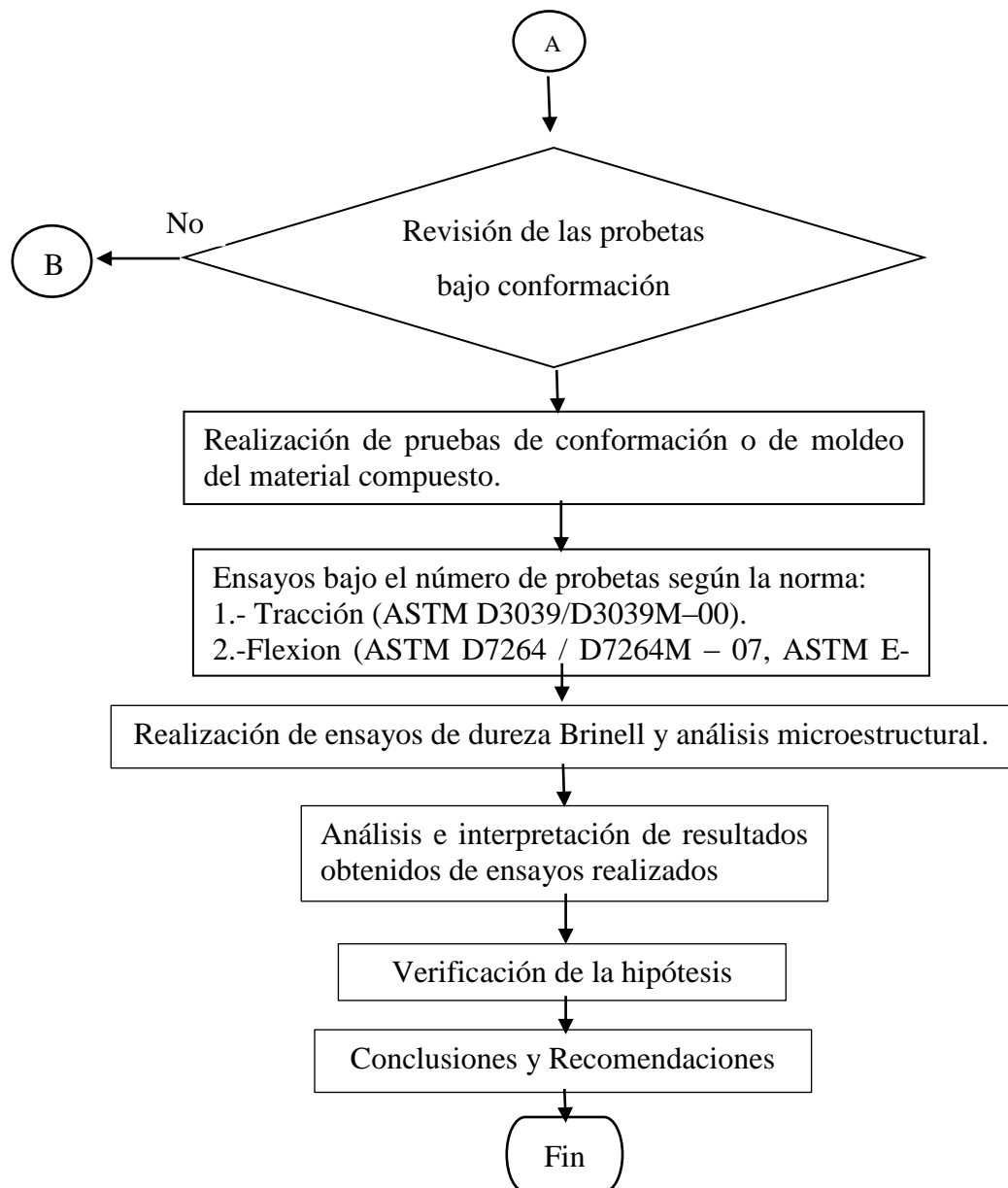
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

- Análisis de los resultados (Representación gráfica mostrando tendencias y comportamiento con su respectivo análisis).
- Verificación de hipótesis (Aplicación de pruebas estadísticas para el contraste de hipótesis).

4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1. FLUJOGRAMA PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL EN ESTUDIO





Fuente: Autor

4.1.2. MOLDEO DE PROBETAS DEL MATERIAL COMPUESTO PARA ENSAYOS

4.1.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

- Características de resina poliéster utilizada.

Ver Anexo: Ficha Técnica de Resina Poliéster.

- Características de fibra de vidrio utilizada.

Ver Anexo: Ficha Técnica de Fibra de Vidrio 375 gr/mm².

4.1.2.2. ADQUISICIÓN DE MATERIALES PARA EL MOLDEO

Para la realización del molde fue necesario requerir o adquirir un pastelón de material de nylon con la finalidad de obtener las probetas para cada ensayo (siete moldes); ya que se considera como suficiente de tal manera que se esperaría que dos probetas pudieran tener ciertos problemas de dimensionamiento, proceso de manufactura y corte.

4.1.2.3. CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE

La construcción del molde se lo hizo en “Talleres Jacob” en el sector de los tres Juanes de la ciudad de Ambato, bajo la planimetría establecida (Anexo 5).

Tabla N° 4.1: Pasos de construcción del molde

CONSTRUCCION DEL MOLDE (Ver Anexo)			
#	Segmento	Detalle	Observaciones.
1	Pastelón de Nylon	Adquisición / Compra	
2	Pastelón de Nylon	Rayado, Croquizado la zona de desbaste	Anexo de Planos
3	Pastelón de Nylon	Devastado mediante una fresa y una fresadora	

Fuente: Autor



Figura N° 4.1: Molde de Probetas para el material compuesto

4.1.2.4. DIMENSIONAMIENTO DE PROBETAS SEGÚN NORMA PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, FÍSICAS DEL MATERIAL COMPUESTO EN ESTUDIO Y DETERMINACIÓN EL NÚMERO DE PROBETAS REQUERIDAS PARA LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN, FLEXIÓN.

El dimensionamiento geométrico de las probetas está determinado para cada tipo de ensayo (Tracción, Flexión) requeridas en el estudio y que corresponden a lo determinado en las normas correspondientes, las cuales se detallan en las tablas siguientes.

Hay que considerar que el dimensionamiento de las normas a utilizar tiene los parámetros a lo largo y ancho de la probeta, así como su proceso de análisis de propiedades mecánicas correspondientes, lo que no pasa con el espesor ya que este está en función del espesor promedio determinado.

Un factor importante es que de la fracción volumétrica determinada se debe transformar correspondientemente a su peso, pues es la magnitud con lo cual la fibra de vidrio se puede manipular, controlar y preparar para su aplicación.

Este cálculo se muestra en la siguiente tabla para el desarrollo del estudio

Tabla N° 4.2: Dimensionamiento de probetas para ensayos a tracción según la norma ASTM D3039-00

DIMENSIONAMIENTO DE PROBETAS PARA ENSAYOS SEGUN NORMA LA ASTM D 3039-00						
#		% REF APROX.	N° de Probetas	Ensayos	Norma	Dimensionamiento (mm).
1	MAT FV	0%	7	Tracción	ASTM D3039-00	25 x 250 x 3,2
2	MAT FV	5%	7	Tracción	ASTM D3039-00	25 x 250 x 3,2
3	MAT FV	10%	7	Tracción	ASTM D3039-00	25 x 250 x 3,2

Fuente: Autor

Tabla N° 4.3: Dimensionamiento de probetas para ensayos a flexión según la norma ASTM D7264 – 07

DIMENSIONAMIENTO DE PROBETAS PARA ENSAYOS SUGUN NORMA LA ASTM D 7264-07						
#		% REF APROX.	N° de Probetas	Ensayos	Norma	Dimensionamiento (mm).
1	MAT FV	0%	7	Flexión	ASTM D 7264	13 x 160 x 3,2
2	MAT FV	5%	7	Flexión	ASTM D 7264	13 x 160 x 3,2
3	MAT FV	10%	7	Flexión	ASTM D 7264	13 160 x 3,2

Fuente: Autor

4.1.2.5. PROPUESTA DE CONFIGURACIÓN DEL MATERIAL DEL COMPUESTO.

En el estudio preliminar se planteó dos tipos de variables con las que se ira reiterando para determinar el mejor compuesto; siendo estas la configuración del refuerzo y las fracciones volumétricas, tanto en el material compuesto de referencia (RP+FV) como para el nuevo material propuesto (RP+FV+NTC) por lo que se propuso la siguiente tabla de valores para detallar la propuesta de configuración primeramente del refuerzo.

Tabla N° 4.4: Configuración del refuerzo.

CONFIGURACIÓN DEL REFUERZO DEL COMPUESTO		
{ Compuesto Resina Poliéster + Fibra de Vidrio + Nanotubos de Carbono }	Resina Poliéster	Orto ftálica
	Fibra de Vidrio	Mat 375 g/m ²
	Nanotubo de Carbono	Obtenido por Arco Eléctrico

Fuente: Autor

4.1.2.6. DETERMINACIÓN DE LA FRACCIÓN VOLUMÉTRICA EN PORCENTAJE DEL COMPUESTO

La determinación de las fracciones volumétricas de los componentes del compuesto (FV+RP) y NTC; es decir de los refuerzos que es la fibra de vidrio, nanotubos de carbono y de la matriz que es la resina poliéster se parte de considerar la regla de las mezclas de los compuestos por fibras, que se planteó en el literal 2.4.3.8 del capítulo II, el cual establece que:

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f$$

Donde ρ_c es la densidad del compuesto, f_m y f_f son las fracciones volumétricas de cada constituyente y sub terminaciones m y f se refiere a la matriz y a la fibra de vidrio respectivamente¹². Hay que considerar además que: $f_m = 1 - f_f$.

De las variables presentes en esta ecuación, se ha establecido la densidad del compuesto y de la matriz mediante los literales 4.1 2.1 y 4.1.2.3 de esta parte del estudio respectivamente. Ahora entramos en el proceso de cálculo de la fracción volumétrica de la fibra de vidrio que actúa como refuerzo del compuesto (ρ_c).

Densidad de la Matriz – RP (ρ_m) = 1,20 g/cc

Densidad del Refuerzo – FV (ρ_f) = 2,40 g/cc

Dimensiones de la probeta:

(270 x 185 x 3,2) mm.

(27 x 18,5 x 0,32) cm.

Calculo Del Volumen: 159,84 cm³.

Determinación del compuesto en un 70 %.

% = 159,84 x 0,70 = 108,39 cm³.

Determinación del refuerzo en un 30 %.

% = 159,84 x 0,30 = 46,45 cm³.

Determinación de la resina poliéster en 5 y 10 %

En 5%

Volumen de la resina poliéster 108,38 cm³.

$$\% = \frac{108,38 \times 5\%}{100\%} = 5,42 \text{ cm}^3.$$

0984515737 0984754194

En 10%

Volumen de la resina poliéster 108,38 cm³.

$$\% = \frac{108,38 \times 10\%}{100\%} = 10,838 \text{ cm}^3.$$

Determinación de la masa fibra de vidrio. $\delta=2,4 \text{ g/cm}^3$

$$mfv = \delta f x Vf$$

$$mfv = 2,4 \text{ g/cm}^3 \times 46,45 \text{ cm}^3$$

$$mfv = 111,48 \text{ g}$$

Determinación de la masa Resina Poliéster. $\delta=1,2 \text{ g/cm}^3$

$$mrp = \delta r p x V r p$$

$$mrp = 1,2 \text{ g/cm}^3 \times 108,39 \text{ cm}^3$$

$$mrp = 130,06 \text{ g.}$$

Peso del Vaso: 41,4 g.

Determinación del peso total en 5 % y 10%

En 5%

$$. mrp = 130,06 - 7,32$$

$$. mrp = 122,74 \text{ g}$$

Peso total

Peso total = mrp + peso del Vaso

$$pt = 122,7 + 41,4 = 164,14 \text{ g}$$

En 10%

$$mrp = 130,06 - 14,63 \text{ g.}$$

$$mrp = 115,43 \text{ g} - 41,4$$

Peso total

$M_{rp} + M_v$

115,43 + 41,4 g.

Peso total = 156,83 g

Determinación de la fracción volumétrica de las probetas de flexión.

Dimensiones del molde: (180 x 171 x 4) mm.

(18 x 17,1 x 0,4) cm.

Calculo del Volumen: 123,12 cm³.

Determinación del compuesto en un 70 %.

$\% = 123,12 \times 0,70 = 86,18 \text{ cm}^3$.

Determinación del refuerzo en un 30 %.

$\% = 123,12 \times 0,30 = 36,94 \text{ cm}^3$.

Determinación de la resina poliéster en 5 y 10 %

En 5%

Volumen de la resina poliéster 108,38 cm³.

$\% = 86,18 \times 5\% \times 100\% = 4,31 \text{ cm}^3$.

En 10%

Volumen de la resina poliéster 108,38 cm³.

$\% = 86,18 \times 10\% \times 100\% = 8,62 \text{ cm}^3$.

Determinación de la masa fibra de vidrio.

$m_{fv} = \delta_f \times V_f$

$m_{fv} = 2,4 \text{ g/cm}^3 \times 36,94 \text{ cm}^3$

$m_{fv} = 88,66 \text{ g}$

Determinación de la masa Resina Poliéster. $\delta = 1,2 \text{ g/cm}^3$.

$m_{rp} = \delta_{rp} \times V_{rp}$

$m_{rp} = 1,2 \text{ g/cm}^3 \times 86,18 \text{ cm}^3$

$$m_{rp} = 103,42 \text{ g.}$$

Determinación del peso nanotubo de carbono. $\delta = 1,35 \text{ g/cm}^3$.

Para 5%

$$m_{ntc} = \delta_{ntc} \times V_{rp} \cdot 66$$

$$m_{ntc} = 1,35 \text{ g/cm}^3 \times 4,31 \text{ cm}^3.$$

$$m_{ntc} = 5,82 \text{ g/cm}^3$$

Para 10 %

$$m_{ntc} = \delta_{ntc} \times V_{rp}.$$

$$m_{ntc} = 1,35 \text{ g/cm}^3 \times 8,62 \text{ cm}^3.$$

$$m_{ntc} = 11,64 \text{ g/cm}^3$$

Peso del Vaso: 41,4 g.

Determinación del peso total en 5 % y 10%

En 5%

$$\text{Peso total. } Pt = M_{rp} - M_{ntc} - M_v. Pt = 103,42 \text{ gr} - 5,82 \text{ gr} - 41,4 \text{ gr}. Pt = 139 \text{ gr}.$$

En 10%

$$Pt = M_{rp} - M_{ntc} - M_v.$$

$$Pt = 103,42 \text{ g} - 8,62 \text{ g} - 41,4 \text{ g}.$$

$$Pt = 136,2 \text{ g}.$$

4.1.2.7. PROPUESTA DE FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DE REFUERZO (FV+NTC) Y DE MATRIZ (RP) A UTILIZAR EN EL COMPUESTO PARA LOS PRIMEROS ENSAYOS A TRACCIÓN, FLEXIÓN.

La propuesta de la configuración de los refuerzos del material compuesto y del nuevo material compuesto que se utilizaron en la investigación, hace necesario proponer las posibles fracciones volumétricas que estas pueden alcanzar, pasando por un análisis lógico y de experiencia en el manejo del proceso de manufactura en partes y piezas en fibra de vidrio.

Los cálculos volumétricos que se proponen están en directa relación a las siguientes consideraciones:

- Materiales de Compuesto Referencial = Resina Poliéster (RP) que es la matriz + Fibra de Vidrio (FV) que es el refuerzo.
- Porcentaje Ideal de Matriz del Compuesto = 70 % según literal 4.1.2.4.
- Porcentaje Ideal de Refuerzo Total = Es el 30 % según literal 4.1.2.4.
- Porcentaje de Refuerzo Total vs el Numero de Capas = Se determina que el 30% de refuerzo corresponde a utilizar 3 capas de fibra de vidrio por unidad de área.
- Porcentaje de Refuerzo Parcial vs Numero de Capas = Se determinó que 1 capa de fibra de vidrio corresponde al 10 % del compuesto.

Se determina además que existe una razón o un factor entre el espesor ideal vs el espesor real (KER); es decir que si se considera un espesor de cada capa de fibra vidrio de 0,52 mm y si la matriz solo serviría para cubrir 122 este volumen, idealmente se debería obtener en tres capas un espesor de 1,58mm \approx 1,6mm, de lo cual bajo una estratificación manual se obtiene un espesor final de 3,2mm. De donde se obtiene que el $KER=3,2/1,6=2$.

Tabla N° 4.5: Ensayos iniciales en función del porcentaje referencial calculado.

ENSAYOS INICIALES EN FUNCION DEL PORCENTAJE REFERENCIAL CALCULADO DE REFUERZO (30%) – NUMERO DE CAPAS DE LAS FIBRAS Vs. (0%-5%-10%) DE REFUERZO CON NANOTUBOS DE CARBONO							
#	Configuración del refuerzo	% REF APROX.	# Capas FV 375	Orden de Capas	# de Probetas para Ensayos		
					Tracción	Flexión	Dureza
1	Mat. de Fib. Vidrio 375	0%	3(30%)	FV-FV-FV	7	7	1
2	Mat. de Fib. Vidrio 375	5%	3(30%)	FV-FV-FV	7	7	1
3	Mat. de Fib. Vidrio 375	10%	3(30%)	FV-FV-FV	7	7	1
Número Total de Probetas					21	21	3

Fuente: Autor

4.1.2.8. DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROBETAS PARA LAS PROPIEDADES FÍSICAS

Mediante el molde ya establecido se obtuvo unas muestras rectangulares 270mm x 185mm x 2,5mm, y 180mm x 171mm x 4mm del material compuesto con las características físicas, químicas.

De las muestras realizadas se procedió a obtener las probetas para la realización de los ensayos referenciales de propiedades mecánicas, con las cuales se determinaron las propiedades físicas, bajo sustento de las normas correspondientes como se describe o se suscribe a continuación en la tabla (4.1).

Tabla N° 4.6: Adquisición de Probetas de Muestras (270mm x 185mm x 2,5mm) y (y 180mm x 171mm x 4mm)

DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y FISICAS RESINA POLIESTER + FIBRA DE VIDRIO				
# CAPAS	#. DE PROBETAS	ENSAYOS	NORMA	DIMENSIONES (mm).
3	7	TRACCIÓN	ASTM-D3039	25 x 250 x 2,5
3	7	FLEXIÓN	ASTM-D7264	13 x 160 x 4

Fuente: Autor

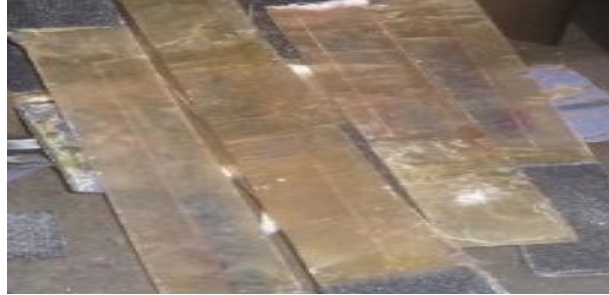


Figura N° 4.2: Probetas Referenciales para ensayos a Tracción sin nanotubos de carbono (25x250xe) mm
Fuente: Autor

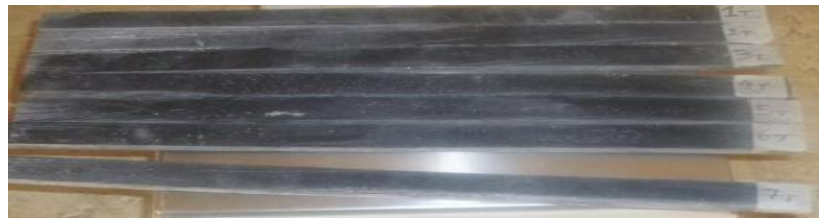


Figura N° 4.3: Probetas Referenciales para ensayos a Tracción (25x250xe) mm
Fuente: Autor

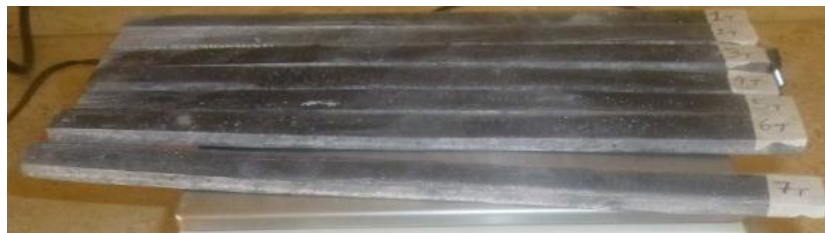


Figura N° 4.4: Probetas Referenciales para ensayos a Flexión (13x160xe) mm
Fuente: Autor

La determinación de las propiedades físicas se realizó individualmente en las que también se determinó el peso, volumen y densidad respectivamente mediante procesos experimentales:

Peso y Volumen: Por el método de corte mediante la amoladora eléctrica con su disco de corte de las probetas y el tipo de estratificación manual utilizado, se conlleva a obtener pequeñas variaciones en las dimensiones entre las 7 probetas que se obtuvieron para cada ensayo, por lo que habrán diferencias de ancho y largo que influenciará directamente en la obtención del peso y del volumen de las probetas, con lo cual no se obtiene espesores constantes en las superficies de las probetas por el tipo de proceso de estratificación manual.

Para la obtención de los pesos de las diversas probetas se ha utilizado una balanza digital, de marca BOECO, de origen alemana con un rango de tolerancia de $\pm 0,1$ gramos y su capacidad máxima de 6100 gramos.



Figura N°4.5: Balanza BOECO y calibrador pie de rey vernier

Fuente: Autor

Con la ayuda de un calibrador se determinó las dimensiones de ancho y para la determinación del largo se utilizó un flexo metro de unidades en mm y 3m de longitud.

Espesor: la determinación del espesor se lo hizo con el calibrador pie de rey antes ya mencionado, considerando que el espesor del material compuesto (FV+RP) que se estableció con referencia de las normas de aplicación de los ensayos detallados en la tabla 4.2 ya que el espesor está en función del número de capas del refuerzo actual (fibra de vidrio) que son en todos los casos un numero de 2 capas para las probetas tracción y 3 capas las probetas de flexión , por lo que para el estudio se ha determinar un espesor promedio como referente para el dimensionamiento y aplicación del nuevo material compuesto que se desea obtener.

Tabla N° 4.7: Determinación de propiedades físicas del compuesto (FV + RP)

#	Comp.	Ensayo	Cód.	Peso g	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Vol. (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	FV + RP	TRACCION	(FV + RP) 1	18,1	3,87	23,94	250	23,2	0,78
2	FV + RP	TRACCION	(FV + RP) 2	17,5	3,67	24	250	22	0,79
3	FV + RP	TRACCION	(FV + RP) 3	18,3	4,56	23,81	250	27,1	0,67
4	FV + RP	TRACCION	(FV + RP) 4	17,7	3,15	24,24	250	19,1	0,93
5	FV + RP	TRACCION	(FV + RP) 5	17,6	3,16	24,14	250	19,1	0,92
6	FV + RP	TRACCION	(FV + RP) 6	20,2	3,02	24,46	250	18,5	1,09
7	FV + RP	TRACCION	(FV + RP) 7	17,9	4,51	24,37	250	27,5	0,65
			Pmd	18,2	3,71	24,14	250	22,4	0,84

Fuente: Autor

Tabla N° 4.8: Determinación de propiedades físicas del compuesto ((FV + RP).

#	Comp.	Ensayo	Cód.	Peso g	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Vol. (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	FV + RP	FLEXIÓN	(FV + RP) 1	10,6	4,12	13,62	160	8,75	1,21
2	FV + RP	FLEXIÓN	(FV + RP) 2	9,5	3,62	12,67	160	7,34	1,29
3	FV + RP	FLEXIÓN	(FV + RP) 3	9,6	3,71	12,94	160	7,68	1,25
4	FV + RP	FLEXIÓN	(FV + RP) 4	10,5	4,59	13,24	160	8,71	1,21
5	FV + RP	FLEXIÓN	(FV + RP) 5	9,2	4,21	13,41	160	7,93	1,02
6	FV + RP	FLEXIÓN	(FV + RP) 6	10,8	3,61	13,89	160	9,03	1,35
7	FV + RP	FLEXIÓN	(FV + RP) 7	10,3	3,73	13,19	160	7,87	1,31
			Pmd	10,1	3,94	13,24	160	8,2	1,23

Fuente: Autor

Tabla N° 4.9: Determinación de propiedades físicas del compuesto (FV + RP+NTC 5%).

#	Comp.	Ensayo	Cód.	Peso g	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Vol. (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	FV+RP+NTC 5%-1	TRACCION	FV+ RP+NTC	23,4	4,13	24,63	250	25,43	0,92
2	FV+RP+NTC 5%-2	TRACCION	FV+ RP+NTC	23,5	4,38	24,54	250	26,87	0,87
3	FV+RP+NTC 5%-3	TRACCION	FV+ RP+NTC	24,1	4,35	24,63	250	26,79	0,90
4	FV+RP+NTC 5%-4	TRACCION	FV+ RP+NTC	24,3	4,27	24,25	250	25,89	0,94
5	FV+RP+NTC 5%-5	TRACCION	FV+ RP+NTC	25	3,94	23,98	250	23,62	1,06
6	FV+RP+NTC 5%-6	TRACCION	FV+ RP+NTC	24,3	4,51	23,87	250	26,91	0,9
7	FV+RP+NTC 5%-7	TRACCION	FV+ RP+NTC	23,6	4,27	24,35	250	25,99	0,91
			Pmd	24,03	4,22	24,32	250	25,57	0,95

Fuente: Autor

Tabla N° 4.10: Determinación de propiedades físicas del compuesto (FV + RP)+NTC 5%)

#	Comp.	Ensayo	Cód.	Peso g	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Vol. (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	FV + RP+NTC 5%-1	FLEXION	FV RP+NTC +	9,7	4,16	13,11	160	8,73	1,11
2	FV + RP+NTC 5%-2	FLEXION	FV RP+NTC +	10,2	3,26	13,85	160	7,22	1,41
3	FV + RP+NTC 5%-3	FLEXION	FV RP+NTC +	10,1	4,12	13,45	160	8,87	1,14
4	FV + RP+NTC 5%-4	FLEXION	FV RP+NTC +	9,3	4,25	12,86	160	8,74	1,06
5	FV + RP+NTC 5%-5	FLEXION	FV RP+NTC +	9,2	4,37	13,22	160	9,24	1,00
6	FV + RP+NTC 5%-6	FLEXION	FV RP+NTC +	9,7	3,49	13,13	160	7,33	1,32
7	FV + RP+NTC 5%-7	FLEXION	FV RP+NTC +	9,3	3,83	13,32	160	8,16	1,14
			Promedio	9,64	3,93	13,28	160	8,33	1,17

Fuente: Autor

Tabla N° 4.11: Determinación de propiedades físicas del compuesto (FV + RP)+NTC-10%)

#	Comp.	Ensayo	Cód.	Peso g	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Vol. (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	FV+ RP+NTC 10%-1	TRACCION	FV+ RP+NTC	23,0	4,31	23,91	250	25,76	0,89
2	FV+ RP+NTC 10%-2	TRACCION	FV+ RP+NTC	22,5	4,36	23,62	250	25,75	0,87
3	FV+ RP+NTC 10%-3	TRACCION	FV+ RP+NTC	24,7	4,22	23,79	250	25,10	0,98
4	FV+ RP+NTC 10%-4	TRACCION	FV+ RP+NTC	24,9	4,13	23,76	250	24,53	1,01
5	FV+ RP+NTC 10%-5	TRACCION	FV+ RP+NTC	25,1	4,48	23,92	250	26,79	0,94
6	FV+ RP+NTC 10%-6	TRACCION	FV+ RP+NTC	23,4	4,01	23,59	250	23,65	0,99
7	FV+ RP+NTC 10%-7	TRACCION	FV+ RP+NTC	24,2	4,14	24,04	250	24,88	0,97
			Promedio	23,97	4,24	23,8	250	25,21	0,95

Fuente: Autor

Tabla N° 4.12: Determinación de propiedades físicas del compuesto (FV + RP)+NTC)

#	Comp.	Ensayo	Cód.	Peso g	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Vol. (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	FV+RP+NTC10%-1	FLEXION	FV+ RP+NTC	9,1	4,05	13,32	160	8,63	1,05
2	FV+RP+NTC10%-2	FLEXION	FV+ RP+NTC	8,9	4,21	12,96	160	8,73	1,02
3	FV+RP+NTC10%-3	FLEXION	FV+ RP+NTC	8,9	4,28	13,05	160	8,94	1,00
4	FV+RP+NTC10%-4	FLEXION	FV+ RP+NTC	9,2	4,11	13,24	160	8,71	1,06
5	FV+RP+NTC10%-5	FLEXION	FV+ RP+NTC	9,2	3,69	13,43	160	7,93	1,16
6	FV+RP+NTC10%-6	FLEXION	FV+ RP+NTC	9,5	3,92	12,85	160	8,06	1,18
7	FV+RP+NTC10%-7	FLEXION	FV+ RP+NTC	10,3	4,37	12,69	160	8,87	1,16
			Pmd	9,3	4,09	13,08	160	8,55	1,09

Fuente: Autor

Se determinaron los espesores promedio de las probetas y que servirá como parámetro para el resto de la investigación

4.1.2.9. PRUEBAS DE MOLDEO PARA LAS PROBETAS TESTIGO (FV+RP) Y PROBETAS (FV+RP+N.T.C)).


Para las pruebas que se ejecutaron luego de haber hecho el molde en material nylon como matriz, las probetas de material compuesto (3 capas de FV + RP), y compuestos de (FV+RP+N.T.C)) pero ya con la limitación del espesor que indica y está configurado en el molde (e=3,2mm).

4.1.2.10. PROCESO DE ESTRATIFICACIÓN DE PROBETAS DE TRACCIÓN, FLEXIÓN.

En el proceso de obtención de las probetas requeridas para la determinación mecánica de las de tracción, flexión está bajo el procedimiento establecido para la obtención de un componente.


Este procedimiento se lo aplico también para el nuevo material compuesto; ya que están sujetas al mismo componente que es la Resina Poliéster.

Tabla N° 4.13: Dimensionamiento de probetas para ensayos a tracción según la norma ASTM D3039-00

#	CONFIGURACIÓN	% REF APROX.	N° DE PROBETAS	DIMENSIONAMIENTO (mm).	IMAGEN REFERENCIA
1	MAT. FV	0	7	25 x250 x 3,2	
2	MAT. FV	5	7	25 x250 x 3,2	
3	MAT. FV	10	7	25 x250 x 3,2	

Fuente: Autor

Tabla N° 4.14: Dimensionamiento de probetas para ensayos a flexión según la norma ASTM D7264 – 07

#	CONFIGURACIÓN	% REF APROX.	N° DE PROBETAS	DIMENSIONAMIENTO (mm).	IMAGEN REF.
1	MAT. FV	0	7	13 x 160 x 3,2	
2	MAT. FV	5	7	13 x 160 x 3,2	
3	MAT. FV	10	7	13 x 160 x 3,2	

Fuente: Autor

Para la realización de las probetas que se las realizo en el molde anteriormente descrito con la finalidad de obtener las probetas para cada ensayo (siete moldes); ya que se considera como suficiente de tal manera que se esperaría que dos probetas pudieran tener ciertos problemas de dimensionamiento, proceso de manufactura y corte.

4.1.2.11. ENSAYOS Y CARACTERIZACION DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS (TRACCIÓN, FLEXIÓN)

De la fabricación de las probetas se obtuvo las siguientes muestras

- 7 probetas de resina poliéster más fibra de vidrio, para ensayos de flexión (RP+FV) como probetas testigos.
- 7 probetas de resina poliéster más fibra de vidrio, para ensayos de tracción (RP+FV) como probetas testigos.
- 7 probetas para flexión de resina poliéster y fibra de vidrio más nanotubos de carbono en 5% ((FV + RP)+NTC) 5%.
- 7 probetas para tracción de resina poliéster y fibra de vidrio más nanotubos de carbono en 5% ((FV + RP)+NTC) 5%.
- 7 probetas para flexión de resina poliéster y fibra de vidrio más nanotubos de carbono en 10% ((FV + RP)+NTC) 10%.
- 7 probetas para tracción de resina poliéster y fibra de vidrio más nanotubos de carbono en 10% ((FV + RP)+NTC) 10%.

Los que colaboraron con esta investigación, se procedió a caracterizar mecánicamente mediante ensayos destructivos (Tracción, Flexión) bajo las siguientes consideraciones:

Tabla N° 4.15: Especificaciones Técnicas del Ensayo de Tracción.

#	CARACTERÍSTICAS	DETALLE	OBS.
1	Dimensionamiento de probetas (mm)	250x25x2,5	
2	Componente de Matriz	Resina Poliéster	
3	Componente de Refuerzo	Fibra de Vidrio	e = 0,83 mm
4	Tipo de estratificación	Manual	
5	Tiempo de curado antes de los ensayos	10 Días	
6	Norma a utilizar.	ASTM D3039-00	e = 2,5 mm
7	Equipo de ensayo.		
8	Velocidad de Ensayo.	500 mm/ min.	

Fuente: Autor

Con las consideraciones y bajo el sentido de carga que muestra la figura 4.5 Se pasó a proceder los ensayo de tracción donde se determinó y valoró el esfuerzo máximo a tracción (σ_{max}), elongación de ruptura (ϵ) con su correspondiente porcentaje de deformación y módulo de elasticidad (E).



Figura N° 4.6: Dimensionamiento de la Probeta Bajo la norma ASTM D3039-00 y Maquina Universal de ensayos Tinius Olsen, modelo H25KS

Fuente: Autor

Esfuerzo máximo a tracción: Se elaboraron siete probetas de cada ejemplar (0%, 5%,10%) del nuevo compuesto en función de los cálculos y tipo de configuración y fracción volumétrica establecido, bajo características geométricas establecidas en la Norma ASTM D3039-00.

El esfuerzo máximo se tiene de igual manera que se lo realizo para los ensayos preliminares; es decir bajo la relación:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \text{ Donde:}$$

σ_{max} = esfuerzo máximo (Mpa).

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




A = área de la sección transversal de la probeta (mm²)

La valorización de los datos después de la caracterización de las siete probetas bajo las condiciones indicadas en la tabla anterior. Obteniendo los siguientes resultados.

4.1.2.12. RESUMEN DE ENSAYOS DE LAS PROBETAS TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO TESTIGO (FV+RP) Y EL NUEVO MATERIAL COMPUESTO ((FV+RP) + NTC).

Los ensayos de tracción tanto para las nuevas probetas del nuevo material compuesto y para las probetas testigos se calculó o se determinó mediante lo establecido y es decir bajo las mismas consideraciones de las normas.

Tabla N° 4.16: Ficha Técnica 1. Evaluación de propiedades mecánicas del ensayo a tracción de siete diferentes casos.

		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIAL COMPUESTO		REG: MCH 001 - T
COMPUESTO - PROBETA TESTIGO				
Fecha:	26-may-14	Cuidad:	Quito	
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional			
Maquina:	Maquina Universal Tinius Olsen			
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D 3039	
Configuración:	Mat de FV.	Estratificación:	Compresión	
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%	
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%	
Orden de Capas:	FV+FV+FV	Número de probetas	7	
Dimensión de Probeta (mm).	250 x 25 x e	Velocidad de Ensayo	500 mm/min.	
Espesor Promedio (mm)	3,71	Responsable:	Byron Salazar	
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO				
				
Zona de fractura:	Parte superior de agarre de mordaza.			
Tipo de falla:	Comportamiento Frágil.			
Inicio de falla:	Falla tanto en la matriz como en la fibra.			
Observación:				
GRAFICAS				
				

EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES	
Del análisis de este material compuesto se determina que:	
Esfuerzo Máximo promedio:	20,93 Mpa.
Módulo de Elasticidad Promedio:	17037,65 Mpa.
Espesor real promedio:	3,71 mm.

DATOS Y RESULTADOS					
Número de la probeta	Deformación Máxima (mm).	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
Probeta testigo 1	0,128	1605,81	17,33	0,00128	13540,95
Probeta testigo 2	0,402	2633,35	29,89	0,00404	7400.31
Probeta testigo 3	0,180	2437,62	22,45	0,00180	12472,95
Probeta testigo 4	0,394	1178,78	15,44	0,00396	3898,47
Probeta testigo 5	0,088	1530,19	20,06	0,00088	22794,93
Probeta testigo 6	0,044	1619,15	21,92	0,00044	49816,25
Probeta testigo 7	0,208	2135,35	19,43	0,00208	9339,70
Promedio	0,296	1877,179	20,931	0,002	17037,65
Desv.	0,132	492,939	4,65	0,001	14468,89

Fuente: Autor

Tabla N° 4.17: Evaluación y observaciones

EVALUACION Y OBSEVACIONES	
Del análisis de este material compuesto se determina que:	
Esfuerzo Máximo promedio:	20.931 Mpa.
Módulo de Elasticidad Promedio:	17037,65 Mpa.
Espesor real promedio:	3,71 mm.

Fuente: Autor

La recopilación, toma de datos y el análisis de las propiedades mecánicas a Tracción del material compuesto FV+RP, como prueba testigo y la de fracción volumétrica 30% de matriz (RP) y 70% de refuerzo (Tres capas de FV), se realizó un balance estadístico de este compuesto.

De la recolección de datos y la observación de las propiedades mecánicas a Tracción por medio de los ensayos se obtuvo la siguiente configuración:

De fibra vidrio más resina poliéster, con respecto a las diferentes configuraciones de fibra de vidrio más resina poliéster más el material de refuerzo de nanotubos de carbono 5% y la configuración de fibra de vidrio más resina poliéster más el material de refuerzo de nanotubos de carbono 10%.

En donde los resultados promedio de Espesor Promedio, Esfuerzo Máximo y Modulo de Elasticidad se pudo determinar el siguiente comportamiento a la combinación de propiedades mecánicas a tracción; de la configuración de:

Fibra vidrio más resina poliéster presenta un bajo esfuerzo máximo a tracción y que no está dentro del desviación estándar esperada, respecto al 95% de nivel de confianza; por lo que se determina que este Tipo de configuración es quien pasa a la siguiente etapa del estudio y que se refleja en la siguiente tabla de evaluación de resultados.

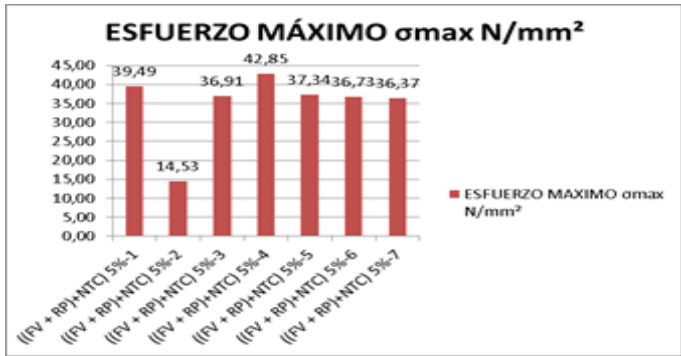
Tabla N° 4.18: Ficha técnica 2: Análisis de la Configuración de Refuerzo de Fibra de Vidrio y Nanotubos de Carbono (5%)

		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO		REG: MCH 001 - T
NUEVO MATERIAL COMPUESTO MAS NANOTUBOS DE CARBONO EN UN 5%				
Fecha:	26-may-14	Cuidad:	Quito	
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional			
Maquina:	Maquina Universal Tinius Olsen			
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D 3039	
Configuración:	Mat de FV+RP+NTC5%	Estratificación:	Compresión	
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%	
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%	
Orden de Capas:	FV+FV+FV	Número de probetas	7	
Dimensión de Probeta (mm).	250 x 25 x e.	Velocidad de Ensayo	500 mm/min.	
Espesor Promedio (mm)	4,26	Responsable:	Byron Salazar	
FOTOGRAFIAS DEL ENSAYO				
				

DATOS Y RESULTADOS						
Número de la probeta	Deformación Máxima (mm).	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	
FV+RP+ (NTC-5%)	0,200	3696,47	39,49	0,0020	19747,37	
FV+RP+ (NTC-5%)	0,239	1561,33	14,53	0,0024	6052,50	
FV+RP+ (NTC-5%)	0,259	3954,47	36,91	0,0026	14195,85	
FV+RP+ (NTC-5%)	0,208	3740,95	42,85	0,0021	20601,76	
FV+RP+ (NTC-5%)	0,160	3402,89	37,34	0,0016	23339,69	
FV+RP+ (NTC-5%)	0,204	3313,92	36,73	0,002	18003,94	

Zona de fractura:		Parte superior de agarre de mordaza.
Tipo de falla:		Comportamiento Frágil.
Inicio de falla:		Falla tanto en la matriz como en la fibra.
Observación:		

GRAFICAS



FV+RP+ (NTC-5%)	0,140	2904,69	36.37	0,0014	25977.60
Promedio	0,201	3224,96	34.89	0,002	18274.60
Desv.	0,042	809,379	9.26	0.0004	6565.89

Fuente: Autor

Tabla N° 4.19: Resultados

EVALUACION Y OBSEVACIONES	
Del análisis de este material compuesto se determina que:	
Esfuerzo Máximo promedio:	34.89 Mpa.
Módulo de Elasticidad Promedio:	18274.60 Mpa.
Espesor real promedio:	4,26 mm.


Fuente: Autor

De los datos y el análisis de las propiedades mecánicas a Tracción que se obtuvo de la configuración de Fibra Vidrio + Resina Poliéster + Nanotubos de Carbono en un 5%.

Respecto a los resultados promedio de Espesor Promedio, Esfuerzo Máximo y Modulo de Elasticidad se determina:

Que los compuestos ofrecen un mayor comportamiento a la combinación de propiedades mecánicas a tracción; mientras que el compuesto de la fibra de vidrio y resina poliéster presenta un menor comportamiento a las propiedades mecánicas, por lo que se determina que este Tipo de configuración es quien pasa a la siguiente etapa del estudio y que se refleja en la siguiente tabla de evaluación de resultados.

Tabla N° 4.20: Ficha técnica 3: Análisis de la Configuración de Refuerzo de Fibra de Vidrio y Nanotubos de Carbono (10%)

		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO		REG: MCH 001 - T
NUEVO MATERIAL COMPUESTO MAS NANOTUBOS DE CARBONO EN UN 10%				
Fecha:	26-may-14	Cuidad:	Quito	
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional			
Maquina:	Maquina Universal Tinius Olsen			
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D 3039	

Configuración:	FV+RP+NTC10%	Estratificación:	Compresión
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%
Orden de Capas:	FV+FV+FV	Número de probetas	7
Dimensión de Probeta (mm).	250 x 25 x e	Velocidad de Ensayo	500 mm/min.
Espesor Promedio (mm)	4,24	Responsable:	Byron Salazar

DATOS Y RESULTADOS					
Número de la probeta	Deformación Máxima (mm).	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
FV+RP+ NTC-10%1	0,406	2442,07	23,70	0,0041	5808,19
FV+RP+ NTC-10%2	0,438	1805,98	17,54	0,0044	3985,60
FV+RP+ NTC-10%3	0,247	1690,32	16,84	0,0025	6790,32
FV+RP+ NTC-10%4	0,355	3745,4	38,17	0,0036	10721,91
FV+RP+ NTC-10%5	0,486	3990,05	37,23	0,0049	7629,91
FV+RP+ NTC-10%- 6	0,410	3211,61	33,95	0,0041	8240,49
FV+RP+ NTC-10%7	0,406	3692,02	37,1	0,0041	9092,20
Promedio	0,393	2939,64	29,22	0,0039	7466,70
Desv.	0,075	956,23	9,57	0,001	2205,62

FOTOGRAFIAS DEL ENSAYO



Zona de fractura:	Parte superior de agarre de mordaza.
Tipo de falla:	Comportamiento Frágil.
Inicio de falla:	Falla tanto en la matriz como en la fibra.

GRAFICAS

	Esfuerzo Maximo σ_{max} N/mm ²	
--	--	--

EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES	
Del análisis de este material compuesto se determina que:	
Esfuerzo Máximo promedio:	29,22 Mpa.
Módulo de Elasticidad Promedio:	7466,70 Mpa.
Espesor real promedio:	4,24 mm.

Fuente: Autor

De los datos y el análisis de las propiedades mecánicas a Tracción que se obtuvo de la configuración de Fibra Vidrio + Resina Poliéster + Nanotubos de Carbono en un 10%.

Respecto a los resultados promedio de Espesor Promedio, Esfuerzo Máximo y Modulo de Elasticidad.

Se determina que el compuesto ofrece un menor comportamiento a la combinación de propiedades mecánicas a tracción; mientras que el compuesto de la fibra de vidrio y resina poliéster también presenta un menor comportamiento a las propiedades mecánicas, por lo que se determina que este Tipo de configuración es quien pasa a la siguiente etapa del estudio y que se refleja en la siguiente tabla de evaluación de resultados.

Tabla N° 4.21: Resultados de Propiedades Mecánicas a Tracción.

Refuerzo y Fracción Volumétrica	PROBETAS	$\sigma_{max.}$ (Mpa)	Elongación mm/mm	Módulo de Elasticidad (Mpa)
Mat. De FV	(FV + RP)	20.93	0,02	17037.65

(3 capas) 30%	((FV + RP)+NTC) 5%	34,89	0,02	18274.60
	((FV + RP)+NTC) 10%	29,22	0,004	7466.70
	Promedio	27.13	-	14259.65

Fuente: Autor

4.1.2.13. RESUMEN DE GRÁFICAS DE LOS ENSAYOS A TRACCIÓN DE LOS TRES CASOS PROPUESTOS

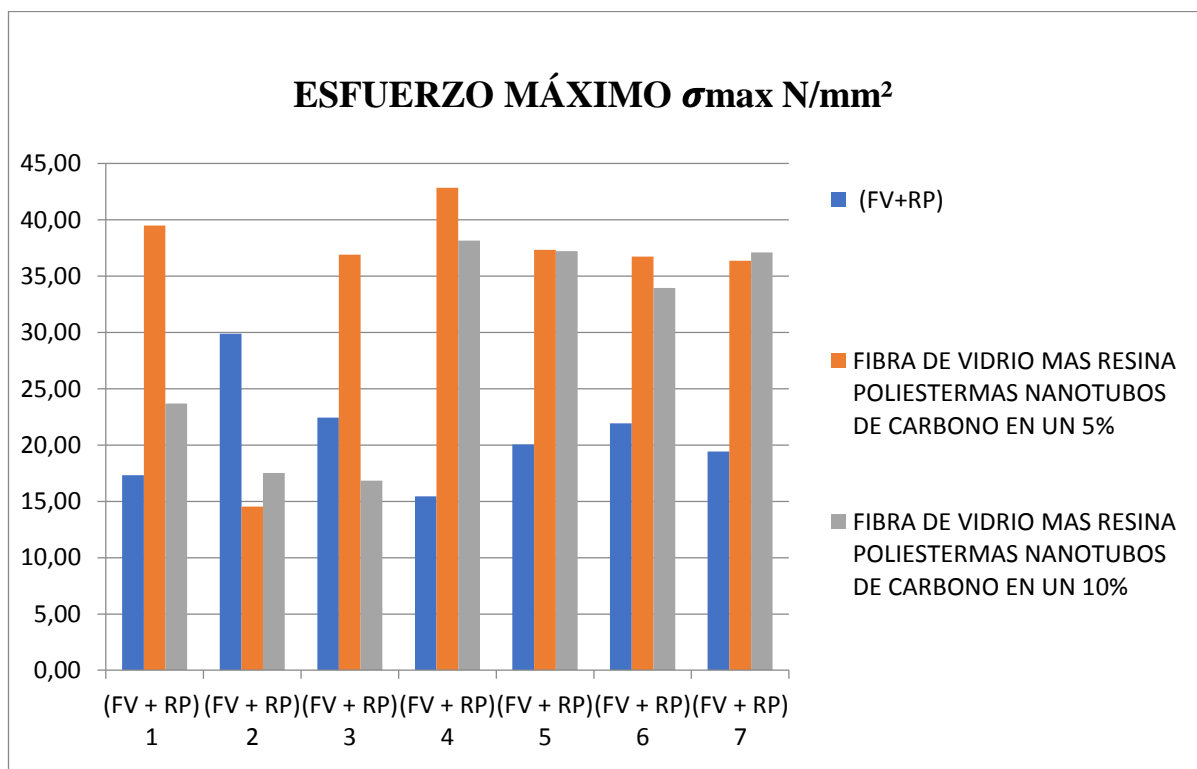


Figura N° 4.7: Esfuerzo Máximo a Tracción Parciales de Ensayos (Siete Probetas)
Fuente: Autor

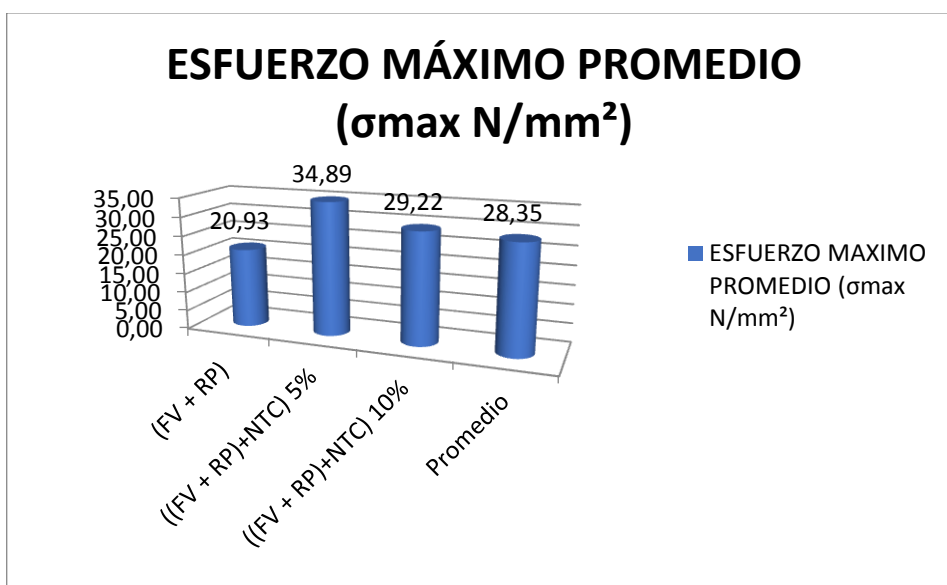


Figura N° 4.8: Esfuerzo Máximo a Tracción de Ensayos (Promedio)
Fuente: Autor

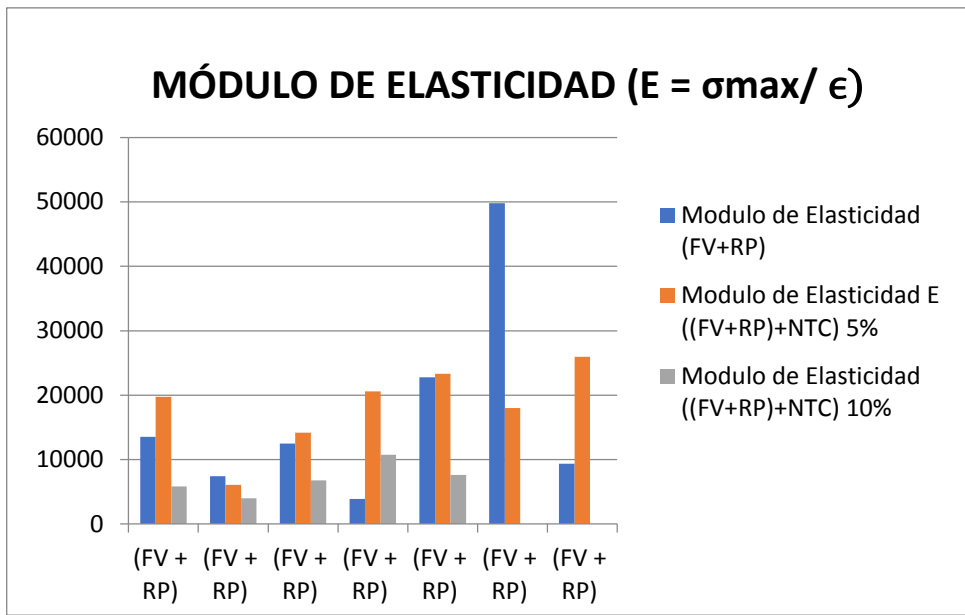


Figura N° 4.9: Módulo de Elasticidad Parciales de Ensayos (Siete Probetas)
Fuente: Autor

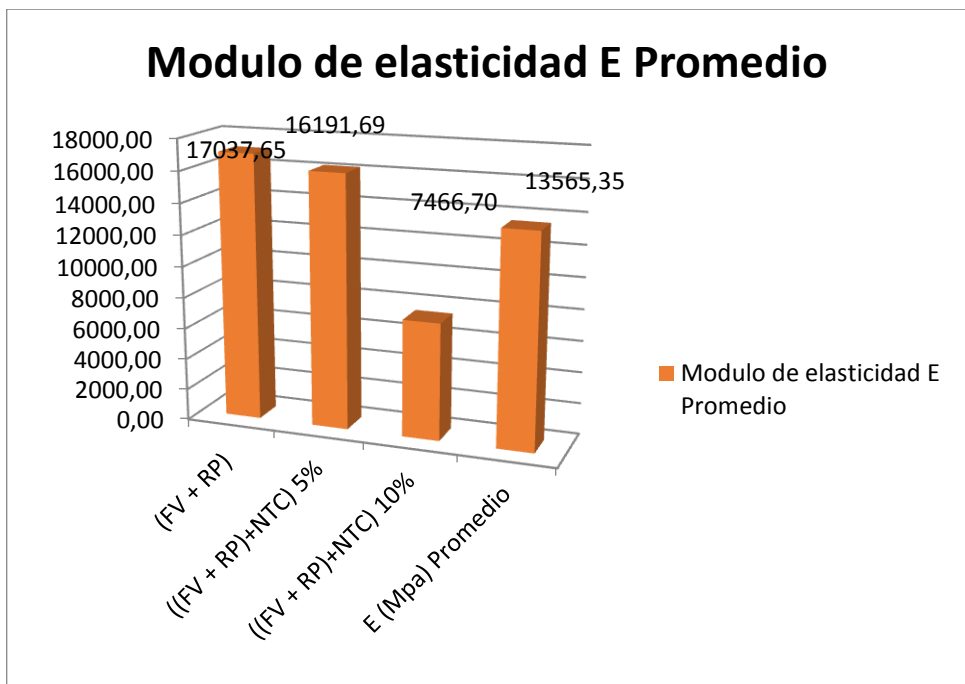


Figura N° 4.10: Módulo de Elasticidad (Promedio)
Fuente: Autor

4.1.2.14.DEDUCIMIENTO POR ELIMINACIÓN DE MÁXIMOS Y MINIMOS EN VALORES DE LOS ENSAYOS A TRACCIÓN.

En esta parte del capítulo IV se realizó un deducimiento por eliminación de máximos y mínimos de los 7 valores de los ensayos de Tracción ya ensayadas, con este método deducimos con 5 valores por cada ensayo: 5 valores de ensayos de la probeta testigo, 5 valores de la probeta de Fibra de vidrio más resina poliéster más nanotubos de carbono en 5% y 5 valores de la probeta de Fibra de vidrio más resina poliéster más nanotubos de carbono en un 10%.

Tabla N° 4.22: Datos y resultados de las 5 probetas testigos

DATOS Y RESULTADOS DE LA PROBETA TESTIGO					
Número de la probeta	Deformación Máxima (mm).	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
Probeta testigo 1	0,128	1605,81	17,33	0,00128	13540,95
Probeta testigo 3	0,180	2437,62	22,45	0,00180	12472,95
Probeta testigo 5	0,088	1530,19	20,06	0,00088	22794,93
Probeta testigo 6	0,044	1619,15	21,92	0,00044	49816,25
Probeta testigo 7	0,208	2135,35	19,43	0,00208	9339,70
Promedio	0,129	1865.58	20,24	0,00130	21592.96
Desv.	0,066	400.19	2.05	0,00067	16554.08

Fuente: Autor

Tabla N° 4.23: Datos y resultados de las 5 probetas de Fibra de Vidrio más Resina Poliéster más Nanotubos de Carbono 5%

DATOS Y RESULTADOS FIBRA DE VIDRIO MÁS RESINA POLIÉSTER MÁS NANOTUBOS DE CARBONO 5%					
Número de la probeta	Deformación Máxima (mm).	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
FV+RP+ (NTC-5%)	0,200	3696,47	36,34	0,0020	18169,49
FV+RP+ (NTC-5%)	0,208	3740,95	36,13	0,0021	17369,17
FV+RP+ (NTC-5%)	0,160	3402,89	36,02	0,0016	22510,36
FV+RP+ (NTC-5%)	0,204	3313,92	30,78	0,0020	15089,78
FV+RP+ (NTC-5%)	0,140	2904,69	27,94	0,0014	19954,69
Promedio	0,182	3411.78	33,44	0,0018	18618,70
Desv.	0,030	337.71	3,86	0.0003	2790,44

Fuente: Autor

Tabla N° 4.24: Datos y resultados de las 5 probetas de Fibra de Vidrio más Resina Poliéster más Nanotubos de Carbono 10%

DATOS Y RESULTADOS FIBRA DE VIDRIO MÁS RESINA POLIÉSTER MÁS NANOTUBOS DE CARBONO 10%					
Número de la probeta	Deformación Máxima (mm).	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
FV+RP+ (NTC-10%)	0,406	2442.07	23.70	0,0041	5808.19
FV+RP+ (NTC-10%)	0,438	1805.98	17.54	0,0044	3985.60
FV+RP+ (NTC-10%)	0,486	3990.05	37.23	0,0049	7629.91
FV+RP+ (NTC-10%)	0,410	3211.61	33.95	0,0041	8240.49
FV+RP+ (NTC-10%)	0,406	3692.02	37.10	0,0041	9092.20
Promedio	0,429	3028.35	29.90	0,004	6951,28
Desv.	0,034	899.56	8.85	0.001	2049,88

Fuente: Autor

Tabla N° 4.25: Resultados Promedios de Ensayos Mecánicos a Tracción.

Refuerzo y Fracción Volumétrica	PROBETAS	σ_{max} . (Mpa)	Elongación mm/mm	Módulo de Elasticidad (Mpa)
Mat. De FV (3 capas) 30%	(FV + RP)	20.24	0.00130	21592.96
	((FV + RP)+NTC) 5%	33,44	0,00180	18618,70
	((FV + RP)+NTC) 10%	29.90	0,00431	6951.28
	Promedio	29.57	0.0025	16692.77

Fuente: Autor

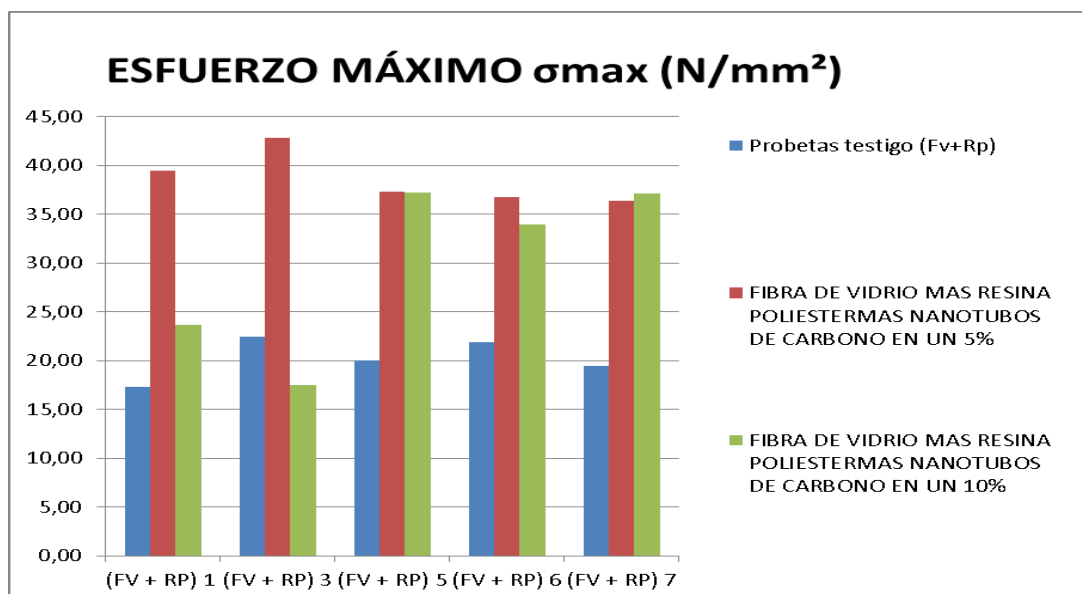


Figura N° 4.11: Representación gráfica del esfuerzo máximo de 5 probetas por caso

Fuente: Autor

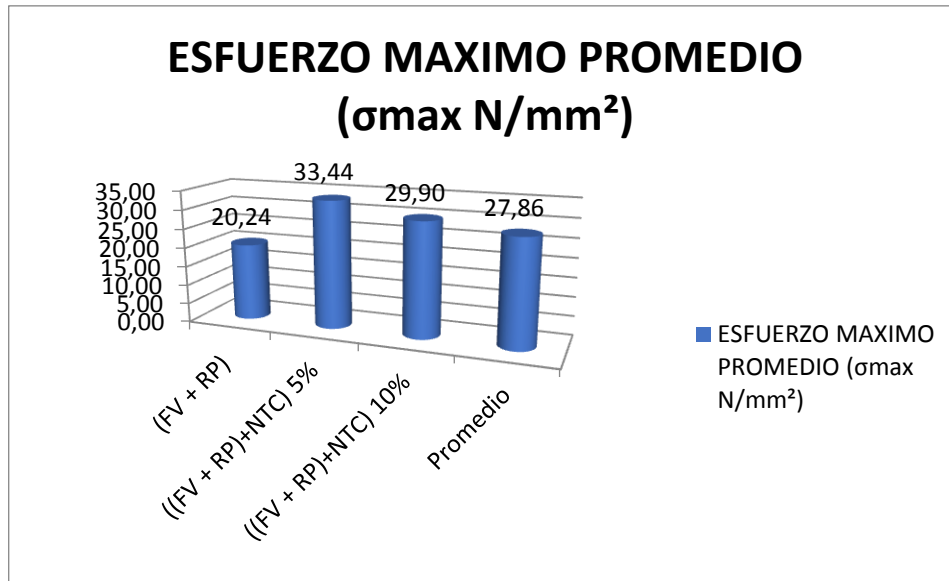


Figura N° 4.12: Representación gráfica del esfuerzo máximo promedio de 5 probetas

Fuente: Autor

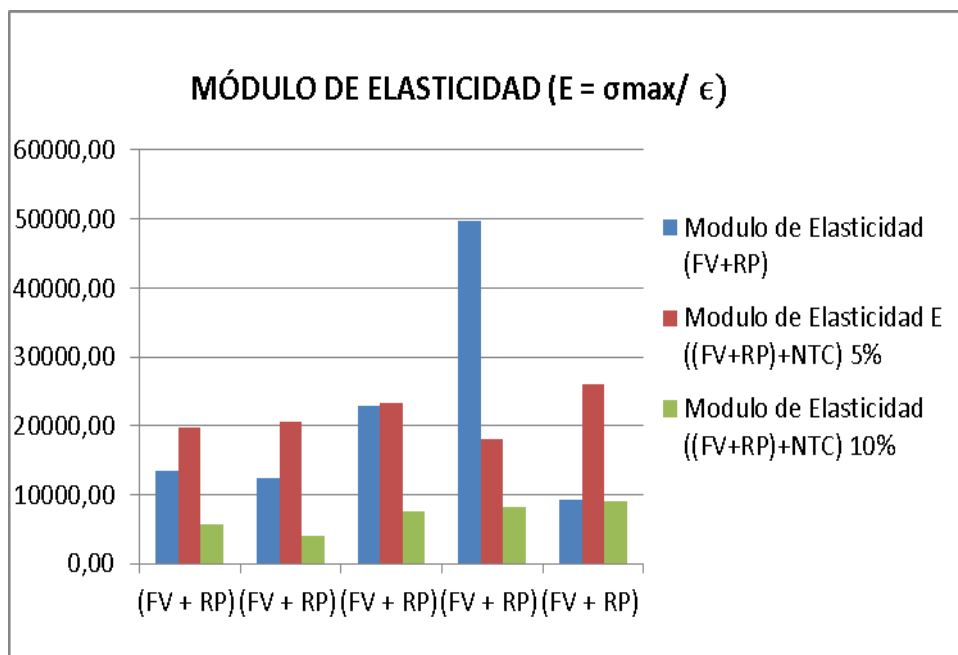


Figura N° 4.13: Representación gráfica de módulo de elasticidad de 5 probetas

Fuente: Autor

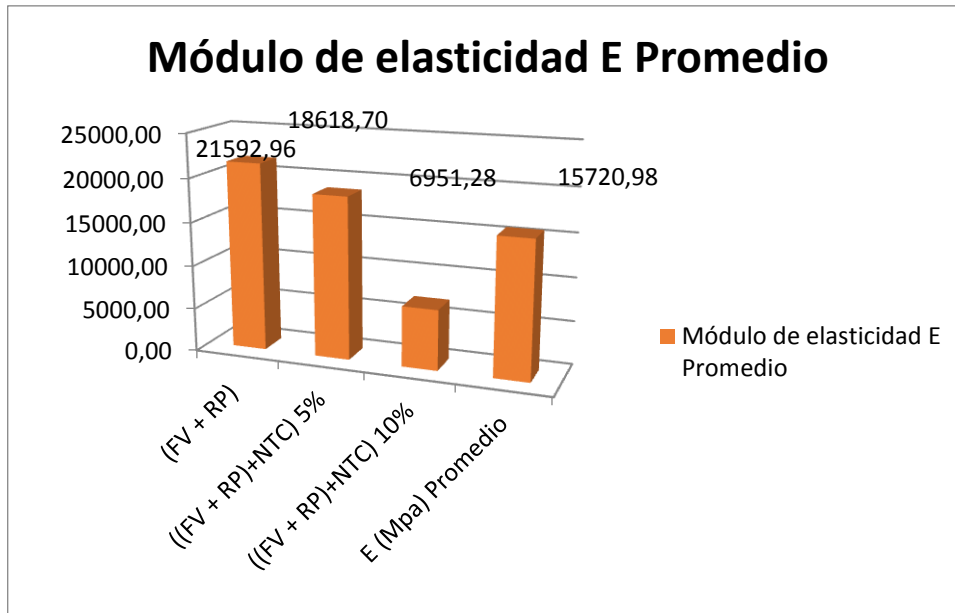


Figura N° 4.14: Módulo de elasticidad de 5 probetas (Promedio)

Fuente: Autor

4.1.3. ENSAYO A FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

Ensayo de flexión: Para el ensayo de flexión y para el nuevo material compuesto se calcula o se determina mediante lo establecido, es decir bajo las mismas condiciones de dimensionamiento, norma y procedimiento del ensayo a flexión. Cabe recalcar que el análisis de la deflexión y el esfuerzo máximo a flexión se realizó en la misma maquina Tinius Olsen modelo H25KS ya especificada y siguiendo la norma ASTM D 7264-07, para el dimensionamiento de las probetas que fue de 160mm de largo, 13 mm de ancho y se consideró un espesor de 3,2 mm para la determinación de distancia entre puntos de apoyo que fue de 102,4 mm (Procedimiento A13 de Norma ASTM D 7264-07) que corresponde a 32 veces el espesor. La cantidad de probetas que fueron un mínimo de siete y velocidad de ensayo que fue de 500 mm/min.

Esfuerzo máximo a flexión: Se realizaron siete probetas bajo las condiciones geométricas establecidas por la Norma ASTM D7264 (**Tabla**), se sometieron a carga constante, aplicado en L/2 (102/2) mm, utilizando la maquina Universal de ensayos Tinius Olsen, modelo H25KS, en la cual después de un tiempo

establecido y a una velocidad constante de aplicación de carga se espera su ruptura obteniendo así la deflexión máxima en las probetas con lo cual la carga máxima soportada por la probeta, el esfuerzo máximo que dicho material puede alcanzar a flexión, está bajo la relación:

$$\sigma_{\max f} = \frac{3PL}{2bh^2}, \text{ donde:}$$

$\sigma_{\max f}$ = *esfuerzo máximo producido en la superficie exterior (Mpa).*

P = *fuerza aplicada (Mpa).*

L = *longitud entre apoyos (mm).*

b = *ancho de la probeta (mm).*

h = *espesor de la probeta.*

Deflexión de ruptura: Las deducciones de la investigación de flexión son similares a las curvas esfuerzo – deformación; sin embargo, el esfuerzo se traza en función de deflexiones, en vez de deformaciones, por lo que es necesario determinar el valor de la deflexión máxima que soporta la probeta antes de su fractura o colapso.

Módulo de flexión (Ef.): Para el cálculo del módulo de elasticidad a la flexión o módulo en flexión, se deduce en la región elástica de la curva esfuerzo vs deflexión, y bajo la siguiente relación.

$$Ef = \frac{L^3P}{4bh^2\delta}; \text{ donde:}$$

P = *fuerza aplicada (N)*

L = *longitud entre apoyos (mm)*

b = *ancho de la probeta (mm)*

h = *espesor de la probeta (mm)*

δ = *deflexión de la probeta al aplicarse una fuerza (mm)*

La tabulación de datos y el análisis después de la caracterización a Flexión de las siete probetas bajo las condiciones establecidas, se detalla en las siguientes *Fichas Técnicas* que se han elaborado por el Autor, en función de las necesidades y

desarrollo del estudio y que se adaptan tanto para ensayos a materiales compuestos y materiales híbridos de matriz polimérica.

Tabla N° 4.26: Especificaciones Técnicas del Ensayo de Flexión

#	CARACTERISTICAS	DETALLE	OBS.
1	Dimensionamiento de la Probeta en (mm).	160x13x4	
2	Componente de Matriz.	Resina Poliéster.	
3	Componente de Refuerzo.	Fibra de Vidrio.	e= 0.83mm c/c
4	Componente Aditivo.	Polvo Nanotubos de carbono	5%, 10%
5	Tipo de Estratificación	Manual	
6	Tiempo de Curado antes del previo Ensayo.	8-10 días	
7	Norma a Utilizar.	ASTM D 7264	En f(e)=3,2mm
8	Equipo de Ensayo.	Maquina Universal Ensayos Tinius Olsen, modelo H25KS	
9	Velocidad de Ensayo.	500 mm/mm.	

Fuente: Autor

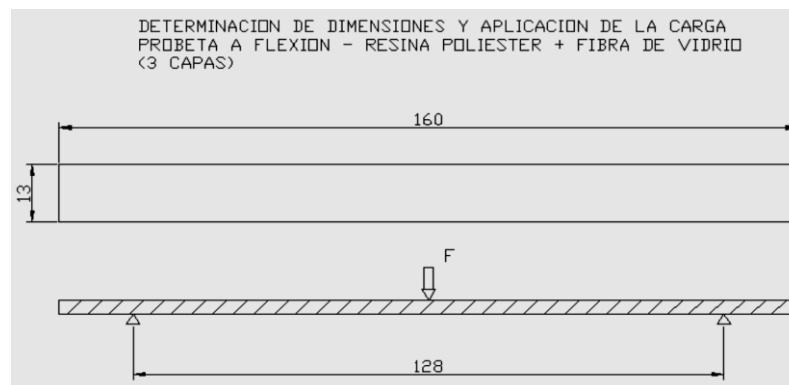


Figura N° 4.15: Representación esquemática del dimensionamiento de las probetas a flexión y punto de aplicación de la carga.

Fuente: Autor

4.1.3.1. RESUMEN DE ENSAYOS DE LAS PROBETAS A FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO TESTIGO (FV+RP) Y EL NUEVO MATERIAL COMPUESTO ((FV+RP) + NTC).

Los ensayos de flexión tanto para las nuevas probetas del nuevo material compuesto y para las probetas testigos se calculó o se determinó mediante lo establecido y es decir bajo las mismas consideraciones de la normas.

Tabla N° 4.27: Ficha técnica 1 flexión: Análisis de la configuración de Fibra de vidrio más resina Poliéster.

		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO			REG: MCH 002- F	
FIBRA DE VIDRIO + RESINA POLIESTER (PROBETA TESTIGO)						
Fecha:	26-may-14	Cuidad:	Quito			
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional					
Maquina:	Maquina Universal Tinius Olsen					
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D 7264			
Configuración:	Mat de FV+RP	Estratificación:	Compresión			
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%			
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%			
Orden de Capas:	FV+FV+FV	Número de probetas	7			
Dimensión de Probeta (mm).	160 x 13 x e	Velocidad de Ensayo	500 mm/min.			
Espesor Promedio	3,94	Responsable:	Byron Salazar			
FOTOGRAFIAS DEL ENSAYO						
						
Zona de fractura:	Parte central de la Probeta					
Tipo de falla:	Comportamiento Frágil.					
Inicio de falla:	Falla tanto en la matriz como en la fibra.					
Observación:						
DATOS Y RESULTADOS						
#	Deflexión Max. Ruptura (mm).	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa),	Módulo de trabajo (Mpa).	
Promedio	0,36	69,33	67,31	1382884,64	82,85	
Del análisis de este material compuesto se determina que:						
Esfuerzo Máximo promedio:				67,31 Mpa.		
Módulo de Flexión Promedio:				138284,64 Mpa.		
Deflexión Máxima a la Ruptura				0,36		
Espesor real promedio:				3,94 mm.		

Fuente: Autor

Tabla N° 4.28: Evaluación de ensayos (Parámetros de Evaluación).

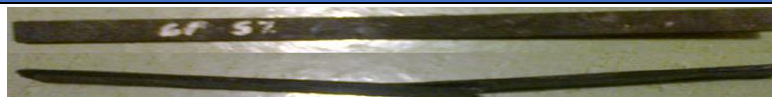
DATOS Y RESULTADOS				
# de Ensayo	Espesor (mm).	Deflexión Max. Ruptura (mm.)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa),
1	4,12	0,36	59,27	114016,70
2	3,62	0,36	81,19	177769,97
3	3,71	0,36	61,03	130378,24
4	4.59	0.36	47.19	81484,13
5	4,21	0,36	55,72	104909,97
6	3,61	0,36	70,39	154543,04
7	3.73	0.36	96,42	204890,42
Promedio	3,94	0,36	67,31	138284,64
Desv.	0,37	0,00	16,80	43303,90

Fuente: Autor

Tabla N° 4.29: Ficha técnica 2 de flexión: Análisis de la configuración de Fibra de vidrio más resina Poliéster más Nanotubos de Carbono en un 5%

		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO		REG: MCH 002- F
FIBRA DE VIDRIO + RESINA POLIESTER +NANOTUBOS DE CARBONO 5%				
Fecha:	26-may-14	Ciudad:	Quito	
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional			
Maquina:	Maquina Universal Tinius Olsen			
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D 7264	
Configuración:	Mat de FV+RP	Estratificación:	Compresión	
Matriz:	Resina P.	Frac. Volumétrica:	70%	
Refuerzo:	Fibra de V.	Frac. Volumétrica:	30%	
Orden de Capas:	FV+FV+FV	Número de probetas	7	
Dimensión de Probeta (mm).	160 x 13 x e	Velocidad de Ensayo	500 mm/min.	
Espesor Promedio (mm)	4,03	Responsable:	Byron Salazar	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



Zona de fractura:		Parte central de la Probeta			
Tipo de falla:		Comportamiento Frágil.			
Inicio de falla:		Inicio de falla en la matriz, más dificultad en romper las fibras.			
Observación:					
DATOS Y RESULTADOS					
	Deflexión Max. Ruptura (mm).	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máx. (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa).	Módulo de trabajo (Mpa).
\bar{x}	0,36	60,01	58,15	120290,70	71,57
Del análisis de este material compuesto se determina que:					
Esfuerzo Máximo promedio:				58,15 Mpa.	
Módulo de Flexión Promedio:				120290,70 Mpa.	
Deflexión Máxima a la Ruptura				0,36	
Espesor real promedio:				4,03 mm.	


Fuente: Autor

Tabla N° 4.30: Evaluación de ensayos

DATOS Y RESULTADOS				
# de Ensayo	Espesor (mm).	Deflexión Max. Ruptura (mm.)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa),
1	4,16	0,36	51,77	98633,48
2	3,26	0,36	69,95	170069,14
3	4,12	0,36	55,05	105901,75
4	4,25	0,36	51,20	95487,17
5	4,37	0,36	54,18	98275,68
6	3,49	0,36	75,44	171329,94
7	3,83	0,36	49,45	102338,08
Promedio	4,03	0,36	58,15	120290,70
Desv.	0,44	0,00	10,23	34595,63

Fuente: Autor

Tabla N° 4.31: Ficha técnica 3 de flexión: Análisis de la configuración de Fibra de vidrio más resina Poliéster más Nanotubos de Carbono en un 10 %

		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO			REG: MCH 002- F
FIBRA DE VIDRIO + RESINA POLIESTER +NANOTUBOS DE CARBONO 10 %					
Fecha:	26-may-14	Cuidad:	Quito		
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional				
Maquina:	Maquina Universal Tinius Olsen				
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D 7264		
Configuración:	Mat de FV+RP	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%		
Orden de Capas:	FV+FV+FV	Número de probetas	7		
Dimensión de Probeta (mm).	160 x 13 x espesor	Velocidad de Ensayo	500 mm/min.		
Espesor Promedio (mm)	4,09	Responsable:	Byron Salazar		
FOTOGRAFIAS DEL ENSAYO					
					
Zona de fractura:	Parte central de la Probeta				
Tipo de falla:	Comportamiento Frágil.				
Inicio de falla:	Inicio de falla en la matriz, más dificultad en romper las fibras.				
Observación:					
DATOS Y RESULTADOS					
	Deflexión Max. Ruptura (mm).	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa).	Módulo de trabajo (Mpa).
Promedio	0,36	102,87	91,94	179039,09	113,15
Del análisis de este material compuesto se determina que:					
Esfuerzo Máximo promedio:			91,94 Mpa.		
Módulo de Flexión Promedio:			179039,09 Mpa.		
Deflexión Máxima a la Ruptura			0.36		
Espesor real promedio:			4,09 mm.		

Fuente: Autor

Tabla N° 4.32: Evaluación de ensayos (Parámetros de Evaluación).

DATOS Y RESULTADOS				
# de Ensayo	Espesor (mm).	Deflexión Max. Ruptura (mm.)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa),
1	4,05	0,36	91,27	178620,23
2	4,21	0,36	83,52	157251,15
3	4,28	0,36	90,13	166907,29
4	4,11	0,36	85,01	163940,15
5	3,69	0,36	96,95	208256,46
6	3,92	0,36	103,71	209703,10
7	4,37	0,36	92,95	168595,28
Promedio	4,09	0,36	91,94	179039,09
Desv.	0,23	-	6,92	21420,62

Fuente: Autor

Tabla N° 4.33: Evaluación de ensayos.

CONFIGURACIÓN	ESFUERZO MÁXIMO DE FLEXIÓN PROMEDIO ($\sigma_{max f}$)
FV + RP	67,31
((FV + RP)+NTC) 5%	58,15
((FV + RP)+NTC) 10%	91,94
$\sigma_{max f}$ promedio	72,47

Fuente: Autor

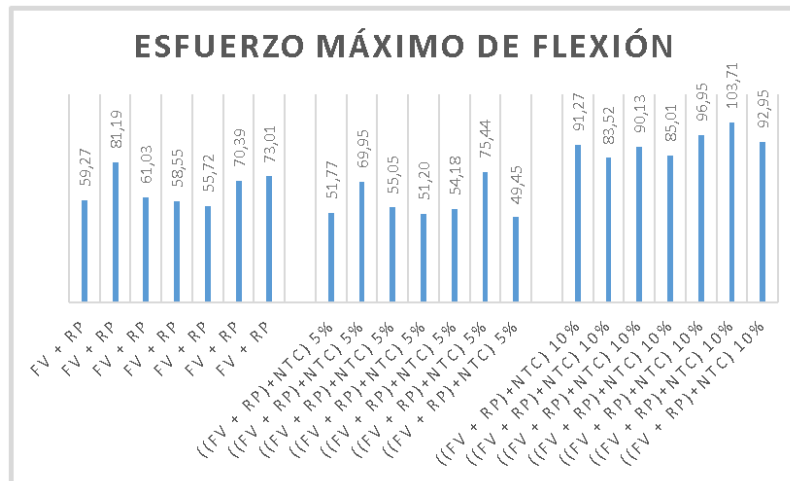


Figura N° 4.16: Esfuerzo Máximo de las 7 probetas por cada caso

Fuente: Autor

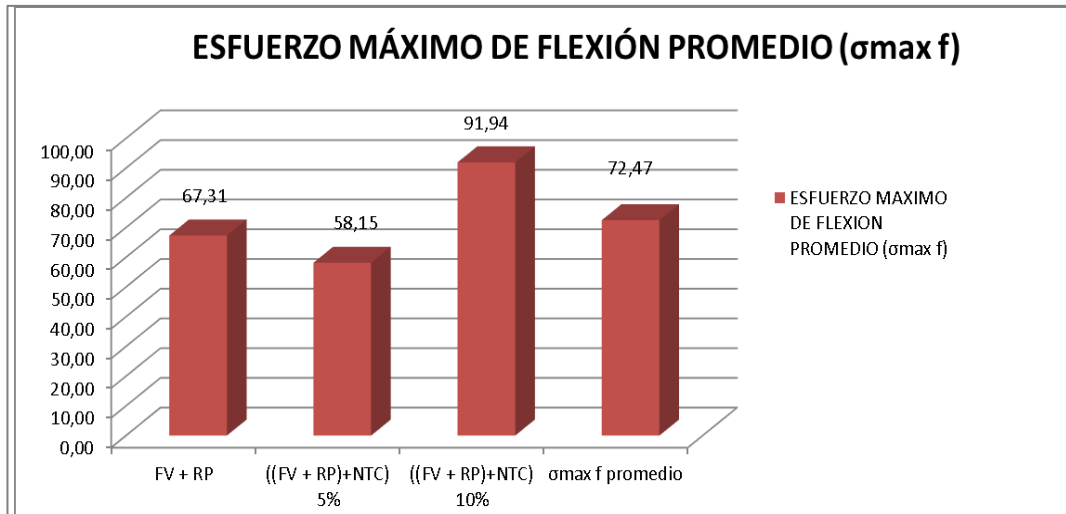


Figura N° 4.17: Esfuerzo Máximo a Flexión de Ensayos (Promedios)
Fuente: Autor

Del estudio estadístico se puede determinar que el esfuerzo máximo de flexión promedio de las probetas utilizadas en los ensayos de (resina poliéster + 3 capas de FV), (RESINA POLIESTER + 3 CAPAS DE FV + 5% DE NANOTUBOS DE CARBONO), (RESINA POLIESTER + 3 CAPAS DE FV 10% DE NANOTUBOS DE CARBONO) y estratificación manual utilizada, provocan un esfuerzo máximo a flexión promedio 72,47 Mpa

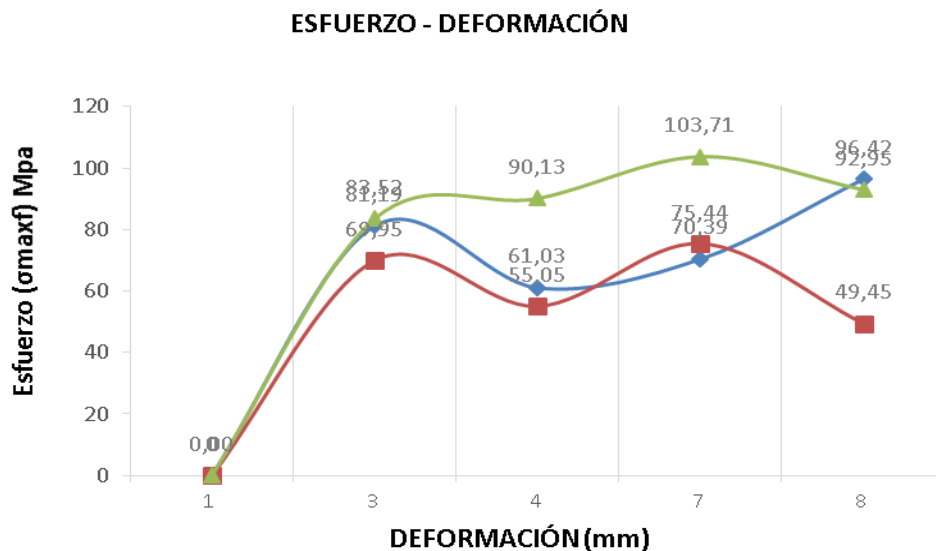


Figura N° 4.18: Curva Esfuerzo – Deformación

Se dedujeron dos módulos a la flexión. El primer cálculo del módulo es el de flexión y se encuentra determinado la pendiente de la región de la curva esfuerzo – deformación desechando el primer punto hasta el 50% del esfuerzo máximo, esto es por sugerencia de la norma ASTM D 7264-07. El segundo cálculo del módulo que es el de trabajo se obtiene de determinar la pendiente de la región que va desde el 50% al 75% del esfuerzo máximo, como se indica en la siguiente figura:

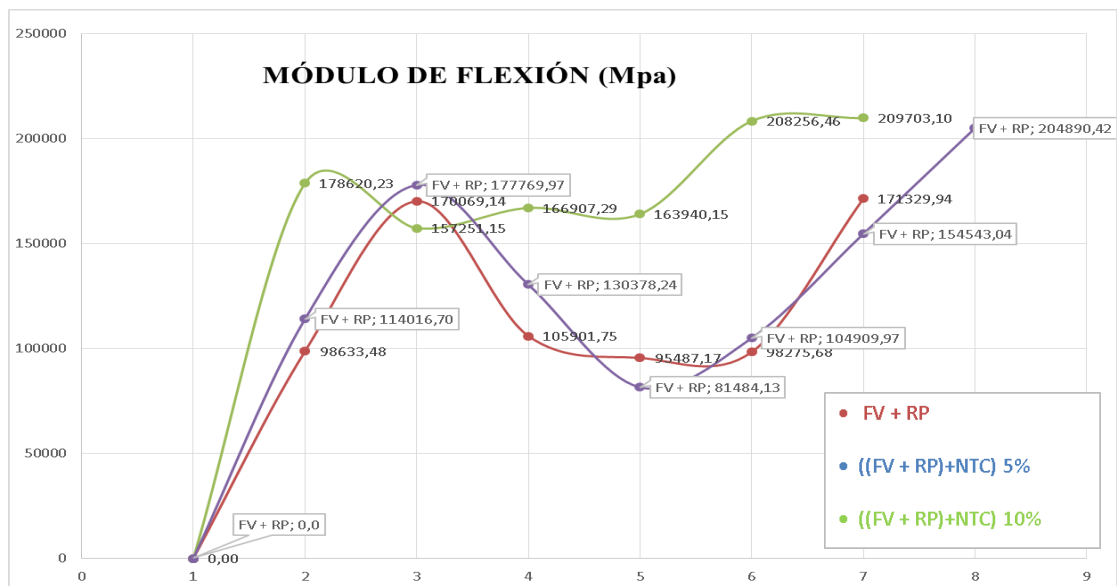


Figura N° 4.19: Módulo de Flexión y Módulo de Trabajo
Fuente: Autor

Después del análisis estadístico se puede determinar que el módulo de trabajo promedio a flexión y el módulo de trabajo de las probetas utilizadas en el estudio que se ha realizado, respecto a los materiales (RESINA POLIESTER + 3 CAPAS DE FV) y estratificación manual utilizada, provocan un módulo de flexión de promedio de **145871,48 Mpa**.

Tabla N° 4.34: Resultados de Ensayo a Flexión

Refuerzo y Fracción volumétrica	CODIGO DE PROBETA	σ_{max} (Mpa)	Deflexión máx. Ruptura	Módulo a la flexión (Mpa).	Módulo de Trabajo
Mat de FV (3 Capas) 30%	FV+RP	67,31	0,36	138284,64	82,85
	(FV+RP)+NTC 5%	58,15	0,36	120290,7	71,57
	(FV+RP)+NTC 10%	91,94	0,36	179039,09	113,15
	Promedio	72,47	0,36	145871,48	89,19

Fuente: Autor

4.1.3.2.DEDUCIMIENTO POR ELIMINACION DE MAXIMOS Y MINIMOS DE LOS ENSAYOS A FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.

Al igual como en los ensayos preliminares de tracción y flexión con siete probetas por cada caso, en esta parte del estudio los valores se realizaron una eliminación de valores máximos y mínimos por cada caso de cada ensayo a continuación presentamos un resumen de los valores tabulados:

Tabla N° 4.35: Ficha técnica 1 flexión: Análisis de la configuración de Fibra de vidrio más resina Poliéster con cinco valores recalculados.

		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO		REG: MCH 002- F	
FIBRA DE VIDRIO + RESINA POLIÉSTER (PROBETA TESTIGO)					
Fecha:	26-may-14	Cuidad:	Quito		
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional				
Maquina:	Maquina Universal Tinius Olsen				
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D 7264		
Configuración:	Mat de FV+RP	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%		
Orden de Capas:	FV+FV+FV	Número de probetas	5		
Dimensión de Probeta (mm).	160 x 13 x e	Velocidad de Ensayo	500 mm/min.		
Espesor Promedio	3,85	Responsable:	Byron Salazar		
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					
Zona de fractura:	Parte central de la Probeta				
Tipo de falla:	Comportamiento Frágil.				
Inicio de falla:	Falla tanto en la matriz como en la fibra.				
Observación:					
DATOS Y RESULTADOS					
	Deflexión	Carga	Esfuerzo	Módulo de	Módulo de

#	Max. Ruptura (mm).	Máxima (N)	Máximo (Mpa)	Flexión (Mpa),	trabajo (Mpa).
Promedio	0,36	69,33	67,31	1382884,64	82,85
Del análisis de este material compuesto se determina que:					
Esfuerzo Máximo promedio:				65,52 Mpa.	
Módulo de Flexión Promedio:				136323,33 Mpa.	
Deflexión Máxima a la Ruptura				0,36	
Espesor real promedio:				3,85 mm.	

Fuente: Autor


Tabla N° 4.36: Evaluación de ensayos (Parámetros de Evaluación).

DATOS Y RESULTADOS				
# de Ensayo	Espesor (mm).	Deflexión Max. Ruptura (mm.)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa),
1	4,12	0,36	59,27	114016,70
2	3,62	0,36	81,19	177769,97
3	3,71	0,36	61,03	130378,24
5	4,21	0,36	55,72	104909,97
6	3,61	0,36	70,39	154543,04
Promedio	3,85	0,36	65,52	136323,33
Desv.	0,29	0,00	10,30	28872,69

Fuente: Autor

Tabla N° 4.37: Ficha técnica 2 de flexión: Análisis de la configuración de Fibra de vidrio más resina Poliéster más Nanotubos de Carbono en un 5%

		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO		REG: MCH 002- F
FIBRA DE VIDRIO + RESINA POLIESTER +NANOTUBOS DE CARBONO 5%				
Fecha:	26-may-14	Cuidad:	Quito	
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional			
Maquina:	Maquina Universal Tinius Olsen			
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D 7264	
Configuración:	Mat de FV+RP	Estratificación:	Compresión	
Matriz:	Resina P.	Frac. Volumétrica:	70%	
Refuerzo:	Fibra de V.	Frac. Volumétrica:	30%	
Orden de Capas:	FV+FV+FV	Número de probetas	5	
Dimensión de Probeta (mm).	160 x 13 x e	Velocidad de Ensayo	500 mm/min.	

Espesor Promedio (mm)	4,03	Responsable:	Byron Salazar		
FOTOGRAFIAS DEL ENSAYO					
					
Zona de fractura:	Parte central de la Probeta				
Tipo de falla:	Comportamiento Frágil.				
Inicio de falla:	Inicio de falla en la matriz, más dificultad en romper las fibras.				
Observación:					
DATOS Y RESULTADOS					
	Deflexión Max. Ruptura (mm).	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máx. (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa).	Módulo de trabajo (Mpa).
\bar{x}	0,36	61,72	56,43	113673,44	69,45
Del análisis de este material compuesto se determina que:					
Esfuerzo Máximo promedio:				56,43 Mpa.	
Módulo de Flexión Promedio:				113673,44Mpa.	
Deflexión Máxima a la Ruptura				0,36	
Espesor real promedio:				4,03 mm.	


Fuente: Autor

Tabla N° 4.38: Evaluación de ensayos

DATOS Y RESULTADOS				
# de Ensayo	Espesor (mm).	Deflexión Max. Ruptura (mm.)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa),
1	4,16	0,36	51,77	98633,48
2	3,26	0,36	69,95	170069,14
3	4,12	0,36	55,05	105901,75
4	4,25	0,36	51,20	95487,17
5	4,37	0,36	54,18	98275,68
Promedio	4,03	0,36	56,43	113673,44
Desv.	0,44	0,00	7,73	28408,42

Fuente: Autor

Tabla N° 4.39: Ficha técnica 3 de flexión: Análisis de la configuración de Fibra de vidrio más resina Poliéster más Nanotubos de Carbono en un 10 %

		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO		REG: MCH 002- F	
FIBRA DE VIDRIO + RESINA POLIESTER +NANOTUBOS DE CARBONO 10 %					
Fecha:	26-may-14	Cuidad:	Quito		
Lugar:	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional				
Maquina:	Maquina Universal Tinius Olsen				
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D 7264		
Configuración:	Mat de FV+RP	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Fibra de Vidrio	Frac. Volumétrica:	30%		
Orden de Capas:	FV+FV+FV	Número de probetas	5		
Dimensión de Probeta (mm).	160 x 13 x espesor	Velocidad de Ensayo	500 mm/min.		
Espesor Promedio (mm)	4,09	Responsable:	Byron Salazar		
FOTOGRAFIAS DEL ENSAYO					
					
Zona de fractura:	Parte central de la Probeta				
Tipo de falla:	Comportamiento Frágil.				
Inicio de falla:	Inicio de falla en la matriz, más dificultad en romper las fibras.				
Observación:					
DATOS Y RESULTADOS					
	Deflexión Max. Ruptura (mm).	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa).	Módulo de trabajo (Mpa).
Promedio	0,36	103,34	91,26	177263,88	112,32
Del análisis de este material compuesto se determina que:					
Esfuerzo Máximo promedio:			91,26 Mpa.		
Módulo de Flexión Promedio:			177263,88 Mpa.		
Deflexión Máxima a la Ruptura			0.36		
Espesor real promedio:			4,09 mm.		

Fuente: Autor

Tabla N° 4.40: Evaluación de ensayos (Parámetros de Evaluación).

DATOS Y RESULTADOS				
# de Ensayo	Espesor (mm).	Deflexión Max. Ruptura (mm.)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa),
1	4,05	0,36	91,27	178620,23
3	4,28	0,36	90,13	166907,29
4	4,11	0,36	85,01	163940,15
5	3,69	0,36	96,95	208256,46
7	4,37	0,36	92,95	168595,28
Promedio	4,10	0,36	91,26	177263,88
Desv.	0,26	-	4,35	18181,76

Fuente: Autor

Tabla N° 4.41: Resumen de resultados del esfuerzo máximo de los tres casos.

CONFIGURACIÓN	ESFUERZO MAXIMO DE FLEXION PROMEDIO (σ máx. f)
FV + RP	67,31
((FV + RP)+NTC) 5%	58,15
((FV + RP)+NTC) 10%	91,26
σ máx. f promedio	72,24

Fuente: Autor

4.1.3.3. ENSAYO DE ADHERENCIA ENTRE MATRIZ – REFUERZO

El ensayo se realizó de acuerdo a sus propiedades mecánicas en este caso al material compuesto de 70% de matriz epoxi reforzada con 30% de fibra de vidrio, las muestras se analizaron con un número de 3 probetas (las medidas de las muestras son de 2cm x 2,5cm).



Figura N° 4.20: Probetas para ensayo de adherencia resina poliéster y fibra vidrio + nanotubos de carbono.

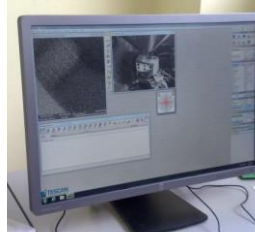


Figura N° 4.21: Ensayo de adherencia.

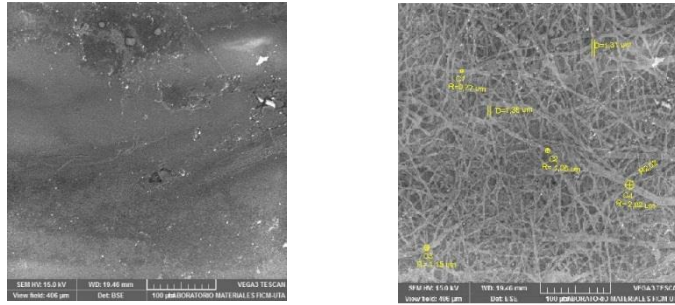


Figura N° 4.22: Adherencia fibra de vidrio–resina poliéster–nanotubos de carbono variable 5%

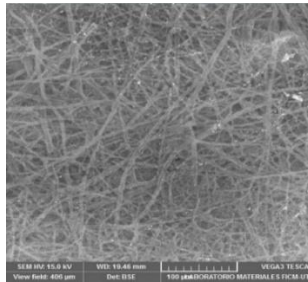


Figura N°4.23: Adherencia fibra de vidrio–resina poliéster–nanotubos de carbono variable 10%
Fuente: Autor

Del análisis realizado en la fotografía 2 de la figura 4:22 se observó unos filamentos de radio 1,05 a 2,02 micras por lo cual se llega determinar la existencia de nanotubos de carbono en la probeta resina poliéster + fibra de vidrio + nanotubos de carbono en un 5% de refuerzo, además existe acumulación de fibra y resina poliéster también se llegó a determinar que si existe una buena adherencia entre la fibra y la matriz.

4.2. INTERPRETACIÓN DE DATOS

A continuación, después del análisis realizado en las diferentes fichas técnicas correspondientes a las caracterizaciones mecánicas a tracción, flexión y dureza, se propone la siguiente tabla de resumen de resultados de las mismas, se lo realizara un análisis del comportamiento del nuevo material híbrido con respecto a la combinación de propiedades mecánicas.

Tabla N° 4.42: Resultados de los Ensayo a Tracción, Flexión de referencia de siete probetas por caso, Dureza

EVALUACION DE LA COMBINACIÓN DE PROPIEDADES						
Nombre de la Probeta	Espesor promedio	Tracción		Flexión		Dureza
		Esfuerzo Max. (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Esfuerzo Max. (Mpa).	Módulo de Flexión (Mpa)	HB
FV+RP	3,71	20,93	17037,65	67,31	138284,64	66,10
FV+RP+NTC-5 %	4,26	35,89	18274,60	58,15	120290,70	70,90
FV+RP+NTC-10%	4,24	29,22	7466,70	91,94	179039,09	66,80
Parámetros	4,07	28,68	13565,35	72,47	145871,48	67,93
Desv. Estd.	0,31	7,49	5298,49	17,48	30100,06	2,59

Tabla N° 4.43: Resultados de los Ensayo a Tracción, Flexión de referencia de cinco probetas por caso, Dureza

EVALUACION DE LA COMBINACIÓN DE PROPIEDADES						
Nombre de la Probeta	Espesor promedio	Tracción		Flexión		Dureza
		Esfuerzo Max. (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Esfuerzo Max. (Mpa).	Módulo de Flexión (Mpa)	HB
FV+RP	3,82	20,24	21592,96	65,52	136323,33	66,10
FV+RP+NTC-5 %	4,22	33,44	18618,70	56,43	113673,44	70,90
FV+RP+NTC-10%	3,46	29,90	6951,28	91,26	177263,88	66,80
Parámetros	3,83	27,86	15720,98	71,07	142420,20	67,93
Desv. Estd.	0,38	6,83	7739,01	18,07	32230,65	2,59

Fuente: Autor

4.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Como parte final del desarrollo del presente estudio establezco que la hipótesis que se planteó para dicha investigación se comprueba estadísticamente y comparativamente; es decir me he ayudado de establecer la media aritmética y la desviación estándar de cada una de las caracterizaciones mecánicas y de determinación de propiedades físicas, tanto del material compuesto original (RP + FV) como de los nuevos materiales híbridos propuestos en sus diferentes configuraciones y fracciones volumétricas.

Esto ha servido para llegar a la Tabla, donde el material que mejor se comportó a la evaluación de la combinación de propiedades mecánicas y que es el HIBRIDO DE FIBRA DE VIDRIO MAS NANOTUBOS DE CARBONO es decir en un 5% de material obtenido de nanotubos de carbono con un 65 % de matriz y 30 % de refuerzo a estratificación y mediante el siguiente orden de capas de refuerzo [FV + (RP + NTC) +FV + (RP + NTC) + FV + (RP + NTC)] mejoró por ejemplo:

El esfuerzo máximo a Tracción en un 7,8 % respecto al material original.

El esfuerzo máximo a flexión se mantiene dentro de la desviación estándar esperado a un nivel de confianza del 95%.

Chi cuadrado: esta distribución no es simétrica, sus valores pueden ser cero o positivos, pero no negativos, calculada con la expresión:

$$X^2 = \frac{(n - 1)S^2}{\sigma^2}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

S² = desviación muestral

σ² = desviación poblacional

Hipótesis Nula Ho la variación del refuerzo que conforma el material compuesto analizado.

Evaluada con una desviación estándar de los esfuerzos máximos a flexión, tracción.

Hipótesis alternativa H_1 la variación del refuerzo que conforma el material compuesto resina poliéster más fibra de vidrio más nanotubos de carbono ya analizado si influye en las propiedades mecánicas.

Nivel de significancia: Denominado rango de aceptación de hipótesis alternativa considerando 0,05 para proyectos de experimentación o investigación.

Estadístico de prueba: Se utiliza la desviación estándar, varianza y medias, en este caso utilizamos desviación estándar.

Valor crítico: Un valor crítico es cualquier valor que separa la región crítica (donde rechazamos la hipótesis nula) de los valores del estadístico de prueba que no conducen al rechazo de la hipótesis nula.

4.3.1. VERIFICACION DE LA HIPOTESIS CON RESPECTO AL ESFUERZO MAXIMO SEGÚN LOS ENSAYOS DE TRACCION.

Tabla N° 4.44: Material compuesto testigo (FV+RP)

Muestra	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa) ²
1	17,33	300,33
2	29,90	893,41
3	22,45	504,00
4	15,44	238,39
5	20,06	402,40
6	21,92	480,49
7	19,43	377,52
SUMATORIA	146,52	3196,55
PROMEDIO	20,93	

Calculo de varianza de la muestra.

$$scxa = \sum EM1^2 - \frac{\sum (EM1)^2}{n}$$

$$scxa = 3196.55 - \frac{146.52^2}{7}$$

$$scxa = 129.67$$

Tabla N° 4.45: Nuevo material compuesto más nanotubos de carbono en un 5%

Muestra	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa) ²
1	36,34	1320,6
2	14,52	210,83
3	36,9	1361,61
4	36,13	1305,38
5	36,06	1300,32
6	30,78	947,41
7	27,14	736,58
SUMATORIA	217,87	7182,72
PROMEDIO	31,12	

Calculo de varianza de la muestra.

$$scxb = \sum EM2^2 - \frac{\sum (EM2)^2}{n}$$

$$scxb = 7182.72 - \frac{217.87^2}{7} \quad scxb = 401.67$$

Tabla N° 4.46: Nuevo material compuesto más nanotubos de carbono en un 10%

Muestra	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa) ²
1	23,7	561,69
2	17,54	307,65
3	16,84	283,59
4	38,17	1456,95
5	37,23	1386,07
6	33,95	1152,6
7	37,1	1376,41
SUMATORIA	204,53	6524,96
PROMEDIO	29,22	

Calculo de varianza de la muestra.

$$scxc = \sum EM3^2 - \frac{\sum(EM3)^2}{n}$$

$$scxc = 6524.96 - \frac{204.53^2}{7}$$

$$scxc = 548.89$$

VARIANZA COMBINADA

$$Sc^2 = \frac{scxa + scxb}{(na - 1) + (nb - 1)}$$

$$Sc^2 = \frac{129.67 + 401.67}{(7 - 1) + (7 - 1)}$$

$$Sc^2 = 44.28$$

$$Sc^2 = \frac{scxa + scxc}{(na - 1) + (nb - 1)}$$

$$Sc^2 = \frac{129.67 + 548.89}{(7 - 1) + (7 - 1)}$$

$$Sc^2 = 113.09$$

$$Sc^2 = \frac{scxb + scxc}{(na - 1) + (nb - 1)}$$

$$Sc^2 = \frac{401.67 + 548.89}{(7 - 1) + (7 - 1)}$$

$$Sc^2 = 79.21$$

DESVIACION ESTANDAR DE LAS DIFERENCIAS

$$\bar{sd} = \sqrt{Sc^2 \left(\frac{na + nb}{na \times nb} \right)}$$

$$\bar{sd} = \sqrt{44.28 \left(\frac{7 + 7}{7 \times 7} \right)}$$

$$\bar{sd} = 3.56$$

$$\bar{sd} = \sqrt{Sc^2 \left(\frac{na + nb}{na \times nb} \right)}$$

$$\overline{Sd} = \sqrt{113.9\left(\frac{7+7}{7 \times 7}\right)}$$

$$\overline{Sd} = 5.7$$

$$\overline{Sd} = \sqrt{Sc^2\left(\frac{na+nb}{na \times nb}\right)}$$

$$\overline{Sd} = \sqrt{79.21\left(\frac{7+7}{7 \times 7}\right)}$$

$$\overline{Sd} = 4.76$$

VALOR DE T

$$t = \frac{\overline{Xa} - \overline{Xb}}{\overline{Sd}}$$

$$t = \frac{20.93 - 31.12}{3.56}$$

$$t = -2.87$$

$$t = \frac{\overline{Xb} - \overline{Xc}}{\overline{Sd}}$$

$$t = \frac{31.12 - 29.22}{5.7}$$

$$t = 10.33$$

$$t = \frac{\overline{Xa} - \overline{Xc}}{\overline{Sd}}$$

$$t = \frac{20.93 - 29.22}{4.76}$$

$$t = -1.74$$

DISTRIBUCION t DE STUDENT

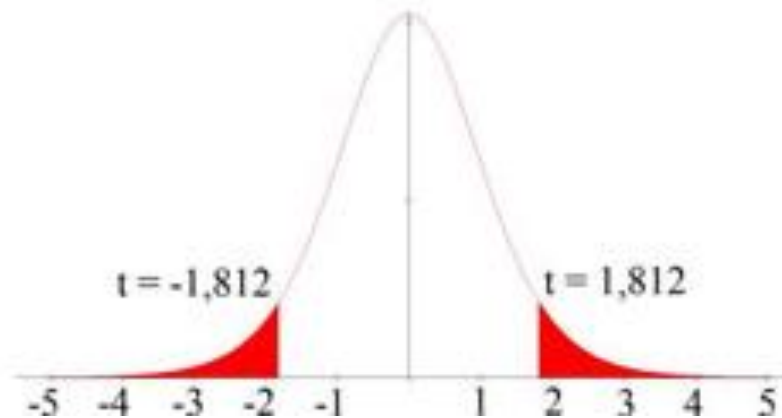


Figura N° 4.24: Distribución de T de Student

En conclusión, se comprueba la hipótesis con una aceptación de la aseveración que tiene mejoría en la caracterización mecánica de los datos hallados en la distribución estadística de Chi cuadrada; El valor calculado se encuentra fuera del intervalo ± 2.145 por lo tanto se acepta la hipótesis H_a es decir la determinación de los parámetros realizados de los análisis de la configuración Fibra de vidrio + Resina Poliéster + Nanotubos de carbono 5%

Ya que es el mejor caso que presento mejores resultados de ensayos a tracción, flexión se realiza una ponderación con los valores promedio y desviación estándar y calculo estadístico se presenta al material FV+RP+NTC-5% descrito como material compuesto de matriz reforzado con 5 % de nanotubos de carbono con 7 días de curado, y fracción volumétrica 30% refuerzo-65% más 5% de nanotubos de carbono

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Por razón de la investigación de la fundamentación teórica y el análisis de los datos recolectados, principalmente de la caracterización mecánica a tracción, flexión del material común con los que se realizó las probetas a las posibles configuraciones y fracciones volumétricas del nuevo material compuesto (FV+RP+NTC) estudiado, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Se determinó los parámetros y recursos que intervienen en el método de arco eléctrico para la obtención de nanotubos de carbono: con un voltaje de (200-260v) con un tiempo de 1.5 a 30 segundos
- Se determinó los parámetros y normativas para la obtención de materiales compuestos de manera polimérica reforzada con fibra de vidrio, como la construcción del molde y la determinación propiedades físicas y mecánicas (dimensionales, masa, volumen, peso y densidad). **(Ver capítulo IV)**
- Se determinó las propiedades mecánicas de tracción (ASTM D3039/D3039M-00), flexión (ASTM D7264 / D7264M - 07, ASTM D 2240-00), dureza y análisis microestructural de los materiales compuestos de fibra de vidrio y resina poliéster sin nanotubos de carbono bajo normativa. **(Ver capítulo IV)**
- Se determinó las propiedades mecánicas de tracción (ASTM D3039/D3039M-00), flexión (ASTM D7264 / D7264M - 07, ASTM D 2240-00), dureza y análisis microestructural de los materiales compuestos de fibra de vidrio y resina poliéster con nanotubos de carbono bajo normativa. **(Ver capítulo IV)**
- Se evaluaron los resultados de los ensayos antes mencionados para determinar la mejor combinación de las propiedades mecánicas en el material compuesto. **(Ver capítulo IV).**

5.2. RECOMENDACIONES

Con la culminación de las pruebas realizadas en el presente estudio se ha considerado establecer las siguientes recomendaciones:

- La preparación del molde de nylon es primordial para el acabado de las probetas moldeadas, cuando el molde es nuevo se debe dar de 4 a 5 capas de cera desmoldante con un intervalo de 5 minutos.
- Se debe tomar en cuenta las recomendaciones del fabricante el tiempo de curado antes de realizar cualquier tipo de prueba para este ensayo el tiempo de curado fue de 3 días.
- Asegurarse que la fibra este completamente limpia, libre de impurezas esto también depende de su adherencia.
- Para el ensayo de atracción se debe añadir en todos extremos de las probetas una cintas (lijas) adherencia, esto es que con la finalidad que durante el ensayo la probeta no resbale en sus extremos cuando se aplique la carga.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dra. Aguilar Osorio Rita «Fabricación Y Purificación De Nanotubos De Carbono Para El Desarrollo Y Caracterización De Conductores Eléctricos Transparentes » Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior De Ingeniería Mecánica Y Eléctrica De México, México 2011
- [2] Fernando A. Quispe « Estructura Y Síntesis De Nanotubos De Carbono» Universidad Nacional Mayor De San Marcos, Facultad De Ciencias Físicas, Lima – Perú, 2005
- [3] J. G. Paredes, «Estudio De Polimeros Híbridos Estratificados De Matriz Poliéster Reforzada Con Fibra De Vidrio Y Cabuya Como Material Alternativo Y Su Incidencia En Las Propiedades Mecánicas En Guardachoques Para Buses» Ambato, 2012.
- [4] Donald R, Askenland, Ciencia E Ingeniería De Los Materiales, Estados Unidos, Thomson, 2007
- [5] Ashby, Michael, And Jones David. Material Selection In Mechanical Desing. Chapter 3, 2011.
- [6] Núñez B, Ludwin D. «Estudio De Polímeros Híbridos Estratificados De Matriz Epóxica Reforzada Con Tejido Mixto Elaborado Con Fibras De Carbono» Ambato, 2014
- [7] Michaeli, Wegener, Capella. (1989) Tecnología De Los Composites/Plásticos Reforzados. Aquisgrán: Hanser. (1992).
- [8] William D, Callister Jr. 2007. Material Science And Engineering, Séptima Edición, John Wiley & Sons. Inc, Pág. (577-619)
- [9] Ana Ma. León C. «Nanotubos De Carbono, Concepto Y Aplicaciones. », Área De Química De Materiales, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México, 2000

[10] M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, P. Avourios (Eds.): Carbon Nanotubes, Top- Ics In Applied Physis, 80, 1-9. Springer - Verlag Berlin Heidelberg (2001).

[11] F. Alca Quispe, Estructura Y Síntesis De Nanotubos De Carbono, Monografía, Universidad Nacional Mayor De San Marcos Facultad De Ciencias Físicas, Sede Lima – Perú

[12] R.C. Hibbeler .1997. “Ingeniería Mecánica – Dinámica / Propiedades De Los Materiales.

Anexos

ANEXOS DE NORMAS



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 approval. A superscript number (e) indicates an editorial change since the last revision or approval.

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

¹ Note—Eq 5 was revised editorially in December 2002.

1. Scope

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

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

Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials⁴

- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing¹
- 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 Gages⁷
- E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics⁸
- 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 Loading⁷
- E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages⁷

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 nomenclature 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 Laminas and Laminates 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 15.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.02.

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, $[Q]$ for thermodynamic temperature, and $[n.d.]$ 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, v* —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, v* —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, $\epsilon^{\text{transition}}$ [rad], α* —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_x —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about y axis of the specimen (about the narrow direction).

3.3.3 B_y —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about x 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 t —coupon thickness.

3.3.9 L_e —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^m —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 d —extensional displacement.

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

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

3.3.22 σ —normal stress.

3.3.23 ν —Poisson's ratio.

4. Summary of Test Method

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

5. Significance and Use

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

5.1.1 Ultimate tensile strength.

5.1.2 Ultimate tensile strain.

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity.

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interference:

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

used to measure the thickness of the specimen. A micrometer with a flat anvil interface shall be used to measure the width of the specimen. The accuracy of the instruments shall be suitable for reading to within 1% of the sample width and thickness. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of 62.5 μm [0.0001 in.] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of 625 μm [0.001 in.] is adequate for width measurement.

7.2 Testing Machines—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 61% of the indicated value. The load range(s) of interest may be fairly low for modulus evaluation, much higher for strength evaluation, or both, as required.

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

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

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

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

7.2.5.1 A rectangular alignment coupon, preferably similar in size and stiffness to the test specimen of interest, is instrumented with a maximum 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_x) and width plane (B_y) 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

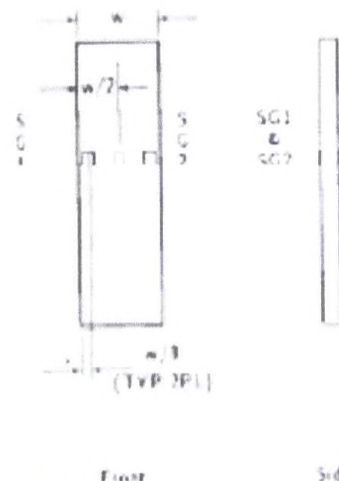


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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.

$$\epsilon_{\text{max}} = 2 \beta_y \left(\frac{g_y}{g_{\text{max}}} \right) (3.100) \quad (1)$$

$$\beta_y = \frac{4.3 \epsilon_1 - 2 \epsilon_2}{g_{\text{max}}} (3.100) \quad (2)$$

where:

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

β_x = percent bending about system x axis (about the wide plane), as calculated by Eq. 2, %;

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

ϵ_{max} = $(\epsilon_1 + \epsilon_2) / 2 - \epsilon_3 / 2$.

The total bending correction is:

$$\beta_{\text{total}} = 8 (\beta_x + \beta_y) \quad (3)$$

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.].¹ 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 Turtle and Britton.²

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 failure. 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 Extensometer—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-vapor-level-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.

¹ 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.

² Turtle, M. E., and Britton, H. F., "Resistances-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol. 24, No. 1, March 1984, pp. 56-65, strain used in Vol. 26, No. 2, June 1985, pp. 157-154.

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 General Requirements	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 Specific Recommendations	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 Detailed Examples	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 notched 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 at 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	$gripping + 2 \times \text{free width} + \text{gage length}$
specimen width	as needed ^a
specimen width tolerance	±1% of width
specimen thickness	as needed
specimen thickness tolerance	±4% of thickness
specimen flatness	flat with light finger pressure
Tab Requirements (if used):	
tab material	as needed fiber
orientation (composite tabs)	as needed tab
thickness	as needed
tab thickness variation between tabs	±1% tab thickness
tab bevel angle	5 to 90° inclusive
tab end at bevel to specimen	feathered without damaging specimen

^a See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations^a

Fiber Orientation	Width, mm (in.)	Overall Length, mm (in.)	Thickness, mm (in.)	Tab Length, mm (in.)	Tab Thickness, mm (in.)	Tab Bevel Angle, °
0° unidirectional	15 (0.5)	250 (10.0)	1.0 (0.040)	50 (2.0)	1.5 (0.062)	7 or 90
90° unidirectional	25 (1.0)	175 (7.0)	2.0 (0.080)	25 (1.0)	1.5 (0.062)	90
balanced and symmetric random-3 discontinuous	25 (1.0)	250 (10.0)	2.5 (0.100)	emery cloth	—	—
random-3 continuous	25 (1.0)	250 (10.0)	2.5 (0.100)	emery cloth	—	—

^a Dimensions in this table and the tolerances of Fig. 2 or Fig. 3 are recommendations only and may be varied so long as the requirements of Table 1 are met.

must be able to withstand significant compressive loads. Some types of emery cloth have been found ineffective in this application because of disintegration of the abrasive.⁸

8.2.2.5 Tab Material—The most consistently used bonded tab material has been continuous E-glass fiber-reinforced polymer matrix materials (woven or unwoven) in a [0/90]ns laminate configuration. The tab material is commonly applied at 45° to the loading direction to provide a soft interface. Other configurations that have reportedly been successfully used have incorporated steel tabs or tabs made of the same material as is being tested.

8.2.2.6 Bonded Tab Length—When using bonded tabs, estimate the minimum suggested tab length for bonded tabs by the following simple equation. As this equation does not account for the peeling stresses that are known to exist at the ends of bonded joints. The tab length calculated by this equation should normally be increased by some factor to reduce the chances of joint failure:

$$L_{min} = S F^* h / 2 F^* \quad (4)$$

where

L_{min} = minimum required bonded tab length, mm (in.);

F^* = ultimate tensile strength of coupon material, MPa

[psi];

h = coupon thickness, mm (in.); and

F^* = ultimate shear strength of adhesive, coupon material, or tab material (whichever is lowest), MPa

[psi].

8.2.2.7 Bonded Tab Adhesive—Any high-elongation (tough) adhesive system that meets the environmental requirements may be used when bonding tabs to the material under test. A uniform beadline of maximum thickness is desirable to reduce undesirable stresses in the assembly.

8.2.3 Detailed Examples—The maximum requirements for specimen design discussed in 8.2.1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and toleranced coupon drawing. Dimensionally toleranced specimen drawings for both tabbed and untabbed forms are shown as examples in Fig. 2 (SI) and Fig. 3 (inch-pound). The tolerances on these drawings are fixed, but satisfy the requirements of Table 1 for all of the recommended configurations of Table 2. For a specific configuration, the tolerances on Fig. 2 and Fig. 3 might be able to be relaxed.

8.3 Specimen Preparation:

8.3.1 Panel Fabrication—Control of fiber alignment is critical. Improper fiber alignment will reduce the measured

properties. Erratic fiber alignment will also increase the coefficient of variation. The specimen preparation method shall be reported.

8.3.2 Machining Methods—Specimen preparation is extremely important for this specimen. Mold the specimens individually to avoid edge and cutting effects or cut from them plates. If they are cut from plates, take precautions to avoid notches, undercuts, rough or uneven surfaces, or delaminations caused by inappropriate machining methods. Obtain final dimensions by water-lubricated precision sawing, milling, or grinding. The use of diamond tooling has been found to be extremely effective for many material systems. Edges should be flat and parallel within the specified tolerances.

8.3.3 Labeling—Label the coupons so that they will be distinct from each other and traceable back to the raw material and in a manner that will both be unaffected by the test and not influence the test.

9. Calibration

9.1 The accuracy of all measuring equipment shall have certified calibrations that are current at the time of use of the equipment.

10. Conditioning

10.1 Standard Conditioning Procedures—Unless a different environment is specified as part of the experiment, condition the test specimens in accordance with Procedure C of Test Method D 5229/D 5229M and store and test at standard laboratory atmosphere (23 ± 3°C [73 ± 5°F] and 50 ± 10% relative humidity).

11. Procedure

11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

11.1.1 The tension specimen sampling method, coupon type and geometry, and conditioning travelers (if required).

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

Note 5—Determine specific material property, accuracy, and data reporting requirements before test for proper selection of instrumentation and data-recording equipment. Estimate operating stress and strain levels to aid in transducer selection, calibration of equipment, and determination of equipment settings.

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

11.1.4 If performed, the sampling method, coupon geometry, and test parameters used to determine density and reinforcement volume.

11.2 General Instructions:

11.2.1 Report any deviations from this test method, whether intentional or inadvertent.

⁸ E-Z Fiber Marking K224 cloth, Ott 125-J, available from Norton Company, Troy, NY 12181, has been found satisfactory in this application. Other equivalent types of emery cloth should also be suitable.

DRAWING NOTES

1. SPECIFIC GRAVITY, DENSITY, REINFORCEMENT VOLUME, OR VOID VOLUME, SHOULD BE MEASURED FROM THE SAME PANELS BEING TENSION TESTED.
2. ALL DIMENSIONS OF MATERIAL SHALL BE IN INCHES. DIMENSIONS ARE FRACTIONS OF AN INCH UNLESS OTHERWISE NOTED.
3. ALL DIMENSIONS SHALL TOLERANCE TO $\pm .005$.
4. ALL DIMENSIONS OF CONCRETE SHALL BE TO $\pm .005$ UNLESS OTHERWISE NOTED.
5. FINISH ON REINFORCEMENT SHALL BE TO $\pm .005$ UNLESS OTHERWISE NOTED. FINISH SHALL BE TO $\pm .005$ UNLESS OTHERWISE NOTED.
6. MATERIAL TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING SUBJECT TO ANY REVISIONS MADE BY THE FIELD OF DAMAGE: EIGHTY-FOUR (84) SPECIMENS IN QUANTITY SHALL BE (1) 2" DIAMETER, 18" LONG, 1" THICK, 1" SQUARE, 1" DIA. MATERIAL, AND (2) 2" DIAMETER, 18" LONG, 1" THICK, 1" SQUARE, 1" DIA. MATERIAL.
7. SEE DRAWING 11.3 FOR REINFORCEMENT DETAILS.

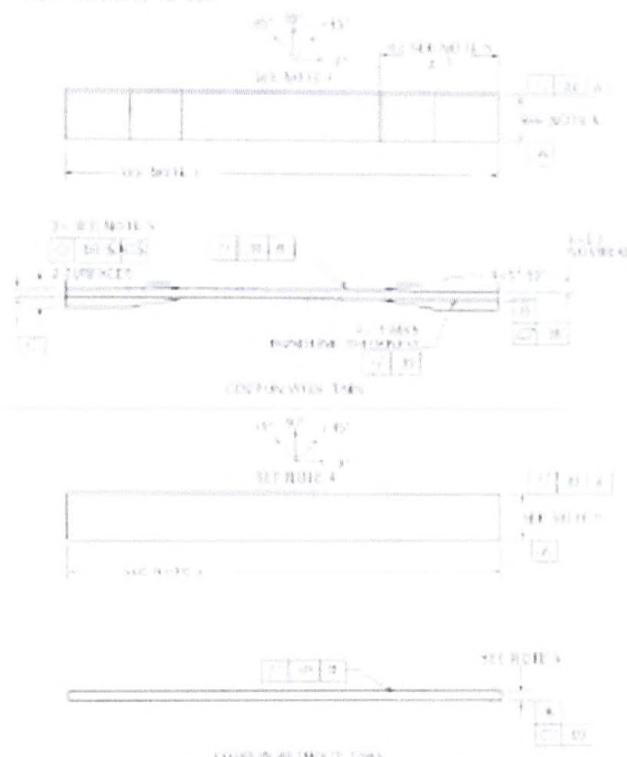


FIG. 2

Tension Test Specimen Drawing (54)

11.2.2 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels being tension tested. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D 792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D 3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D 2584. The void content equations of Test Methods D 2734 are applicable to both Test Method D 2584 and the matrix digestion procedures.

11.2.3 Following final specimen machining and any conditioning, but before the tension testing, determine the specimen area as $A = w B h$, at three places in the gage section, and report the area as the average of these three determinations to the accuracy in 7.1. Record the average area in units of mm^2 (in^2).

11.3 *Speed of Testing*—Set the speed of testing to effect a nearly constant strain rate in the gage section. If strain control is not available on the testing machine, this may be approximated by repeated monitoring and adjusting of the rate of load application to maintain a nearly constant strain rate, as mea-

sured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

11.3.1 *Strain-Controlled Tests*—A standard strain rate of 0.01 min^{-1} .

11.3.2 *Constant Head-Speed Tests*—A standard head displacement rate of 2 mm/min [0.05 in./min].

Note 5—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using corrugated tub materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 50 times lower than estimated by head speed have been observed.

11.4 *Test Environment*—Condition the specimen to the desired moisture profile and, if possible, test under the same conditioning fluid exposure level. However, cases such as

DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ASTM Y149M-99E SUBJECT TO THE FOLLOWING.
2. ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

1	0.01	0.03
2	0.01	0.01
3. ALL DIMENSIONS UNLESS OTHERWISE SPECIFIED ARE TO CENTER UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
4. ALL DIMENSIONS UNLESS OTHERWISE SPECIFIED ARE TO CENTER UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
5. FINISHES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, ALL SURFACES SHALL BE FINISHED IN ACCORDANCE WITH ASTM B46, WITH FINISH SPECIFIED IN MICROINCHES.
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO 4 MP BARRES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LABEL, FILE, ORIENTATION, REFERENCE RELATIVE TO (A), OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, INCHES FOR TENSILE AND FATIGUE, AND TENSILE AND FATIGUE AREA, AND OTHER AS APPLICABLE.
7. NO ADHESIVE BONDING ALLOWED IN THIS AREA.

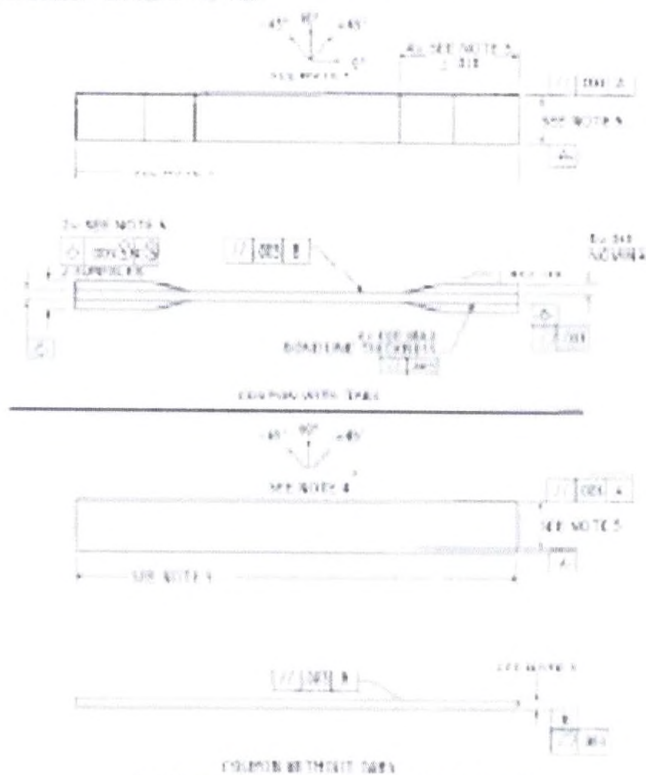


FIG. 3

Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

elevated temperature testing of a moist specimen place unrealistic requirements on the capabilities of common testing machine environmental chambers. In such cases, the mechanical test environment may need to be modified, for example, by testing at elevated temperature with no time exposure control, but with a specified limit on time to failure from withdrawal from the conditioning chamber. Modifications to the test environment shall be recorded.

11.4.1 Store the specimen in the conditioned environment until test time, if the testing area environment is different than the conditioning environment.

11.5 *Specimen Insertion*—Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the gripped specimen with the test direction. Tighten the grips, recording the pressure used on pressure controllable (hydraulic or pneumatic) grips.

Note: 1.—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment that results in premature failure of the specimen at the grip. When using

unstabbed specimens, a folded strip of medium grade (80 to 150 grit) emery cloth between the specimen faces and the grip jaws (grit-side toward specimen) provides a nonslip grip on the specimen without jaw serration damage to the surface of the specimen. When using tabbed specimens, insert the coupon so that the grip jaws extend approximately 50 to 15 mm (0.5 in.) past the beginning of the tapered portion of the tabs. Coupons having tabs that extend beyond the grips are prone to failure at the tab ends because of excessive interfacial stresses.

11.6 *Transducer Installation*—If strain response is to be determined attach the strain-indication transducer(s) to the specimen, symmetrically about the mid-span, mid-width location. Attach the strain-recording instrumentation to the transducer on the specimen.

11.6.1 When determining modulus of elasticity, it is recommended that at least one specimen per like sample be evaluated with back-to-back axial transducers to evaluate the percent bending, using Eq 5, at the average axial strain checkpoint value (the mid range of the appropriate chord modulus strain range) shown in Table 3. A single transducer can be used if the

TABLE 3. Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation		Longitudinal Strain
Start Point	End Point	Checkpoint for Bending
1000 ^a	5000	2000

^a 1000 μ = 0.001 average strain.

^b This strain range is to be contained in the lower half of the stress-strain curve. For materials that fail below 6000 μ , a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

percent bending is no more than 3 %. When bending is greater than 3 %, averaged strains from back-to-back transducers of like kind are recommended.

$$\beta = \frac{e_f - e_b}{B_p} \times 100 \quad (5)$$

where

e_f = indicated strain from front transducer, μ e;
 e_b = indicated strain from back transducer, μ e; and
 B_p = percent bending in specimen.

11.7 *Loading*—Apply the load to the specimen at the specified rate until failure, while recording data.

11.8 *Data Recording*—Record load versus strain (or transducer displacement) continuously or at frequent regular intervals. If a transition region or initial ply failures are noted, record the load, strain, and mode of damage at such points. If the specimen is to be failed, record the maximum load, the failure load, and the strain (or transducer displacement) at, or as near as possible to, the moment of rupture.

Note 8—Other valuable data that can be useful in understanding testing anomalies and gripping or specimen slipping problems includes load versus head displacement data and load versus time data.

11.9 *Failure Mode*—Record the mode and location of failure of the specimen. Choose, if possible, a standard description using the three-part failure mode code that is shown in Fig. 4.

11.10 *Grip/Tab Failures*—Examine the means of load introduction into the material if a significant fraction of failures in a sample population occur within one specimen width of the tab or grip. Factors considered should include the tab alignment, tab material, tab angle, tab adhesive, grip type, grip pressure, and grip alignment.

12. Calculation

12.1 *Tensile Stress/Tensile Strength*—Calculate the ultimate tensile strength using Eq. 6 and report the results to three significant figures. If the tensile modulus is to be calculated, determine the tensile stress at each required data point using Eq. 7.

$$f^{\text{ult}} = \frac{P^{\text{ult}}}{A} \quad (6)$$

$$s_i = \frac{P_i}{A} \quad (7)$$

where

f^{ult} = ultimate tensile strength, MPa [psi];
 P^{ult} = maximum load before failure, N [lbf];
 s_i = tensile stress at i th data point, MPa [psi];
 P_i = load at i th data point, N [lbf]; and
 A = average cross-sectional area from 11.2.3, mm^2 [in.²].

12.2 *Tensile Strain/Ultimate Tensile Strain*—If tensile modulus or ultimate tensile strain is to be calculated, and material response is being determined by an extensometer, determine the tensile strain from the indicated displacement at each required data point using Eq. 8 and report the results to three significant figures:

$$e_i = \frac{\delta_i}{L_g} \quad (8)$$

where

e_i = tensile strain at i th data point, μ e;
 δ_i = extensometer displacement at i th data point, mm [in.]; and
 L_g = extensometer gage length, mm [in.].

12.3 Tensile Modulus of Elasticity

Note 9—To minimize potential effects of bending it is recommended that the strain data used for modulus of elasticity determination be the average of the indicated strains from each side of the specimen, as discussed in 7.3 and 11.6.

12.3.1 *Tensile Chord Modulus of Elasticity*—Select the appropriate chord modulus strain range from Table 3. Calculate the tensile chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq. 9. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Report the tensile chord modulus of elasticity to three significant figures. Also report the strain range used in the calculation. A graphical example of chord modulus is shown in Fig. 5.

12.3.1.1 The tabulated strain ranges should only be used for materials that do not exhibit a transition region (a significant change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range shall be used and reported.

$$E^{\text{chord}} = \frac{D_s}{D_e} \quad (9)$$

where

E^{chord} = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];
 D_s = difference in applied tensile stress between the two strain points of Table 3, MPa [psi]; and
 D_e = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.002).

12.3.2 *Tensile Modulus of Elasticity (Other Definitions)*—Other definitions of elastic modulus may be evaluated and reported at the user's discretion. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used,

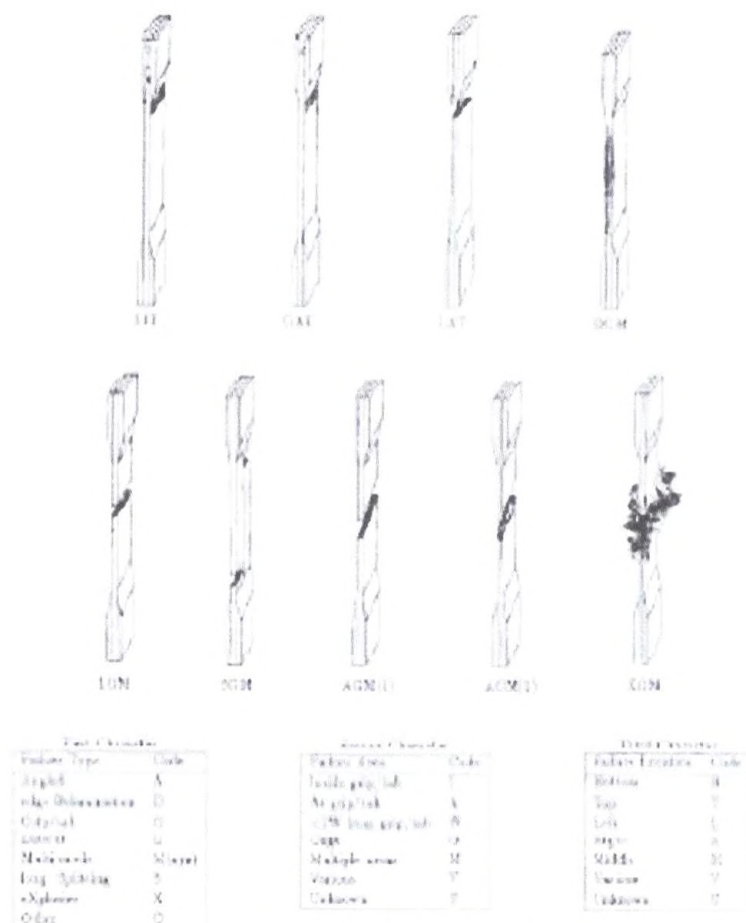


FIG. 4

Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

and the results to three significant figures. Test Method E 111 provides additional guidance in the determination of modulus of elasticity.

NOTE 10—An example of another modulus definition is the secondary chord modulus of elasticity for materials that exhibit essentially bilinear stress-strain behavior. An example of secondary chord modulus is shown in Fig. 5.

12.4 Poisson's Ratio:

NOTE 11—If bonded resistance strain gages are being used, the error produced by the transverse sensitivity effect on the transverse gage will generally be much larger for composites than for metals. An accurate measurement of Poisson's ratio requires correction for this effect. The strain gage manufacturer should be contacted for information on the use of correction factors for transverse sensitivity.

12.4.1 Poisson's Ratio By Chord Method—Select the appropriate chord modulus longitudinal strain range from Table 3. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied load), ϵ_t , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied load), ϵ_l , strain range end points. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use

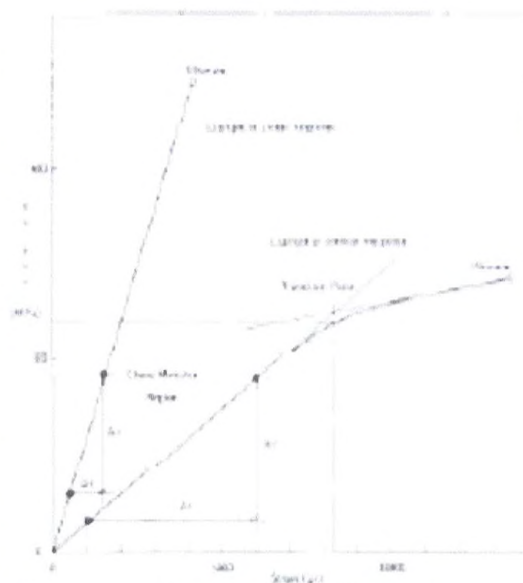


FIG. 5

Typical Tensile Stress-Strain Curves

the closest available data point. Calculate Poisson's ratio by Eq 10 and report to three significant figures. Also report the strain range used.

$$\nu = \Delta D_{xy} / D_x \quad (10)$$

where:

ν = Poisson's ratio;

D_x = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 3, $\mu\epsilon$; and

D_{xy} = difference between the two longitudinal strain points of Table 3 (nominally either 0.001, 0.002, or 0.005).

12.4.2 Tensile Poisson's Ratio (Other Definitions)—Other definitions of Poisson's ratio may be evaluated and reported at the user's discretion. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E 132 provides additional guidance in the determination of Poisson's ratio.

12.5 Transition Strain—Where applicable, determine the transition strain from either the bilinear longitudinal stress versus longitudinal strain curve or the bilinear transverse strain versus longitudinal strain curve. Create a best linear fit or chord line for each of the two linear regions and extend the lines until they intersect. Determine to three significant digits the longitudinal strain that corresponds to the intersection point and record this value as the transition strain. Report also the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined. A graphical example of transition strain is shown in Fig. 5.

12.6 Statistics—For each series of tests calculate the average value, standard deviation and coefficient of variation (in percent) for each property determined:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n \quad (11)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (12)$$

$$CV = 100 \cdot s / \bar{x} \quad (13)$$

where:

\bar{x} = sample mean (average);

s = sample standard deviation;

CV = sample coefficient of variation, in percent;

n = number of specimens; and

x_i = measured or derived property.

13. Report

13.1 Report the following information, or references pointing to other documentation containing this information, to the maximum extent applicable (reporting of items beyond the control of a given testing laboratory, such as might occur with material details or panel fabrication parameters, shall be the responsibility of the requester):

13.1.1 The revision level or date of issue of this test method

13.1.2 The date(s) and location(s) of the test

13.1.3 The name(s) of the test operator(s).

13.1.4 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.

13.1.5 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.

13.1.6 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

13.1.8 If requested, report density, volume percent reinforcement, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test results.

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

13.1.11 Method of preparing the test specimen, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, coupon cutting method, identification of tab geometry, tab material, and tab adhesive used.

13.1.12 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.

13.1.13 Type of test machine, grips, jaws, grip pressure, alignment results, and data acquisition sampling rate and equipment type.

13.1.14 Results of system alignment evaluations, if any such were done.

13.1.15 Dimensions of each test specimen

13.1.16 Conditioning parameters and results, use of travelers and traveler geometry, and the procedure used if other than that specified in the test method.

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

13.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

13.1.21 Transducer placement on the specimen and transducer type for each transducer used.

13.1.22 If strain gages were used, the type, resistance, size, gage factor, temperature compensation method, transverse sensitivity, lead-wire resistance, and any correction factors used.

13.1.23 Stress-strain curves and tabulated data of stress versus strain for each specimen.

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

13.1.25 Individual strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load before failure.

13.1.26 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.27 Strain range used for chord modulus and Poisson's ratio determination.

13.1.28 If another definition of modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

13.1.29 Individual values of modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.30 If another definition of Poisson's ratio is used in addition to the chordwise definition, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

13.1.31 Individual values of Poisson's ratio, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.32 If transition strain is determined, the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined.

13.1.33 Individual values of transition strain (if applicable), and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

14. Precision and Bias

14.1 Precision:

14.1.1 The precision and bias of tension test strength and modulus measurements depend on strict adherence to the Test Method D 3039/D 3039M and are influenced by mechanical and material factors, specimen preparation, and measurement errors.

14.1.2 Mechanical factors that can affect the test results include: the physical characteristics of the testing machine (stiffness, damping, and mass), accuracy of loading and displacement/strain measurement, speed of loading, alignment of test specimen with applied load, parallelism of the grips, grip pressure, and type of load control (displacement, strain, or load).

14.1.3 Material factors that can affect test results include: material quality and representativeness, sampling scheme, and specimen preparation (dimensional accuracy, tab material, tab taper, tab adhesive, and so forth).

14.1.4 The mean tensile strength for a strain rate sensitive, glass epoxy type composite testing in the fiber direction was found to increase by approximately two standard deviations with decreasing time to failure tested at the limits of the recommended time to failure prescribed in Test Method D 3039/D 3039M. This result suggest that caution must be used when comparing test data obtained for strain rate sensitive composite materials tested in accordance with this standard.

14.1.5 Measurement errors arise from the use of specialized measuring instruments such as load cells, extensometers and strain gages, micrometers, data acquisition devices, and so forth.

14.1.6 Data obtained from specimens that fracture outside the gage are should be used with caution as this data may not be representative of the material. Failure in the grip region indicates the stress concentration at the tab is greater than the

natural strength variation of the material in the gage section. A tapered tab, bonded with a ductile low-modulus adhesive has a relatively low-stress concentration and should result in the lowest frequency of grip failures. Low-strength bias increases with the frequency of grip failures by an amount proportional to the stress concentration at the tab.

14.1.7 An interlaboratory test program was conducted where an average of five specimens each, of six different materials and lay-up configurations, were tested by nine different laboratories.¹⁴ Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E 691 for tensile strength, modulus, and failure strain. All data except that for Material B (90° lay-up) was normalized with respect to an average thickness. The materials listed in Table 15 are defined as:

A	IM-63501-5 uni-axial (0 in)
B	IM-63501-5 uni-axial (90 in)
C	IM-63501-5 uni-axial (90/0 in)
F	Glass/epoxy fabric (7731)
glass/Chs B: 77N	Epoxy-wrap aligned
G	Carbon/epoxy fabric (6510)
carbon/Chs B: 67N	

TABLE 4 Precision Statistics

Material	x	s	s/x	S _x	S _y	S _y /x, %
A	342.89	3.49	93.66	12.78	3.12	3.73
B	0.52	0.52	0.65	0.62	6.94	10.64
C	156.37	3.64	93.65	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.62	3.62	3.23	3.23
Modulus, Msi						
A	23.57	0.65	0.63	0.88	2.69	3.69
B	1.30	0.05	0.04	0.05	3.12	4.57
C	12.33	0.29	0.57	0.44	2.96	3.54
F	3.95	0.06	0.04	0.09	1.01	2.20
G	9.47	0.16	0.12	0.22	1.29	2.00
Failure Strain, %						
0.07 A	1.16	0.08	0.06	4.65	0.15	
0.06 B	0.66	0.24	0.09	12.47	13.02	
0.06 C	1.22	0.03	0.06	5.25	5.27	
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19	3.03
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.23	4.13

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of $S_{x/x}$ and $S_{y/y}$ represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively. These averages permit a relative comparison of the repeatability (within laboratory precision) and reproducibility (between laboratory precision) of the tension test parameters. Overall, this indicates that the failure strain measurements exhibit the least repeatability and reproducibility of all the parameters measured while modulus was found to provide the highest repeatability and reproducibility of the parameters measured.

¹⁴ International Harmonization of Composite Materials—Phase 1: Harmonization of ASTM D 3039/D 3039M and ISO 527-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

Parameter	Average of S _u /K, %	Average of S _u /K, %
Strength	5.11	6.00
Modulus	2.22	3.22
Failure strain	5.94	7.32

rial and specimen preparation techniques, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

14.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method.

14.1.9 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on lay-up configuration, material, and no acceptable reference standard exists.

15. Keywords

15.1 composite materials; modulus of elasticity; Poisson's ratio; tensile properties; tensile strength

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of the standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-650-6666 (phone), 610-332-6555 (fax), or service@astm.org (email), or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D 7264/D 7264M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method determines the flexural stiffness and strength properties of polymer matrix composites.

1.1.1 *Procedure A*—A three-point loading system utilizing center loading on a simply supported beam.

1.1.2 *Procedure B*—A four-point loading system utilizing two load points equally spaced from their adjacent support points, with a distance between load points of one-half of the support span.

Note 1—Unlike Test Method D 6272, which allows loading at both one-third and one-half of the support span, in order to standardize geometry and simplify calculations this standard permits loading at only one-half the support span.

1.2 For comparison purposes, tests may be conducted according to either test procedure, provided that the same procedure is used for all tests, since the two procedures generally give slightly different property values.

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D 790 Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials

D 2344/D 2344M Test Method for Short-Beam Strength of

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

D 3878 Terminology for Composite Materials

D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials

D 5687/D 5687M Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation

D 6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending

D 6856 Guide for Testing Fabric-Reinforced "Textile" Composite Materials

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E 18 Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials

E 122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average for a Characteristic of a Lot or Process

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics

E 1309 Guide for Identification of Fiber-Reinforced Polymer-Matrix Composite Materials in Databases

E 1434 Guide for Recording Mechanical Test Data of Fiber-Reinforced Composite Materials in Databases

2.2 Other Documents

ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric³

ANSI B46.1-1995 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)³

3. Terminology

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

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.04 on 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_f = flexural chord modulus of elasticity

E_{secant} = flexural secant modulus of elasticity

h = specimen thickness

L = support span

m = slope of the secant of the load-deflection curve

n = number of specimens

P = applied force

s_{n-1} = sample standard deviation

x_j = measured or derived property

\bar{x} = sample mean

d = mid-span deflection of the specimen

e = strain at the outer surface at mid-span of the specimen

s = stress at the outer surface at mid-span of the specimen

4. Summary of Test Method

4.1 A bar of rectangular cross section, supported as a beam, is deflected at a constant rate as follows:

4.1.1 *Procedure A*—The bar rests on two supports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports (see Fig. 1).

4.1.2 *Procedure B*—The bar rests on two supports and is loaded at two points (by means of two loading noses), each an equal distance from the adjacent support point. The distance between the loading noses (that is, the load span) is one-half of the support span (see Fig. 2).

4.2 Force applied to the specimen and resulting specimen deflection at the center of span are measured and recorded until the failure occurs on either one of the outer surfaces, or the deformation reaches some pre-determined value.

4.3 The major difference between four-point and three-point loading configurations is the location of maximum bending moment and maximum flexural stress. With the four-point configuration the bending moment is constant between the central force application members. Consequently, the maximum flexural stress is uniform between the central force application members. In the three-point configuration, the maximum flexural stress is located directly under the center

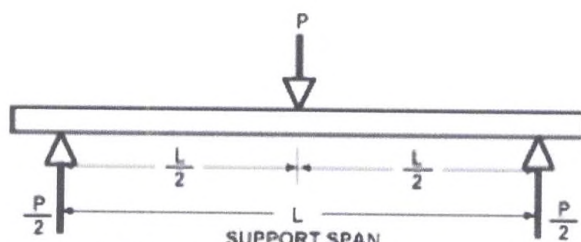


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

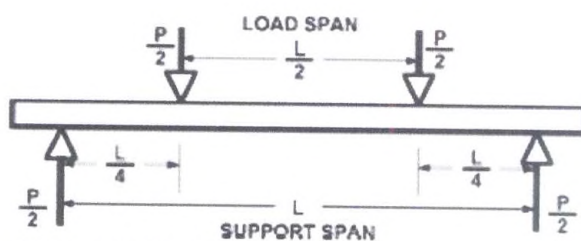


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

force application member. Another difference between the three-point and four-point configurations is the presence of resultant vertical shear force in the three-point configuration everywhere in the beam except right under the mid-point force application member whereas in the four-point configuration, the area between the central force application members has no resultant vertical shear force. The distance between the outer support members is the same as in the equivalent three-point configuration.

4.4 The test geometry is chosen to limit out-of-plane shear deformations and avoid the type of short beam failure modes that are interrogated in Test Method D 2344 D 2344M.

5. Significance and Use

5.1 This test method determines the flexural properties (including strength, stiffness, and load deflection behavior) of polymer matrix composite materials under the conditions defined. Procedure A is used for three-point loading and Procedure B is used for four-point loading. This test method was developed for optimum use with continuous-fiber-reinforced polymer matrix composites and differs in several respects from other flexure methods, including the use of a standard span-to-thickness ratio of 32:1 versus the 16:1 ratio used by Test Methods D 790 (a plastics-focused method covering three-point flexure) and D 6272 (a plastics-focused method covering four-point flexure).

5.2 This test method is intended to interrogate long-beam strength in contrast to the short-beam strength evaluated by Test Method D 2344 D 2344M.

5.3 Flexural properties determined by these procedures can be used for quality control and specification purposes, and may find design applications.

5.4 These procedures can be useful in the evaluation of multiple environmental conditions to determine which are design drivers and may require further testing.

5.5 These procedures may also be used to determine flexural properties of structures.

6. Interferences

6.1 Flexural properties may vary depending on which surface of the specimen is in compression, as no laminate is perfectly symmetric (even when full symmetry is intended); such differences will shift the neutral axis and will be further affected by even modest asymmetry in the laminate. Flexural properties may also vary with specimen thickness, conditioning and/or testing environments, and rate of straining. When evaluating several datasets these parameters should be equivalent for all data in the comparison.

6.2 For multidirectional laminates with a small or moderate number of laminae, flexural modulus and flexural strength may be affected by the ply-stacking sequence and will not necessarily correlate with extensional modulus, which is not stacking-sequence dependent.

6.3 The calculation of the flexural properties in Section 13 of this standard is based on beam theory, while the specimens in general may be described as plates. The differences may in some cases be significant, particularly for laminates containing a large number of plies in the $0-90^\circ$ direction. The deviations from beam theory decrease with decreasing width.

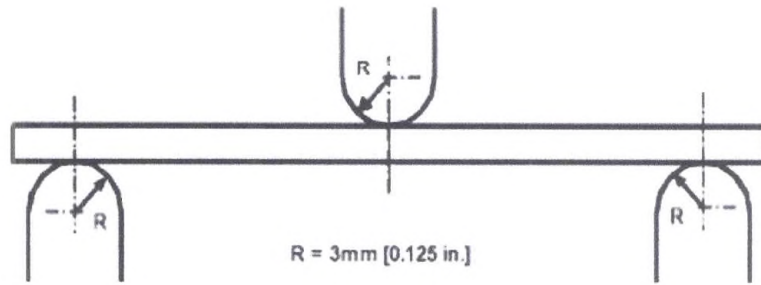
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces and resisting moments on the beam, which superpose with the intended loading. The type of supports used is to be reported as described in Section 14. The loading noses should also uniformly contact the specimen across its width. Lack of

uniform contact can affect flexural properties by initiating damage by crushing and by non-uniformly loading the beam. Formulas used in this standard assume a uniform line loading at the specimen supports across the entire specimen width; deviations from this type of loading is beyond the scope of this standard.

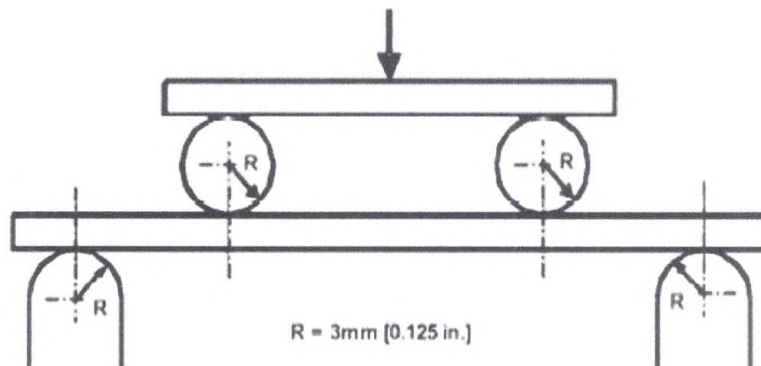
7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—Properly calibrated, which can be operated at a constant rate of crosshead motion, and in which the error in the force application system shall not exceed $\pm 1\%$ of the full scale. The force indicating mechanism shall be essentially free of inertia lag at the crosshead rate used. Inertia lag shall not exceed 1% of the measured force. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

7.2 *Loading Noses and Supports*—The loading noses and supports shall have cylindrical contact surfaces of radius 3.00 mm [0.125 in.] as shown in Fig. 3, with a hardness of 60 to 62 HRC, as specified in Test Methods E 18, and shall have finely



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



Four-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Rolling Loading Noses

FIG. 3 Example Loading Nose and Supports for Procedures A (top) and B (bottom)

ground surfaces free of indentation and burrs with all sharp edges relieved. Loading noses and supports may be arranged in a fixed, rotatable or rolling arrangement. Typically, with composites, rotatable or fixed arrangements are used.

7.3 Micrometers—For width and thickness measurements the micrometers shall use a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in.] nominal diameter ball-interface on an irregular surface such as the bag side of a laminate, and a flat anvil interface on machined edges or very smooth tooled surfaces. A micrometer or caliper with flat anvil faces shall be used to measure the length of the specimen. The accuracy of the instrument(s) shall be suitable for reading to within 1% or better of the specimen dimensions. For typical section geometries, an instrument with an accuracy of 0.02 mm [0.001 in.] is desirable for thickness and width measurement, while an instrument with an accuracy of 0.1 mm [0.004 in.] is adequate for length measurement.

7.4 Deflection Measurement—Specimen deflection at the common center of the loading span shall be measured by a properly calibrated device having an accuracy of 0.1% or better of the expected maximum displacement. The device shall automatically and continuously record the deflection during the test.

7.5 Conditioning Chamber—When conditioning materials at non-laboratory environments, a temperature vapor-level controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within 0.1°C [0.2°F] and the required vapor level to within 0.3% relative humidity, as outlined in Test Method D 5229 D 5229M. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

7.6 Environmental Test Chamber—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the test specimen at the required temperature

within 0.3°C [0.5°F] and the required vapor level to within 0.5% relative humidity.

8. Test Specimens

8.1 Specimen Preparation—Guide D 5687 D 5687M provides recommended specimen preparation practices and should be followed when practical.

8.2 Specimen Size is chosen such that the flexural properties are determined accurately from the tests. For flexural strength, the standard support span-to-thickness ratio is chosen such that failure occurs at the outer surface of the specimens, due only to the bending moment (see Notes 2 and 3). The standard span-to-thickness ratio is 32:1, the standard specimen thickness is 4 mm [0.16 in.], and the standard specimen width is 13 mm [0.5 in.] with the specimen length being about 20% longer than the support span. See Figs. 4 and 5 for a drawing of the standard test specimen in SI and inch-pound units, respectively. For fabric-reinforced textile composite materials, the width of the specimen shall be at least two unit cells, as defined in Guide D 6856. If the standard specimen thickness cannot be obtained in a given material system, an alternate specimen thickness shall be used while maintaining the support span-to-thickness ratio [32:1] and specimen width. Optional support span-to-thickness ratios of 16:1, 20:1, 40:1, and 60:1 may also be used provided it is so noted in the report. Also, the data obtained from a test using one support span-to-thickness ratio may not be compared with the data from another test using a different support span-to-thickness ratio.

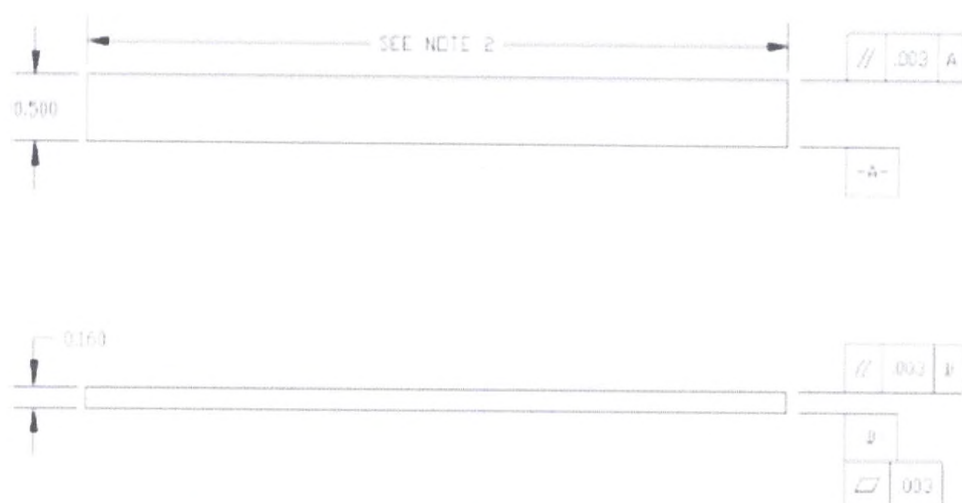
8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.



Note 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.

Note 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)



NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.

NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 5 Standard Flexural Test Specimen Drawing (Inch-Pound)

NOTE 2—A support span-to-thickness ratio of less than 32:1 may be acceptable for obtaining the desired flexural failure mode when the ratio of the lower of the compressive and tensile strength to out-of-plane shear strength is less than 8, but the support span-to-thickness ratio must be increased for composite laminates having relatively low out-of-plane shear strength and relatively high in-plane tensile or compressive strength parallel to the support span.

NOTE 3—While laminate stacking sequence is not limited by this test method, significant deviations from a lay-up of nominal balance and symmetry may induce unusual test behaviors and a shift in the neutral axis.

9. Number of Test Specimens

9.1 Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data the procedures outlined in Practice E 122 should be consulted. Report the method of sampling.

10. Conditioning

10.1 The recommended pre-test specimen condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method D 5229/D5229M; however, if the test requester does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, conditioning is not required and the test specimens may be tested as prepared.

NOTE 4—The term *moisture*, as used in Test Method D 5229/D5229M, includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.

10.2 The pre-test specimen conditioning process, to include specified environmental exposure levels and resulting moisture content, shall be reported with the data.

10.3 If there is no explicit conditioning process, the conditioning process shall be reported as "unconditioned" and the moisture content as "unknown."

11. Procedure

11.1 Condition the specimens as required. Store the specimens in the conditioned environment until test time.

11.2 Following final specimen machining and any conditioning but before testing, measure and record the specimen width and thickness at the specimen mid-section, and the specimen length, to the specified accuracy.

11.3 Measure the span accurately to the nearest 0.1 mm [0.004 in.] for spans less than 63 mm [2.5 in.] and the nearest 0.3 mm [0.012 in.] for spans greater than or equal to 63 mm [2.5 in.]. Use the measured span for all calculations. See Annex A1 for information on the determination of and setting of the span.

11.4 *Speed of Testing*—Set the speed of testing at a rate of crosshead movement of 1.0 mm/min [0.05 in./min] for a specimen with standard dimensions. For specimens with dimensions that vary greatly from the standard dimensions, a crosshead rate that will give a similar rate of straining at the outer surface can be obtained via the method outlined in Test Methods D 790 for Procedure A and Test Method D 6272 for Procedure B.

11.5 Align the loading nose(s) and supports so that the axes of the cylindrical surfaces are parallel. For Procedure A, the loading nose shall be midway between the supports. For Procedure B, the load span shall be one-half of the support span and symmetrically placed between the supports. The parallelism may be checked by means of plates with parallel grooves into which the loading nose(s) and supports will fit when properly aligned. Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading noses and supports. See Annex A1 for setting and measuring span.

11.6 Apply the force to the specimen at the specified crosshead rate. Measure and record force-deflection data at a

rate such that a minimum of 50 data points comprise the force-deflection curve. (A higher sampling rate may be required to properly capture any nonlinearities or progressive failure of the specimen.) Measure deflection by a transducer under the specimen in contact with it at the center of the support span, the transducer being mounted stationary relative to the specimen supports. Do not use the measurement of the motion of the loading nose relative to the supports as this will not take into account the rotation of the specimen about the load and support noses, nor account for the compliance in the loading nose or crosshead.

11.7 Failure Modes—To obtain valid flexural strength, it is necessary that the specimen failure occurs on either one of its outer surfaces, without a preceding interlaminar shear failure or a crushing failure under a support or loading nose. Failure on the tension surface may be a crack while that on the compression surface may be local buckling. Buckling may be manifested as fiber micro-buckling or ply-level buckling. Ply-level buckling may result in, or be preceded by delamination of the outer ply.

11.7.1 Failure Identification Codes—Record the mode, area, and location of failure for each specimen. Choose a standard failure identification code based on the three-part code shown in Fig. 6. A multimode failure can be described by including each of the appropriate failure-mode codes between the parentheses of the M failure mode.

12. Validation

12.1 Values for properties at failure shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious, fortuitous flaw, unless such flaws constitute a variable being studied. Specimens that fail in an unacceptable failure mode shall not be included in the flexural property calculations. Retests shall be made for any specimen for which values are not calculated. If a significant fraction (>50%) of the specimens fail in an unacceptable failure mode then the span-to-thickness ratio (for excessive shear failures) or the loading nose diameter (crushing under the loading nose) should be reexamined.

13. Calculation

Note 5—In determination of the calculated value of some of the properties listed in this section it is necessary to determine if the toe compensation (see Annex A2) adjustment must be made. This toe compensation correction shall be made only when it has been shown that the toe region of the curve is due to take up of the slack, alignment, or seating of the specimen and is not an authentic material response.

13.1 Maximum Flexural Stress, Procedure A—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a

beam simply supported at two points and loaded at the midpoint, the maximum stress at the outer surface occurs at mid-span. The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 6):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

where

σ = stress at the outer surface at mid-span, MPa [psi],

P = applied force, N [lbf],

L = support span, mm [in.],

b = width of beam, mm [in.], and

h = thickness of beam, mm [in.]

Note 6—Eq. 1 applies strictly to materials for which the stress is linearly proportional to strain up to the point of rupture and for which the strains are small. Since this is not always the case, a slight error will be introduced in the use of this equation. The equation will however be valid for comparison data and specification values up to the maximum fiber strain of 2% for specimens tested by the procedure herein described. It should be noted that the maximum ply stress may not occur at the outer surface of a multidirectional laminate.⁴ Laminated beam theory must be applied to determine the maximum tensile stress at failure. Thus, Eq. 1 yields an apparent strength based on homogeneous beam theory. This apparent strength is highly dependent on the ply-stacking sequence for multidirectional laminates.

13.2 Maximum Flexural Stress, Procedure B—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to $1/3$ the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

$$\sigma = \frac{3PL}{4bh^2} \quad (2)$$

where

σ = stress at the outer surface in the load span region, MPa

[psi],

P = applied force, N [lbf],

L = support span, mm [in.],

b = width of beam, mm [in.], and

⁴ For the theoretical details, see Whitney, J. M., Browning, C. E., and Man, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," *Composite Materials: Testing and Design (Third Conference)*, ASTM STP 546, 1974, pp. 33-45.

First Character		Second Character		Third Character	
Failure Mode	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Tension	T	At loading nose	A	Top	T
Compression	C	Between loading noses	B	Bottom	B
Buckling	B	at Support nose	S	Left	L
interlaminar Shear	S	between Load and support nose	L	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Unknown	U	Middle	M
Other	O			Various	V
				Unknown	U

FIG. 6 Flexure Test Specimen Three-Part Failure Identification Code

h = thickness of beam, mm [in.]

Note 7—The limitations defined for Eq 1 in Note 6 apply also to Eq 2

13.3 *Flexural Strength*—The flexural strength is equal to the maximum stress at the outer surface corresponding to the peak applied force prior to failure (for multidirectional laminates, see Note 6). It is calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the peak applied force.

13.4 *Flexural Stress at a Given Strain*—The maximum flexural stress at any given strain may be calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the applied force read from the force-deflection curve at the deflection corresponding to the desired strain (for multidirectional laminates, see Note 6). Equations for calculating strains from the measured deflection are given in 13.5 and 13.6

13.5 *Maximum Strain, Procedure A*—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it may be calculated as follows:

$$E_f \frac{6d}{L^2} = \epsilon \quad (3)$$

where

ϵ = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
 d = mid-span deflection, mm [in.],
 L = support span, mm [in.], and
 h = thickness of beam, mm [in.]

13.6 *Maximum Strain, Procedure B*—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it may be calculated as follows:

$$\epsilon = \frac{3.26d\epsilon}{L^2} \quad (4)$$

where:

d = mid-span deflection, mm [in.],
 ϵ = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
 L = support span, mm [in.], and
 h = thickness of beam, mm [in.]

13.7 Flexural Modulus of Elasticity:

chord modulus of elasticity is the ratio of stress range and corresponding strain range. For calculation of flexural chord

point of 0.001 and an end point 0.003. If the data is not modulus, the recommended strain range is 0.002 with a start

available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate the flexural chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 5 (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8).

$$E_f = \frac{D_2 - D_1}{\Delta \epsilon} \quad (5)$$

where:

E_f = flexural chord modulus of elasticity, MPa [psi],

13.7.1.1 Report the chord modulus of elasticity in MPa [psi] for the strain range 0.001 to 0.003. If a different strain range is used in the calculations, also report the strain range used.

Note 8—Shear deformation can seriously reduce the apparent flexural modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low span-to-thickness ratios.¹ For this reason, a high span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

13.7.2 *Flexural Secant Modulus of Elasticity*—The flexural secant modulus of elasticity is the ratio of stress to corresponding strain at any given point on the stress-strain curve. The flexural secant modulus is same as the flexural chord modulus in which the initial strain point is zero. It shall be expressed in MPa [psi]. It is calculated as follows (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8).

13.7.2.1 For Procedure A:

$$E_{secant} = \frac{P}{4bh^3} \quad (6)$$

where:

E_{secant} = flexural secant modulus of elasticity, MPa [psi],
 L = support span, mm [in.],
 b = width of beam, mm [in.],
 h = thickness of beam, mm [in.] and
 m = slope of the secant of the force-deflection curve

13.7.2.2 For Procedure B:

$$E_{secant} = \frac{0.171 P}{bh^3} \quad (7)$$

where E_{secant} , m , L , b , and h are the same as for Eq 6.

13.7.3 Chord modulus of elasticity shall be reported although other definitions of moduli may also be used. However, when other definitions of moduli are used, it should be clearly indicated in the report.

13.8 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation, and coefficient of variation for each property determined:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (8)$$

$$s_{est} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

where:

\bar{x} = average value or sample mean,
 x_i = value of single measured or derived property,
 n = number of specimens,
 s_{est} = estimated standard deviation,
 CV = coefficient of variation in percentage

- D_s = difference in flexural stress between the two selected strain points, MPa [psi], and
 D_e = difference between the two selected strain points (nominally 0.002).

³ For discussion of these effects, see Zweben, C., Smith, W. S., and Wiedle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fibero-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.

14. Report

- 14.1 The information reported for this test method includes material identification and mechanical testing data. These data shall be reported in accordance with Guides E 1309 and E 1471. At a minimum, the following should be reported:
- 14.1.1 The revision level or date of issue of the test method used.
 - 14.1.2 The date(s) and location(s) of the testing.
 - 14.1.3 The name(s) of the test operator(s).
 - 14.1.4 The test Procedure used (A or B).
 - 14.1.5 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.
 - 14.1.6 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from the manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.
 - 14.1.7 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.
 - 14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.
 - 14.1.9 If requested, report density, reinforcement volume fraction, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test data.
 - 14.1.10 Average ply thickness of the material.
 - 14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.
 - 14.1.12 Method of preparing the test specimens, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, and specimen cutting method.
 - 14.1.13 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.
 - 14.1.14 Type of test machine, grips, jaws, alignment data, and data acquisition sampling rate and equipment type.
 - 14.1.15 Dimensions of each specimen to at least three significant figures, including specimen width, thickness, and overall length.
 - 14.1.16 Conditioning parameters and results, and the procedure used if other than that specified in this test method.
 - 14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.
 - 14.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.
 - 14.1.19 Number of specimens tested.
 - 14.1.20 Load-span length, support-span length, and support span-to-thickness ratio.
 - 14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.
 - 14.1.22 Speed of testing.

14.1.23 Transducer placement on the specimen, transducer type, and calibration data for each transducer used.

14.1.24 Force-deflection curves for each specimen. Note method and offset value if toe compensation was applied to force-deflection curve.

14.1.25 Tabulated data of flexural stress versus strain for each specimen.

14.1.26 Individual flexural strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load prior to failure.

14.1.27 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.28 Strain range used for the flexural chord modulus of elasticity determination.

14.1.29 Individual values of flexural chord modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.30 If an alternate definition of flexural modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

14.1.31 Individual values of the alternate (see above) flexural modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 Individual maximum flexural stresses, and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test in which the failure load was less than the maximum load before failure.

14.1.33 For flexural modulus only tests: maximum load applied, strain at maximum applied load, and calculated flexural modulus of elasticity (E).

14.1.34 Individual maximum flexural strains and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test that was truncated to 2% strain.

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The data required for the development of precision is not currently available for this test method.

15.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

16. Keywords

16.1 fiber-reinforced composites; flexural properties; stiffness; strength

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

A1.1 For flexural fixtures that have adjustable spans, it is important that the span between the supports is maintained constant or the actual measured span is used in the calculation of flexural stress, flexural modulus and strain, and the loading noses are positioned and aligned properly with respect to the supports. Some simple steps as follows can improve the repeatability of results when using adjustable span fixtures.

A1.2 Measurement of Span

A1.2.1 This technique is needed to ensure that the correct span, not an estimated span, is used in calculation of results.

A1.2.2 Scribe a permanent line or mark at the exact center of the support where the specimen makes complete contact. The type of mark depends on whether the supports are fixed or rotatable (see Figs. A1.1 and A1.2).

A1.2.3 Using a vernier caliper with pointed tips that is readable to at least 0.1 mm [0.004 in.], measure the distance between the supports, and use this measurement of span in the calculations.

A1.3 *Setting the Span and Alignment of Loading Nose(s)*—To ensure a constant day-to-day setup of the span and ensure the alignment and proper positioning of the loading nose(s), simple jigs should be manufactured for each of the standard setups used. An example of a jig found to be useful is shown in Fig. A1.3.

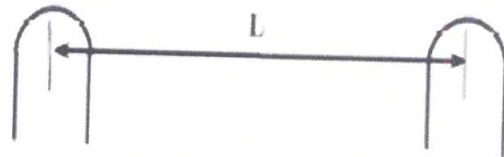


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

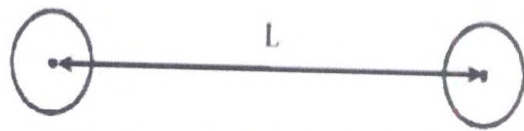


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

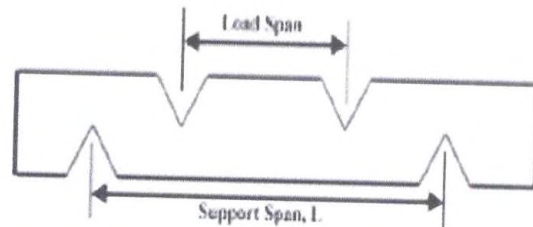


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

A2. TOE COMPENSATION

A2.1 In a typical force-deflection curve (see Fig. A2.1) there is a toe region, AC, which does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a take-up of slack and alignment or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as flexural modulus, and deflection at failure, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the deflection, or extension axis.

A2.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (see Fig. A2.1), a continuation of the linear (CD) region is constructed through the zero axis. This intersection (B) is the corrected zero deflection point from which all deflections must be measured. The slope can be determined by dividing the change in force between any two points along the line CD (or its extension) by the change in deflection at the same two points (measured from Point B, defined as zero-deflection).

A2.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (see Fig. A2.2), the same kind of toe correction of zero-deflection point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection Point H'. This is extended to intersect the deflection axis at Point B', the corrected zero-deflection point. Using Point B' as zero deflection, the force at any point (G') on the curve can be divided by the deflection at that point to obtain a flexural chord modulus (slope of Line B'G').

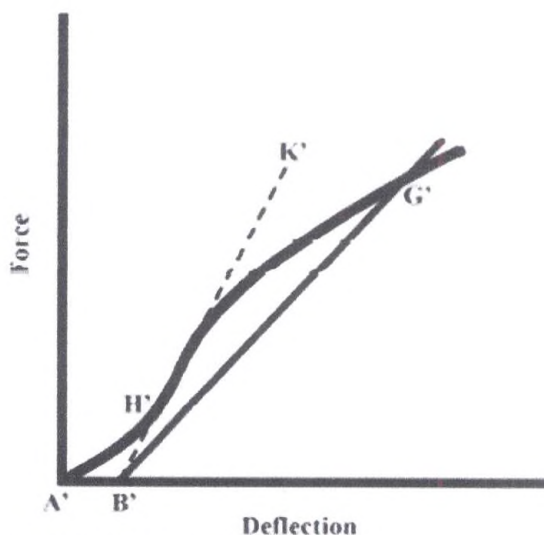


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

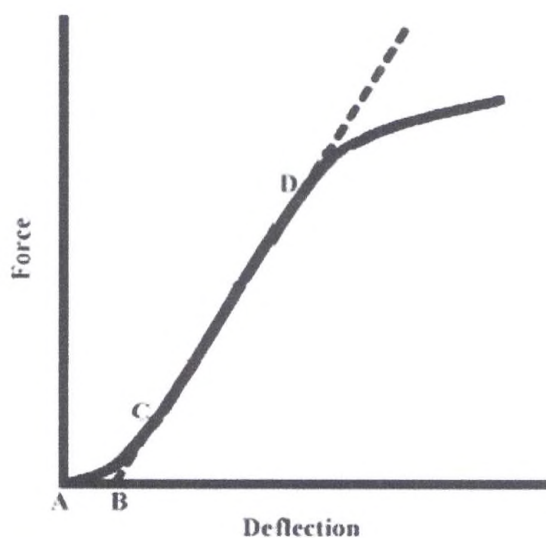


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

ANEXOS DE ENSAYOS
TRACCIÓN, FLEXIÓN Y
DUREZA



INFORME TÉCNICO

LAEV – MAY.13

Quito, 26 de mayo de 2014

TRABAJO SOLICITADO POR: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
Ing. Mg. Juan Paredes

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos pertenecientes al Ing. Juan Paredes. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

RESULTADOS

1. **MUESTRAS:** Veinte y un (21) probetas de material compuesto para ensayo de tracción según norma ASTM D 3039. Veinte y un (21) probetas de material compuesto para ensayo de flexión según norma ASTM D 7264.

2. ENSAYO DE TRACCIÓN SEGÚN NORMA ASTM D 3039

En la tabla 1 se presentan los resultados de los ensayos de tracción realizados a las probetas de material compuesto reforzado con fibra de vidrio, nanotubos de carbono 5% y nanotubos de carbono 10%.

Tabla 1. Resistencia a la tracción obtenida en el ensayo realizado.

Identificación	Ancho	Espesor	Carga última registrada		Resistencia a la tracción	
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa
Fibra de vidrio-1	23,94	3,87	361	1605,81	2,51	17,31
Fibra de vidrio-2	24	3,67	592	2633,35	4,34	29,92
Fibra de vidrio-3	23,81	4,56	548	2437,62	3,26	22,48
Fibra de vidrio-4	24,24	3,15	265	1178,78	2,24	15,44
Fibra de vidrio-5	24,14	3,16	344	1530,19	2,91	20,06
Fibra de vidrio-6	24,46	3,02	364	1619,15	3,18	21,93

Continuación de la tabla 1

Fibra de vidrio-7	24,37	4,51	480	2135,15	2,82	19,44
Nanotubos de carbono 5%-1	24,63	4,13	831	3696,47	5,27	36,34
Nanotubos de carbono 5%-2	24,54	4,38	351	1561,33	2,11	14,55
Nanotubos de carbono 5%-3	24,63	4,35	889	3954,47	5,35	36,89
Nanotubos de carbono 5%-4	24,25	4,27	841	3740,95	5,24	36,13
Nanotubos de carbono 5%-5	23,98	3,94	765	3402,89	5,22	35,99
Nanotubos de carbono 5%-6	23,87	4,51	745	3313,92	4,46	30,75
Nanotubos de carbono 5%-7	24,35	4,27	653	2904,69	4,05	27,92
Nanotubos de carbono 10%-1	23,91	4,31	549	2442,07	3,44	23,72
Nanotubos de carbono 10%-2	23,62	4,36	406	1805,98	2,54	17,51
Nanotubos de carbono 10%-3	23,79	4,22	380	1690,32	2,44	16,82
Nanotubos de carbono 10%-4	23,76	4,13	842	3745,40	5,54	38,20
Nanotubos de carbono 10%-5	23,92	4,48	897	3990,05	5,4	37,23
Nanotubos de carbono 10%-6	23,59	4,01	722	3211,61	4,92	33,92
Nanotubos de carbono 10%-7	24,04	4,14	830	3692,02	5,38	37,09

3. ENSAYO DE FLEXIÓN SEGÚN NORMA ASTM D 7264 PROCEDIMIENTO A

En la tabla 2 se presentan los resultados de los ensayos de flexión realizados a las probetas de material compuesto reforzado con fibra de vidrio, nanotubos de carbono 5% y nanotubos de carbono 10%. El ensayo de flexión fue realizado a una velocidad de 500 mm/min.

Tabla 2. Esfuerzo máximo obtenido en el ensayo de flexión.

Identificación	Ancho	Espesor	Carga máxima registrada		Esfuerzo a la flexión	
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa
Fibra de vidrio-1	13,27	4,12	15,39	68,46	8,60	59,26
Fibra de vidrio-2	12,67	3,62	15,54	69,13	11,77	81,19
Fibra de vidrio-3	12,94	3,71	12,53	55,74	8,85	61,02
Fibra de vidrio-4	13,34	4,59	15,29	68,01	6,84	47,19
Fibra de vidrio-5	13,41	4,21	15,27	67,92	8,08	55,73
Fibra de vidrio-6	13,89	3,61	14,69	65,34	10,21	70,39
Fibra de vidrio-7	13,19	3,73	20,4	90,74	13,99	96,42
Nanotubos de carbono 5%-1	13,11	4,16	13,54	60,23	7,51	51,77
Nanotubos de carbono 5%-2	13,85	3,26	11,87	52,80	10,15	69,95
Nanotubos de carbono 5%-3	13,45	4,12	14,49	64,45	7,98	55,05
Nanotubos de carbono 5%-4	12,86	4,25	13,71	60,99	7,43	51,20
Nanotubos de carbono 5%-5	13,22	4,37	15,77	70,15	7,86	54,18

Continuación de la tabla 2

Nanotubos de carbono 5%-6	13,13	3,49	13,91	61,87	10,94	75,45
Nanotubos de carbono 5%-7	13,32	3,83	11,14	49,55	7,17	49,45
Nanotubos de carbono 10%-1	13,32	4,05	22,99	102,26	13,24	91,27
Nanotubos de carbono 10%-2	12,96	4,21	22,12	98,39	12,11	83,53
Nanotubos de carbono 10%-3	13,05	4,28	24,84	110,49	13,07	90,13
Nanotubos de carbono 10%-4	13,24	4,11	21,92	97,50	12,33	85,01
Nanotubos de carbono 10%-5	13,43	3,69	20,44	90,92	14,06	96,96
Nanotubos de carbono 10%-6	12,85	3,92	23,61	105,02	15,04	103,72
Nanotubos de carbono 10%-7	12,69	4,37	25,97	115,52	13,48	92,95

En el Anexo se muestran las curvas de esfuerzo vs. porcentaje de deformación para los ensayos de tracción y carga vs. posición para los ensayos de flexión. El porcentaje de deformación que se puede observar en las curvas, corresponde al desplazamiento del cabezal de la máquina universal de ensayos.



 FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



 Víctor Hugo Guerrero, Ph.D.

 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

JEFE DEL LABORATORIO DE

ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS
C I A P



Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
Personas de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas
Telf.: 255 8389. Troncal: 2507 144 ext. 2272. E-mail: lizvenegas4@yahoo.es
Quito- Ecuador

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS O TRABAJO

ORDEN: DC-OT0171-2014

IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S) Y SERVICIO (S)

No. muestra	ID Muestra	Descripción de muestra	Servicio/Analito	Laboratorio
1	DC-MU2969	MUESTRA 1.- MATERIAL COMPUESTO DE FIBRA DE VIDRIO Y RESINA AL 10% DE NANO TUBO DE CARBONO	Dureza Shore bajo Norma ASTM D 2240	CIAP
2	DC-MU2970	MUESTRA 2.- COMPUESTO DE FIBRA DE VIDRIO Y RESINA AL 5% DE NANO TUBO DE CARBONO	Dureza Shore bajo Norma ASTM D 2240	CIAP
3	DC-MU2971	MUESTRA 3.- COMPUESTO DE FIBRA DE VIDRIO Y RESINA POLIESTER	Dureza Shore bajo Norma ASTM D 2240	CIAP

1.- Dureza Shore D bajo norma ASTM D2240

Metodología:

- ✓ Se procedió de acuerdo con la norma ASTM D2240.

Equipos:

- ✓ Medidor de Dureza Shore D

Resultados:

Muestra	Dureza Shore D	Desviación estándar
MUESTRA 1.- MATERIAL COMPUESTO DE FIBRA DE VIDRIO Y RESINA AL 10% DE NANO TUBO DE CARBONO	66,80	1,10
MUESTRA 2.- COMPUESTO DE FIBRA DE VIDRIO Y RESINA AL 5% DE NANO TUBO DE CARBONO	70,90	1,45
MUESTRA 3.- COMPUESTO DE FIBRA DE VIDRIO Y RESINA POLIESTER	66,60	1,90

ANEXOS DE DATOS TÉCNICOS

Hoja técnica Resina de poliéster



La resina de poliéster presto es una resina elástica insaturada con alta reactividad, que se puede usar prácticamente sobre todo tipo de superficies, especialmente con telas y guatas de fibra de vidrio para reparar orificios grandes, lugares oxidados o daños en general. Aplicable sobre metal, madera y hormigón, en el sector del automóvil, hogar, jardín, construcción de moldes y modelismo, por ejemplo para usarlo en conductos que tienen fugas, tuberías, calderas, embarcaciones etc.

En el caso que haya que pintar posteriormente la superficie recomendamos el uso de presto Masilla de relleno o presto Masilla fina.

Calidad y propiedades

- Fácil aplicación
- Alta elasticidad
- Buena adherencia
- Fácil lijado, incluso después de mucho tiempo
- Resistente a ácidos y lejías débiles, propelentes, disolventes, agua y sales.

Datos físicos y químicos

- **Base:** resina de poliéster insaturada, elasticada
- **Color:** color miel
- **Olor:** a estirolo
- **Forma:** suave, tixotrópico
- **Tiempo estado líquido/tiempo de aplicación con 20°C:** aprox. 10 Min.
- **Temperatura de aplicación:** a partir de 12°C
- **Secado: (con 20°C, 50% humedad relativa del aire):** Lijable después de aprox. 30 Min.
- **Punto de inflamación:** aprox. 33°C (resina); no aplicable para el endurecedor
- **Densidad con 20°C:**
Resina 1,2 g/cm³
Endurecedor 1,15 g/cm³
- **Adición endurecedor:** 2 - 4 % (mezcla óptima 2,5 %)
- **Resistencia a temperaturas del material endurecido:** 120°C
- **Caducidad/almacenaje:**
24 meses con almacenaje correcto (=10°-25°C, humedad relativa del aire de max 60%) en envase original cerrado. Proteger de los rayos solares directos, de las heladas y de la humedad.
- **Formato:**
Resina: envase de boca estrecho
Endurecedor: tubo de plástico

Medioambiente y clasificación

Medioambiente: Los productos de MOTIP DUPLI están al 100 % libres de metales pesados dañinos para la salud y desde el año 1977 libre de propelentes CFC's. Las tapas y los envases son de materiales reciclables.

Reciclado: Solo debe reciclar el envase totalmente vacío en el contenedor correspondiente, aerosoles con restos deben llevarse al punto limpio. Clasificación: Todos los productos MOTIP DUPLI corresponden al actual estado de la normativa de clasificación según disposición 1999/45/CE.

Normativa de preparación: Todos los aerosoles corresponden al reglamento técnico alemán TRGS 200 y TRG 300 así como a la normativa sobre aerosoles 75/324/EWG en su versión actual

Aplicación

- El lugar a reparar debe estar libre de óxido, limpio, seco, libre de grasa y estar lijado.
- Recortar el material de fibra de vidrio según el tamaño del lugar a reparar, de manera que solape lo suficiente en el borde.
- Sacar la cantidad necesaria de material y mezclarlo con la cantidad correspondiente de endurecedor y seguir el siguiente proceso de trabajo:
- Aplicar a la superficie la resina preparada y colocar después el material de fibra de vidrio recortado.
- Con una brocha empezar apretar uniformemente en el borde y volver a embeber con la resina de poliéster. El material de fibra de vidrio no debe tener burbujas de aire.
- Como última capa se debe colocar la guata de fibra de vidrio que forma así una superficie idónea para los siguientes pasos.
- En el caso que posteriormente haya que pintar la superficie se recomienda seguir con la aplicación con presto plástico Masilla de relleno o presto flex Masilla fina. La superficie pegajosa por la resina de poliéster funciona así como el mejor adherente. También si se desea se puede quitar con un diluyente nitro.
- Limpiar los útiles de trabajo inmediatamente después de su uso, en caso necesario con un diluyente nitro.
- No debe volver a poner el material mezclado en el envase.
- Después de aprox. 20-30 min. se puede taladrar, lijar, serrar y pintar la superficie reparada.

Datos para el pedido

Responsabilidad

Estas informaciones sobre las técnicas de aplicación se realizan según nuestro mejor conocimiento, pero es solo una indicación sin compromiso, y no le exime de realizar sus propias pruebas de los productos suministrados por nosotros sobre si son aptos para los fines deseados. El uso y la aplicación de los productos se realizan fuera de nuestras posibilidades de control y por tanto se encuentran solo bajo responsabilidad del usuario. MOTIP DUPLI no se hace responsable, siempre y cuando no se pueda adjudicar el error a MOTIP DUPLI.

Fecha: 16.09.2010

Con esta version se invalidan todas las versiones anteriores.

Print date: 03.12.2015

MOTIP DUPLI GmbH | Kurt-Vogelsang-Straße 6 | 74855 Haßmersheim | info@dupli-color.de



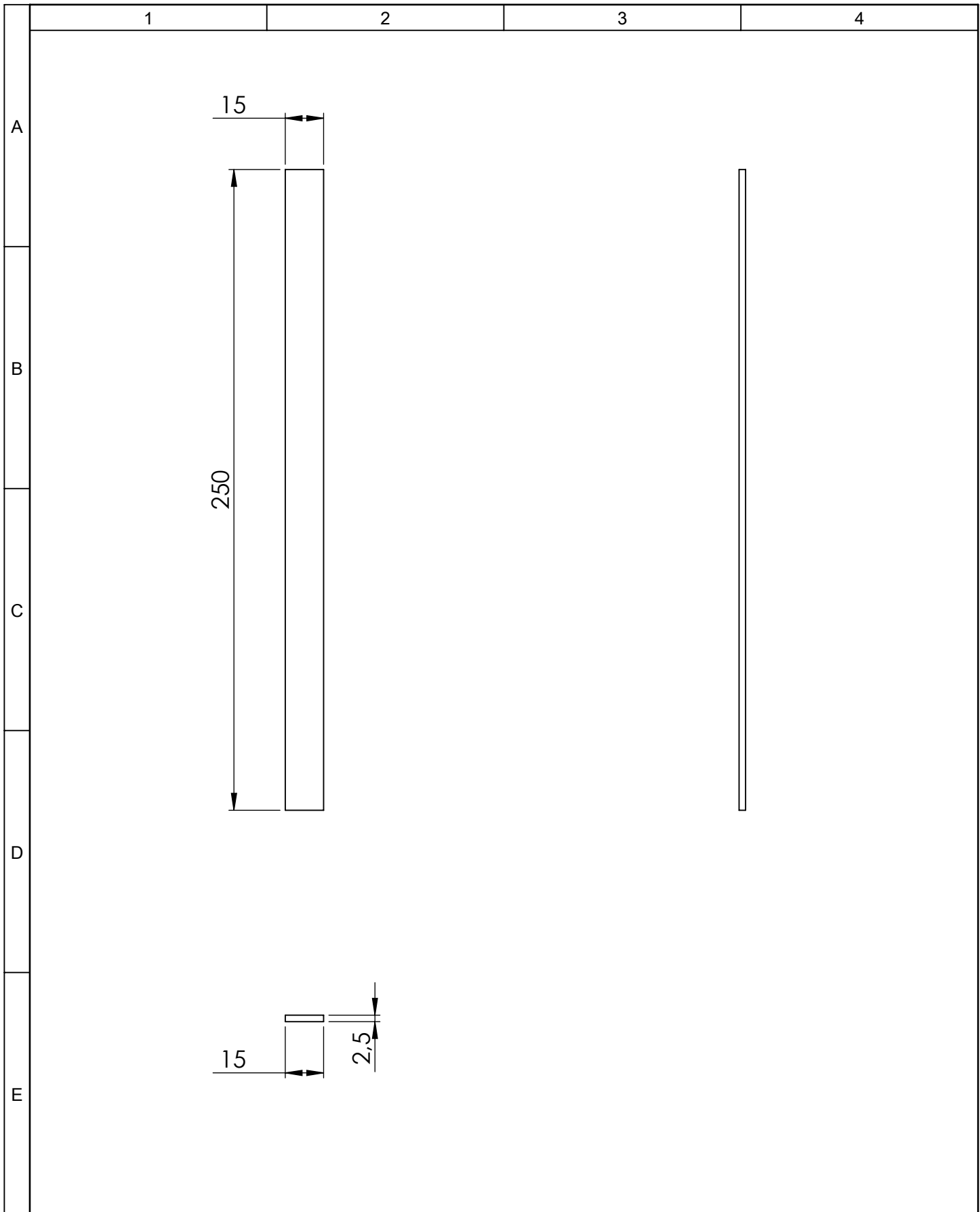
dutranpro[®]
QUÍMICOS e INSUMOS

FIBRA DE VIDRIO 375

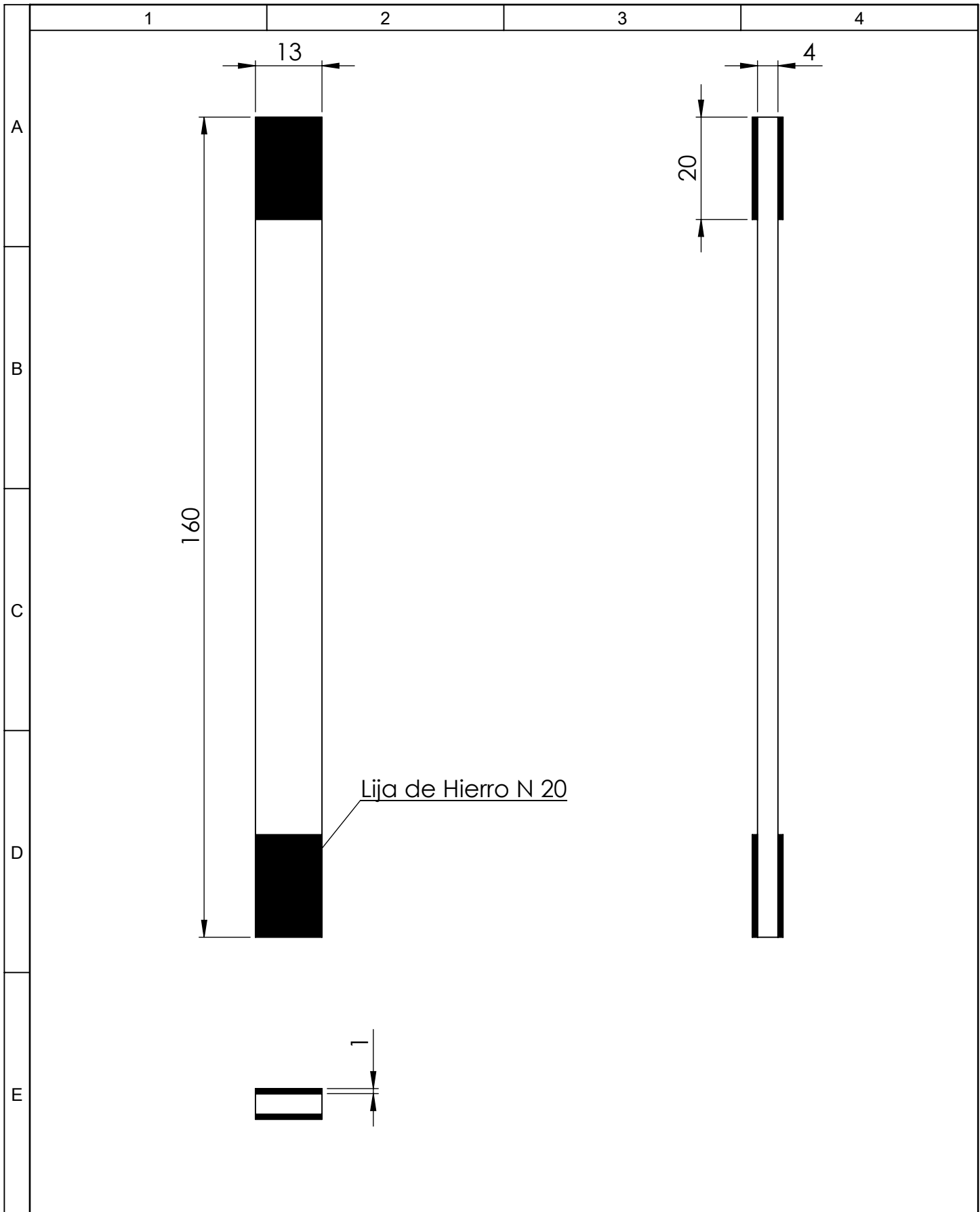
Código: **D375X1.2-1K**
Altura: **1.20 m, 1.50 m**
Peso: **30 kilos aprox**
Espesor: **0.83 mm. Aprox.**
gr./m²: **375 gr.**

Aplicaciones:

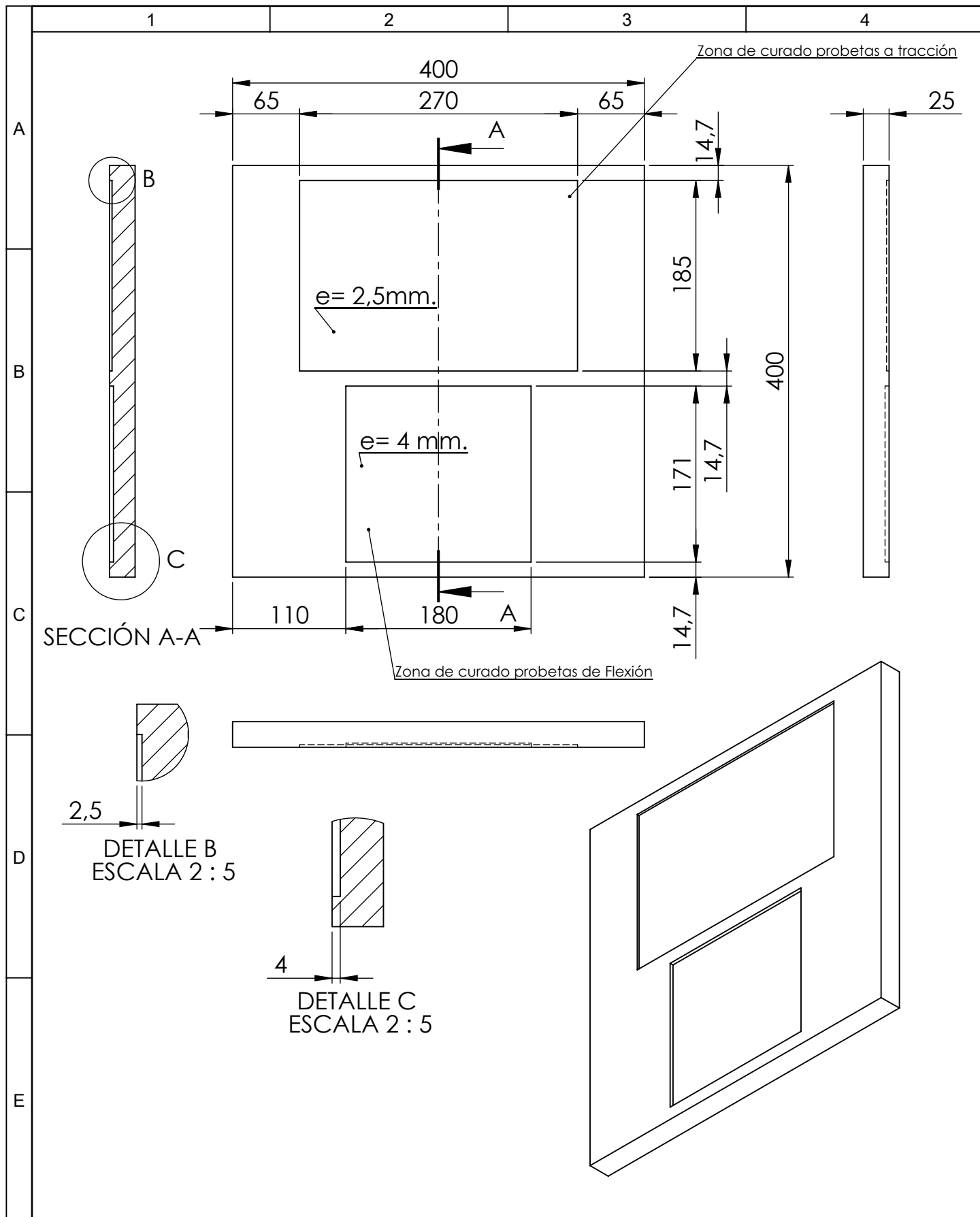
Moldeo manual, Ej. tanques,
carrocerías, auto partes,
artesanías, etc.



				Tolerancia	(Peso)	FIBRA DE VIDRIO, RESINA Materiales: POLIESTER CON NANOTUBOS DE CARBONO (FV+RP+NTC)	
				±0,1	18,1 g		
				Fecha	Nombre	Denominación: PROBETA PARA ENSAYOS A TRACCION SEGUN ASTM D 3039	Escala: 1:1
			Dib.	25/06/18	SALAZAR B.		
			Rev.	25/06/18	Ing. Paredes J.		
				Apro.	25/06/18	Ing. Paredes J.	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 01 de 3	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: FIBRA DE VIDRIO, RESINA POLIESTER CON NANOTUBOS DE CARBONO (FV+RP+NTC)	
				±0,1	10,1 g		
				Fecha	Nombre	Denominación: PROBETA PARA ENSAYOS DE FLEXION SEGUN ASTM D 7264	Escala: 1:1
			Dib.	25/06/18	SALAZAR B.		
			Rev.	25/06/18	Ing. Paredes J.		
				Apro.	25/06/18	Ing. Paredes J.	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 02 de 3	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	10000 g	NYLON	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dib. 25/06/18	SALAZAR B.	PASTELON GENERAL	1:1
				Rev. 25/06/18	Ing. Paredes J		
				Apro. 25/06/18	Ing. Paredes J		
				UTA		Número del dibujo:	
				Ing. Mecánica		3 de 3	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	