



**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:**

---

“OPTIMIZACIÓN (DOE-MEZCLAS) DEL MATERIAL HÍBRIDO CON  
REFUERZOS DE FIBRA DE ABACÁ, FIBRA DE CABUYA Y FIBRA DE  
VIDRIO DE MATRIZ DE RESINA POLIÉSTER Y SU INCIDENCIA SOBRE LAS  
PROPIEDADES MECÁNICAS A FLEXIÓN, TRACCIÓN E IMPACTO”

---

**Autor:** William Patricio Chiluita Toapanta

**Tutor:** Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

**Ambato – Ecuador**

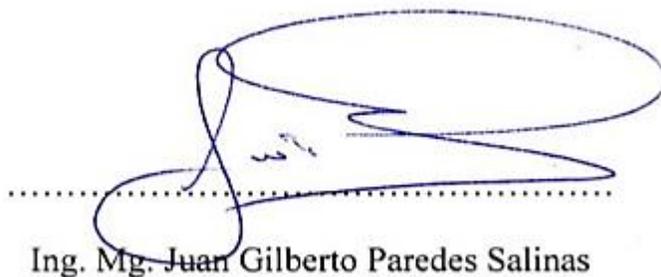
**2020**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

Yo, Ing. Mg. Juan Paredes, certifico que el presente Trabajo Experimental bajo el tema: **“OPTIMIZACIÓN (DOE-MEZCLAS) DEL MATERIAL HÍBRIDO CON REFUERZOS DE FIBRA DE ABACÁ, FIBRA DE CABUYA Y FIBRA DE VIDRIO DE MATRIZ DE RESINA POLIÉSTER Y SU INCIDENCIA SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A FLEXIÓN, TRACCIÓN E IMPACTO”**, realizado por el Sr. William Patricio Chiluzza Toapanta, Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédito.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, agosto del 2020



Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

**TUTOR DE TESIS**

## AUTORÍA

Yo, William Patricio Chiluzza Toapanta con C.I: 1805009063, Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el Trabajo Experimental con el tema: **“OPTIMIZACIÓN (DOE-MEZCLAS) DEL MATERIAL HÍBRIDO CON REFUERZOS DE FIBRA DE ABACÁ, FIBRA DE CABUYA Y FIBRA DE VIDRIO DE MATRIZ DE RESINA POLIÉSTER Y SU INCIDENCIA SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A FLEXIÓN, TRACCIÓN E IMPACTO”**, es de mi completa autoría, a excepción de las citas, cuadros y gráficos de origen bibliográfico.

Ambato, agosto del 2020



Chiluzza Toapanta William Patricio

**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación bajo la modalidad de Trabajo Experimental parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

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

Ambato, agosto del 2020



Chiluzza Toapanta William Patricio

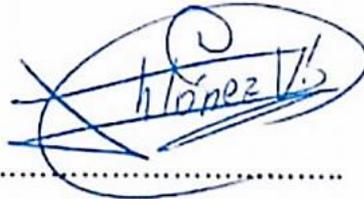
**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

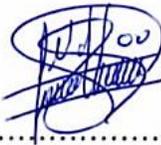
Los miembros del tribunal calificador de grado después de haber revisado, aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“OPTIMIZACIÓN (DOE-MEZCLAS) DEL MATERIAL HÍBRIDO CON REFUERZOS DE FIBRA DE ABACÁ, FIBRA DE CABUYA Y FIBRA DE VIDRIO DE MATRIZ DE RESINA POLIÉSTER Y SU INCIDENCIA SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A FLEXIÓN, TRACCIÓN E IMPACTO”**, de egresado William Patricio Chiluiza Toapanta, de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, el mismo que cumple con las disposiciones reglamentarias emitidas por el centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, agosto del 2020

Para constancia firma:



Ing. López Lozada Jorge Enrique



Ing. Vaca Ortega Wilson Henry

## **DEDICATORIA**

*Dedico esta meta más cumplida a Dios por haberme guiado en el transcurso de la carrera universitaria.*

*A mi Madre Norma Marina Chiluiza que siempre me ha apoyado en todo momento, aun en las peores situaciones que ella ha estado jamás me dejo de darme fuerzas y aliento para salir adelante.*

*A mis Abuelitos Julio Cesar Chiluiza y María Manuela Toapanta quienes me aconsejaron que tener una educación vale más que todos los bienes inmuebles en la vida, que el estudio me impulsará a tener mis propias cosas, y que con esfuerzo, dedicación y evitando malos pasos llegaré a tener algo que en verdad valore en mi Vida.*

*A mis Tíos(as) por haberme apoyado moralmente y a mis Amigos(as) por habernos ayudado en todo momento de la carrera.*

*A mi Novia Jessica Magaly que siempre estuvo desde el principio de la carrera universitaria siendo un apoyo de amor, rectitud, respeto, bondad y convivencia con todos.*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco al todo poderoso que es Dios por haberme permitido cumplir una de mis metas en la vida, y que me permita seguir triunfando a lado de el en todos mis logros que llegue a alcanzar.*

*A mi Madre Norma Marina Chiluiza quién me apoyó moralmente y económicamente durante toda la carrera, permitiendo que lo económico no sea un obstáculo para cumplir mi sueño de graduarme, siendo así está la recompensa que le doy a mi madre al obtener mi Título de Ingeniero.*

*También agradezco a Julio Cesar Chiluiza y María Manuela Toapanta que me instruyeron de valores y sobre todo me permitieron que crezca junto a ellos y jamás permitieron que me falta nada.*

*Agradezco a mis Tíos(as) que fueron entes principales de fortaleza y por haberme aconsejado cundo más lo necesite.*

*Agradezco a mi Padre por la motivación de seguir avanzado en mi Vida y aconsejarme que no desista de mis metas propuestas.*

*Agradezco a mis Amigos(as) por compartir momentos de alegría y por poder superar los obstáculos que la carrera nos ha impuesto, sin embargo, no dejamos luchar para llegar a obtener el título que es una meta más de nuestra vida profesional.*

*Agradezco a mi Novia Jessica Magaly que también fue un pilar de inspiración y superación. También por la comprensión que me ha brindado por los ánimos que me ha transmitido y por darme palabras para creer en mí mismo y no desistir de mis metas.*

*Agradezco a mi Tutor Ing. Juan Paredes por haberme guiado en el transcurso de realización de la tesis.*

*Por último, agradezco a la Licenciada de la Biblioteca de la facultad Lcda. Noria Carrillo por su amabilidad y cariño.*

## ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	i
AUTORÍA.....	ii
DERECHOS DE AUTOR .....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
RESUMEN EJECUTIVO .....	xvii
ABSTRAC .....	xviii
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO .....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Antecedentes Investigativos.....	1
1.3 Justificación.....	5
1.4 Fundamentación Teórica.....	6
1.4.1 Diseño de Experimentos DOE con Mezclas .....	6
1.4.2 Material Compuesto .....	9
1.4.2.1 Matriz.....	10
1.4.2.2 Refuerzo.....	12
1.4.2.3 Orientación de las Fibras .....	15
1.4.3 Verificación de supuestos.....	16
1.4.3.1 Prueba de Normalidad .....	16

1.4.3.2 Igualdad de varianza .....	17
1.4.3.3 Independencia de residuos .....	18
1.4.4 Transformación Box-Cox.....	18
1.4.5 Optimización (DOE) Mezclas con FA+FC+FV con matriz de Resina Poliéster	18
1.4.6 Resistencia de Materiales .....	20
1.4.7 Ensayo de Materiales Compuestos.....	21
1.4.7.1 Ensayo de Tracción.....	22
1.4.7.2 Ensayo de Flexión.....	23
1.4.7.3 Ensayo de Impacto .....	24
1.4.7 Propiedades Mecánicas .....	25
1.5 Objetivos .....	26
1.5.1 Objetivo General .....	26
1.5.2 Objetivos Específicos .....	26
CAPITULO II.- METODOLOGÍA .....	28
2.1 Flujograma del procedimiento de trabajo experimental.....	28
2.2 Materiales.....	29
2.2.1 Características de las fibras .....	29
2.2.1.2 Fibra de Abacá.....	29
2.2.1.3 Fibra de Cabuya.....	30
2.2.1.4 Fibra de vidrio.....	31
2.2.2 Características de la matriz Polimérica .....	33
2.2.3 Ensayos.....	34
2.3 Métodos.....	37
2.3.1 Nivel o tipo de investigación.....	37
2.3.2 Plan de recolección de información .....	37

2.3.3 Diseño Experimental para mezclas .....	38
2.3.3.1 Diseño Simplex Reticular (Simplex-Lattice).....	38
2.4 Operacionalización de Variables.....	42
2.4.1 Variable Independiente.....	42
2.4.2 Variable Dependiente .....	43
2.5 Hipótesis.....	44
2.6 Señalamiento de las Variables de la Hipótesis.....	44
2.7 Procedimiento .....	44
2.7.1 Determinación de densidades .....	44
2.7.1.1 Densidad de la Fibra Sintética y Naturales .....	44
2.7.1.2 Densidad de la Matriz Poliéster .....	46
2.7.2 Estratificación de las Probetas.....	46
2.7.2.1 Cálculo de fracción Volumétrica .....	47
2.7.2.2 Determinación de la densidad teórica del compuesto.....	47
2.7.2.3 Tratamientos para (DOE - Mezclas).....	48
2.7.2.4 Determinación de volumen de las Probetas .....	49
2.7.2.5 Cálculo de masa (Fibra de Vidrio, Abacá y Cabuya) .....	52
2.7.2.6 Elaboración de las probetas .....	55
<b>CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>60</b>
3.1 Análisis y discusión de Resultados .....	60
3.1.1 Resultados de los ensayos de Tracción .....	60
3.1.2 Resultados de los ensayos de Flexión .....	80
3.1.3 Resultados de los ensayos de Impacto.....	100
3.1.4 Resumen de los Ensayos de Tracción, Flexión e Impacto .....	103
3.2 Comprobación de Supuestos .....	106

3.2.1 Verificación de Supuestos de los datos de Esfuerzo de Tracción .....	107
3.2.1.1 Prueba de Normalidad.....	107
3.2.1.2 Prueba de Igualdad de Varianza.....	108
3.2.1.3 Independencia de Residuos .....	109
3.2.2 Transformación y Verificación de Supuestos de los datos de Esfuerzo de Tracción .....	109
3.2.2.1 Transformación de los datos .....	109
3.2.2.2 Prueba de Normalidad (Datos Transformados).....	110
3.2.2.1 Igualdad de Varianza (Datos Transformados) .....	111
3.2.2.1 Independencia de Residuos (Datos Transformados).....	112
3.2.3 Verificación de Supuestos de los datos del Módulo de Elasticidad (Tracción).....	112
3.2.3.1 Prueba de Normalidad.....	112
3.2.3.2 Prueba de Igualdad de Varianza.....	113
3.2.3.3 Independencia de Residuos .....	114
3.2.4 Transformación y Verificación de Supuestos del Módulo de Elasticidad de Tracción.....	115
3.2.4.1 Transformación de los datos .....	115
3.2.4.2 Prueba de Normalidad (Datos Transformados).....	116
3.2.4.3 Igualdad de Varianza (Datos Transformados) .....	117
3.2.4.4 Independencia de Residuos (Datos Transformados).....	118
3.2.5 Verificación de Supuestos de los datos del Esfuerzo de Flexión .....	118
3.2.5.1 Prueba de Normalidad.....	118
3.2.5.2 Prueba de Igualdad de Varianza.....	119
3.2.5.3 Independencia de Residuos .....	120

3.2.6	Transformación y Verificación de Supuestos del Esfuerzo de Flexión.....	121
3.2.6.1	Transformación de los datos .....	121
3.2.6.2	Prueba de Normalidad (Datos Transformados).....	122
3.2.6.3	Igualdad de Varianza (Datos Transformados) .....	123
3.2.6.4	Independencia de Residuos (Datos Transformados).....	124
3.2.7	Verificación de Supuestos de los datos del Módulo de Flexión.....	124
3.2.7.1	Prueba de Normalidad.....	124
3.2.7.2	Prueba de Igualdad de Varianza.....	125
3.2.7.3	Independencia de Residuos .....	126
3.2.8	Transformación y Verificación de Supuestos del Módulo de Flexión .....	127
3.2.8.1	Transformación de los datos .....	127
3.2.8.2	Prueba de Normalidad (Datos Transformados).....	128
3.2.8.3	Igualdad de Varianza (Datos Transformados) .....	129
3.2.8.4	Independencia de Residuos (Datos Transformados).....	130
3.2.9	Verificación de Supuestos de los datos de la deflexión.....	130
3.2.9.1	Prueba de Normalidad.....	130
3.2.9.2	Prueba de Igualdad de Varianza.....	131
3.2.9.3	Independencia de Residuos .....	132
3.2.9.4	Transformación y Verificación de Supuestos de la deflexión. ....	133
3.2.10	Verificación de Supuestos de la Energía Media de Fallo .....	133
3.2.10.1	Prueba de Normalidad .....	133
3.2.10.2	Prueba de Igualdad de Varianza .....	134
3.2.10.3	Independencia de Residuos .....	135
3.3	Optimización de los Resultados (DOE- Mezclas) .....	136
3.3.1	Resultados para la optimización.....	136

3.3.2 Análisis del Modelo Estadístico .....	137
3.3.2.1 Regresión para mezclas: Esf. T vs. FV; FA; FC.....	137
3.3.2.2 Regresión para mezclas: E.T vs. FV; FA; FC.....	138
3.3.2.3 Regresión para mezclas: Esf. F vs. FV; FA; FC .....	139
3.3.2.4 Regresión para mezclas: E. F vs. FV; FA; FC.....	139
3.3.2.5 Regresión para mezclas: Deflexión vs. FV; FA; FC .....	140
3.3.2.6 Regresión para mezclas: EMF (J) vs. FV; FA; FC .....	141
3.3.3 Optimización de Respuestas.....	141
3.4 Verificación de Hipótesis .....	146
CAPÍTULO 4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	152
4.1 Conclusiones .....	152
4.2 Recomendaciones .....	153
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	154
ANEXOS .....	158

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Fundamentación teóricas .....	6
Figura 1. 2 Mapa conceptual del diseño de Experimentos con Mezclas.....	8
Figura 1. 3 Componentes de los materiales compuestos.....	10
Figura 1. 4 Clasificación del material compuesto en función de las fibras.....	12
Figura 1. 5 Refuerzo de partículas en un material polimérico .....	13
Figura 1. 6 Refuerzo con fibras .....	14
Figura 1. 7 Compuesto formado por laminas.....	15
Figura 1. 8 Material compuesto tipo Sándwich de Aluminio .....	15
Figura 1. 9 Orientación de las fibras vs la resistencia.....	16
Figura 1. 10 Datos independientes.....	18
Figura 1. 11 Diseño simplex reticular de la FA+FC+FV.....	19
Figura 1. 12 Diseño para las probetas .....	22
Figura 1. 13 Cargas para el apartado A.....	24
Figura 1. 14 Dimensiones de la muestra .....	24
Figura 1. 15 Cargas para el apartado B.....	24
Figura 2. 1 a) Fibra y b) Planta de abacá. ....	29
Figura 2. 2 La resina de poliéster insaturado se fabrica condensando 1,2 .....	33
Figura 2. 3 Diseño de Experimentos con Mezclas .....	39
Figura 2. 4 Conformación del Material Híbrido .....	47
Figura 2. 5 Diseño de la probeta a tracción (Dimensiones en mm) .....	49
Figura 2. 6 Diseño de la probeta a flexión (Dimensiones en mm).....	49
Figura 2. 7 Diseño de la probeta a Impacto (Dimensiones en mm) .....	50
Figura 2. 8 Diseño del molde (Dimensiones en mm).....	50
Figura 2. 9 Diseño de la probeta a tracción (Dimensiones en mm) .....	51
Figura 3. 1 Resumen de datos del Esfuerzo de Tracción .....	104
Figura 3. 2 Resumen de datos del Módulo de Tracción.....	104
Figura 3. 3 Resumen de datos del Esfuerzo de Flexión .....	104
Figura 3. 4 Resumen de datos del Módulo de Elasticidad de Flexión .....	105
Figura 3. 5 Resumen de datos de la Deflexión .....	105
Figura 3. 6 Resumen de datos de la EMF .....	105

Figura 3. 7 Diagrama de flujo del proceso del método Simplex Reticular .....	106
Figura 3. 8 Prueba de Independencia de Residuos Esf. T .....	109
Figura 3. 9 Prueba de Independencia de Residuos Esf. T (Datos Transformados).....	112
Figura 3. 10 Prueba de Independencia de Residuos E.T .....	115
Figura 3. 11 Prueba de Independencia de Residuos E.T (Datos Transformados).....	118
Figura 3. 12 Prueba de Independencia de Residuos Esf. F .....	121
Figura 3. 13 Prueba de Independencia de Residuos Esf. F (Datos Transformados).....	124
Figura 3. 14 Prueba de Independencia de Residuos E. F .....	127
Figura 3. 15 Prueba de Independencia de Residuos E. F (Datos Transformados).....	130
Figura 3. 16 Prueba de Independencia de Residuos Deflexión.....	133
Figura 3. 17 Predichos vs Residuos de la EMF .....	135
Figura 3. 18 Prueba de Independencia de Residuos EMF .....	135
Figura 3. 19 Optimización (DOE-Mezclas) del Material Híbrido .....	143
Figura 3. 20 Mezcla del Esf. de Tracción .....	144
Figura 3. 21 Mezcla del Módulo de Elasticidad de Tracción .....	144
Figura 3. 22 Mezcla del Esfuerzo de Flexión .....	144
Figura 3. 23 Mezcla del Módulo de Elasticidad de Flexión .....	145
Figura 3. 24 Superficie de la Deflexión .....	145
Figura 3. 25 Superficie de la EMF.....	145

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Configuraciones del refuerzo del material compuesto híbrido .....	9
Tabla 1. 2 Composición Química del Fibras.....	20
Tabla 1. 3 Composición Química en relación a las propiedades mecánicas.....	21
Tabla 1. 4 Recomendaciones Geométricas .....	23
Tabla 1. 5 Dimensiones de las Probetas.....	25
Tabla 2. 1 Propiedades mecánicas de la fibra de Abacá .....	30
Tabla 2. 2 Propiedades mecánicas de la fibra de Cabuya .....	31
Tabla 2. 3 Características de la Cabuya .....	31
Tabla 2. 4 Propiedades mecánicas de la fibra de Vidrio .....	32
Tabla 2. 5 Propiedades físicas de la Resina Poliéster .....	34
Tabla 2. 6 Materiales empleados para la fabricación de la probetas.....	35

Tabla 2. 7 Plan de Recolección de Datos.....	37
Tabla 2. 8 Variable Independiente .....	43
Tabla 2. 9 Variable dependiente. ....	43
Tabla 2. 10 Densidad de la fibra de abacá .....	45
Tabla 2. 11 Densidad de la fibra de cabuya .....	45
Tabla 2. 12 Densidad de la fibra de Vidrio .....	45
Tabla 2. 13 Densidad de la Resina Poliéster. ....	46
Tabla 2. 14 Densidad de los materiales.....	46
Tabla 2. 15 Tratamientos DOE Mezclas .....	48
Tabla 2. 16 Tratamientos DOE - Mezclas.....	49
Tabla 2. 17 Masa de los Tratamientos a Tracción, Flexión e Impacto .....	53
Tabla 2. 18 Valores totales de los materiales.....	55
Tabla 3. 1 Verificación de normalidad del Esfuerzo de Tracción.....	107
Tabla 3. 2 Verificación de normalidad del Esfuerzo de Tracción.....	108
Tabla 3. 3 Transformación Box-Cox .....	109
Tabla 3. 4 Datos Transformados de BOX-COX .....	110
Tabla 3. 5 Verificación de normalidad del Esfuerzo de Tracción.....	110
Tabla 3. 6 Verificación de normalidad del Esfuerzo de Tracción.....	111
Tabla 3. 7 Verificación de normalidad del Módulo de Tracción .....	113
Tabla 3. 8 Verificación de Igualdad de Varianza del Módulo de Tracción .....	114
Tabla 3. 9 Transformación Box-Cox .....	115
Tabla 3. 10 Datos Transformados de BOX-COX del E (MPa) Tracción .....	115
Tabla 3. 11 Verificación de normalidad del Módulo de Elasticidad.....	116
Tabla 3. 12 Verificación de Igualdad de Varianza del Módulo de Elasticidad.....	117
Tabla 3. 13 Verificación de normalidad del Esfuerzo de Flexión.....	118
Tabla 3. 14 Verificación de Igualdad de Varianza del Esfuerzo de Flexión.....	119
Tabla 3. 15 Transformación Box-Cox .....	121
Tabla 3. 16 Datos Transformados de BOX-COX del Esfuerzo de Flexión .....	121
Tabla 3. 17 Verificación de normalidad del Esfuerzo de Flexión.....	122
Tabla 3. 18 Verificación de Igualdad de Varianza del Esfuerzo de Flexión.....	123
Tabla 3. 19 Verificación de normalidad del Módulo de Flexión .....	124
Tabla 3. 20 Verificación de Igualdad de Varianza del Módulo de Flexión .....	125

Tabla 3. 21 Datos Transformados BOX-COX.....	127
Tabla 3. 22 Datos Transformados de BOX-COX del Módulo de Flexión.....	127
Tabla 3. 23 Verificación de normalidad del Módulo de Flexión .....	128
Tabla 3. 24 Verificación de Igualdad de Varianza del Esfuerzo de Flexión.....	129
Tabla 3. 25 Verificación de normalidad de la deflexión.....	130
Tabla 3. 26 Verificación de Igualdad de Varianza de la Deflexión .....	131
Tabla 3. 27 Verificación de normalidad de la EMF.....	133
Tabla 3. 28 Resultados para la optimización. ....	136
Tabla 3. 29 Coeficientes de regresión estimados para Esf. T .....	137
Tabla 3. 30 Coeficientes de Determinación .....	138
Tabla 3. 31 Coeficientes de regresión estimados para E T .....	138
Tabla 3. 32 Coeficientes de Determinación .....	138
Tabla 3. 33 Coeficientes de regresión estimados para Esf. F.....	139
Tabla 3. 34 Coeficientes de Determinación .....	139
Tabla 3. 35 Coeficientes de regresión estimados para E. F .....	139
Tabla 3. 36 Coeficientes de Determinación .....	140
Tabla 3. 37 Coeficientes de regresión estimados para Deflexión .....	140
Tabla 3. 38 Coeficientes de Determinación .....	140
Tabla 3. 39 Coeficientes de regresión estimados para EMF (J).....	141
Tabla 3. 40 Coeficientes de Determinación .....	141
Tabla 3. 41 Parámetros de Optimización .....	141
Tabla 3. 42 Solución global .....	142
Tabla 3. 43 Respuestas de la optimización .....	142
Tabla 3. 44 Respuestas de la optimización .....	143
Tabla 3. 45 Ecuaciones .....	144
Tabla 3. 46 Análisis de varianza para Esf. T .....	146
Tabla 3. 47 Análisis de varianza para E. T .....	147
Tabla 3. 48 Análisis de varianza para Esf. F.....	148
Tabla 3. 49 Análisis de varianza para E. F.....	148
Tabla 3. 50 Análisis de varianza para Deflexión .....	149
Tabla 3. 51 Análisis de varianza para EMF (J).....	150

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

“OPTIMIZACIÓN (DOE-MEZCLAS) DEL MATERIAL HÍBRIDO CON REFUERZOS DE FIBRA DE ABACÁ, FIBRA DE CABUYA Y FIBRA DE VIDRIO DE MATRIZ DE RESINA POLIÉSTER Y SU INCIDENCIA SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A FLEXIÓN, TRACCIÓN E IMPACTO”.

**AUTOR:** William Patricio Chiluiza Toapanta

**TUTOR:** Ing. Juan Paredes Mg.

**RESUMEN EJECUTIVO**

Se planteó desarrollar esta investigación con el fin de evitar el desconocimiento en el Diseño de Experimentos con Mezclas, esto fue aplicado a la Ingeniería Mecánica en el campo de los Materiales Compuestos para poder optimizar y determinar mejores características del material.

El método que se aplicó fue el Diseño de Experimentos con Mezclas (DOE) a un compuesto de Fibra de Vidrio, Abacá y Cabuya con matriz de resina Poliéster aplicando el diseño Simplex Reticular para determinar la mezcla óptima.

Se determinó un total de diez tratamientos, y cada uno forma el 100 por ciento del compuesto, de los cuales se elaboraron 150 ejemplares para ensayarlos a Tracción, Flexión e Impacto aplicando las normas ASTM 3039, ASTM 7264 y la ASTM 5628 respectivamente.

Los resultados se analizaron para cumplir los supuestos de Normalidad, Igualdad de Varianza e Independencia de Residuos, caso contrario, los datos fueron transformados realizando un ajuste BOX-COX. Los datos previamente analizados se pasan a Minitab para optimizar y determinar la mejor fracción volumétrica, encontrando un porcentaje del 20.07 para la fibra de Vidrio, mientras que las fibras naturales tiene un porcentaje de 4.85 por ciento para la fibra de Abacá y Cabuya del 5.08 por ciento, además, con la constante del 70 por ciento de Resina Poliéster se completa el 100 por ciento de la mezcla del material compuesto. Con esta combinación se obtiene mejores propiedades mecánicas a Tracción, Flexión e Impacto.

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

“OPTIMIZATION (DOE-MIXTURES) OF THE HYBRID MATERIAL WITH GLASS, ABACA AND CABUYA FIBER REINFORCEMENTS AND POLYESTER RESIN MATRIX AND ITS INCIDENCE ON MECHANICAL FLEXION, TRACTION AND IMPACT PROPERTIES”

**AUTHOR:** William Patricio Chiluiza Toapanta

**TUTOR:** ING. Juan Paredes Mg.

**ABSTRAC**

It posed develop this investigation with the purpose of avoid ignorance in the design of Experiments with mixtures, this is applied to the Mechanical Engineering in the field of composite materials to be able optimize and determinate the best characteristics of the material.

The method applied is the design of experiments with mixtures (DOE) the compound of fiberglass, Abaca and Cabuya with the matrix resin polyester applied for the simplex-lattice design to determine the optimum mix.

It determined a total of ten treatments, and each one forms the one hundred percent of the compound is formed, of which were made 150 specimens to tensile, flexion and impact test with the application of the standards of the ASTM 3039, ASTM 7264 and ASTM 5628 respectively.

The results were analyzed to comply the assumptions of normality, equality of variance and waste independence otherwise the data were transformed to adjust the data to Box-Cox. The previously analyzed data is passed to Minitab to optimize and determine the best volumetric fraction, finding a percentage of 20.07 for fiberglass, while natural fibers have a percentage of 4.85 percent for Abaca and Cabuya fiber of 5.08 percent. In addition, with the 70 percent Polyester Resin as constant this completes 100 percent of the material composite mix. With this combination it gets better mechanical properties to Traction, Flexion and Impact.

## **CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Tema**

Optimización (DOE-MEZCLAS) del material híbrido con refuerzos de fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio de matriz de resina poliéster y su incidencia sobre las propiedades mecánicas a flexión, tracción e impacto.

### **1.2 Antecedentes Investigativos**

En el presente trabajo experimental se consideraron cuatro artículos técnicos y dos tesis, para lo cual, se describen las características más importantes de manera rápida y concisa a continuación:

En el trabajo investigativo realizado en la Universidad Politécnica del Bicentenario por J. Cruz-Salgado, S. Alonso-Romero, A. Estrada-Monje y R. Zitzumbo Guzman; bajo el título “OPTIMIZACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN COMPUESTO DE PET/MADERA MEDIANTE DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA MEZCLAS”, en la cual describe la formulación óptima de un compuesto de PET-MADERA conformado por: polietilén tereftalato (PET) como matriz polimérica, madera en polvo como relleno y un agente de acoplamiento E-GMA. La formulación se desarrolla en función de tres variables de respuesta: resistencia a la flexión, tensión y compresión. Se ajustaron tres modelos matemáticos con los cuales se describe la relación existente entre los porcentajes de los componentes del compuesto y sus propiedades mecánicas. El diseño consta de tres corridas de puntos del modelo, 5 para estimar la falta de ajuste y 5 réplicas, dando un total de 13 corridas experimentales [1].

El segundo antecedente investigativo fue desarrollado en el Área Tecnología Química, Instituto de Procesos Biotecnológicos y Químicos (IPROBYQ-CONICET); bajo el título: “Estrategia para la optimización de un compuesto de caucho con aceite de soja utilizando diseños de experimentos”, en donde se evalúa el compuesto de caucho que puede estar conformado por uno o más elastómeros y diferentes cargas. La estrategia

DOE se ensayó anteriormente al utilizar dos grados de cauchos E-SBR (estireno-butadieno en emulsión), E-SBR 1712 y E-SBR 1721 y un caucho BR (polibutadieno), con la finalidad de encontrar una mezcla de éstos que posea propiedades comparables a las de un neumático de alto rendimiento. En este trabajo se muestra el uso de la estrategia DOE para optimizar el agregado de un aceite extendedor al compuesto. Se utiliza una mezcla de tres tipos de aceites, dos aceites petroquímicos (Pq1 y Pq2) y un aceite vegetal de soja, buscando maximizar la cantidad de este último[2][3].

Las propiedades mecánicas para ensayar con características requeridas para la banda de rodamiento de un neumático: Temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ); relación entre módulo viscoso y módulo elástico ( $\tan\delta@60^\circ\text{C}$ ); Viscosidad Mooney y propiedades de tracción-elongación[2][3].

De toda esta investigación se logró predecir la composición óptima de aceites en el compuesto para alcanzar las propiedades deseadas, (3,17 pHR de aceite Pq1, 5,90 pHR de aceite Pq2 y 7,86 pHR de aceite de soja) [2][3].

Como tercer antecedente investigativo se tiene “Optimización de aditivos químicos para concreto en pruebas de rendimiento de mortero usando experimentos de mezcla (Optimization of chemical admixture for concrete on mortar performance tests using mixture experiments)”, desarrollado por: Ozlem Akalin, Kadri Ulas Akay, Bahar Sennaroglu y Müjgan Tez, en donde se realizó experimentos de mezcla sobre mortero. El mortero consistía en cemento, agua, arena estándar y aditivos químicos [4].

Los componentes de la mezcla se mostraron como A, B, C, D y E. A, B y C eran una solución al 40% de sulfonato de naftalina, una solución al 40% de sulfonato de lignina y una solución al 40% de sulfonato de melamina, respectivamente. D y E fueron agentes retardantes de compuestos químicos. La suma de sus proporciones fue igual al cien por ciento ( $A + B + C + D + E = 100\%$ ). Las restricciones en las proporciones de los componentes de la mezcla según la experiencia pasada fueron las siguientes [4]:

$$0 \leq A \leq 100; 0 \leq B \leq 100; 0 \leq C \leq 100; 0 \leq D \leq 18; 0 \leq E \leq 5$$

Dependiendo de las restricciones y el modelo especificado (el polinomio de Scheffé de segundo grado), se construyó un diseño D-óptimo con 54 ejecuciones. Como resultados se obtuvo en base a los días y a las dosificaciones, sin embargo, la solución más óptima para alcanzar las especificaciones deseadas para el concreto con el costo mínimo de aditivo es un nivel de dosificación de 1.0% y proporciones de componentes  $A = 61.92$ ,  $B = 0.00$ ,  $C = 32.44$ ,  $D = 2.20$ , y  $E = 3.44$  [4].

De acuerdo con el antecedente cuatro tenemos el trabajo investigativo desarrollado en el Department of Food Science and Technology in The University of Georgia; bajo el título “Formulación y optimización de las propiedades físicas del poliéster de sacarosa mediante la metodología de superficie de respuesta de la mezcla (Formulation and Optimization of Sucrose Polyester Physical Properties by Mixture Response Surface Methodology)”, en donde las propiedades físicas del poliéster de sacarosa, preparadas a partir de diferentes mezclas compuestas de ésteres metílicos de ácidos grasos (fatty acid methyl esters) (FAME) de aceite de cártamo, aceite de palma y aceite de cacahuete, se evaluaron mediante la metodología de superficie de respuesta de la mezcla. Se determinaron combinaciones óptimas de ácidos grasos para lograr propiedades físicas específicas de SPE. La SPE más similar en propiedades físicas al aceite de cacahuete se obtuvo con una relación molar de 55:45 de FAME mixta de aceite de cártamo y aceite de cacahuete [5].

Como quinto antecedente se tiene el trabajo experimental previo a la obtención de Ingeniero Mecánico presentado por Juan Esteban Torres Enk en la Universidad Eafit Departamento de Ingeniería Mecánica; bajo el título: “CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS MEDIANTE EL MÉTODO DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS”, en donde utilizando el diseño de experimentos en materiales compuestos y con ayuda del Software , se escribió un programa para determinar el módulo de Elasticidad en las dos direcciones,  $E_1$  y  $E_2$ , para los diferentes valores de fracción volumétrica de fibras ( $V_f$ ) [6].

Se ha determinado que cuando el porcentaje de catalizador está en 1.0, 2.0 y 3.0%, el mayor valor de E2 tiende a ser cuando  $V_f$  es máximo y la Presión de inyección es máxima[6].

Por lo tanto, se puede decir que, para la dirección transversal a las fibras, el Módulo de Elasticidad de las fibras es mayor que el de la resina, independientemente de los valores de Presión de inyección y de Porcentaje de Catalizador [6].

Mediante la investigación realizada, se encuentra el sexto antecedente realizado en la Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales; bajo el título: “METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIOLEFÍNICA REFORZADOS CON FIBRAS DISCONTINUAS PARA APLICACIONES EN TRANSPORTE”, en donde analizando los pliegos de condiciones de los productos tipo fabricados en el sector del transporte con los materiales compuestos objeto de estudio, se han elegido las siguientes propiedades mecánicas como representativas tanto de los requerimientos de rigidez y resistencia última como de las solicitaciones ante impacto[7] [8]:

- ✚ El módulo elástico en tracción a temperatura ambiente (E) [7][8].
- ✚ El módulo elástico en tracción a temperatura ambiente (E80°C) [7] [8].
- ✚ La tensión de rotura en tracción a temperatura ambiente ( $\sigma_{rotura}$ ) [7][8].
- ✚ La temperatura de deflexión bajo carga (HDT) [7] [8].
- ✚ La energía disipada en impacto uniaxial a temperatura ambiente (Izod con entalla) [7] [8].
- ✚ La energía disipada en impacto uniaxial a baja temperatura (Izod-20°C con entalla) [7] [8].
- ✚ La energía disipada en impacto biaxial (Puncture Test) [7] [8].

Basándonos en el estudio bibliográfico realizado y en la experiencia propia, se han elegido como variables de diseño significativas del material compuesto: la longitud (L), el diámetro ( $\emptyset$ ), la concentración (%) y el tipo de fibra (vidrio o basalto), la viscosidad (visc) y el porcentaje de funcionalización de la matriz polimérica (%func),

el tipo de funcionalizante (TF) y el tratamiento de activación de las fibras después del proceso de eliminación del ensimaje original (Act) [7] [8].

### **1.3 Justificación**

En los últimos 50 años, la ciencia se ha enfocado en combinar las propiedades de diferentes tipos de materiales. De esta forma, se pueden obtener materiales compuestos con mejores propiedades o con propiedades útiles para aplicaciones específicas. Por ejemplo, si se combina grava con cemento se puede obtener concreto, el cual es tan fuerte como las rocas, pero puede ser moldeado con facilidad adecuadas de cada material [9].

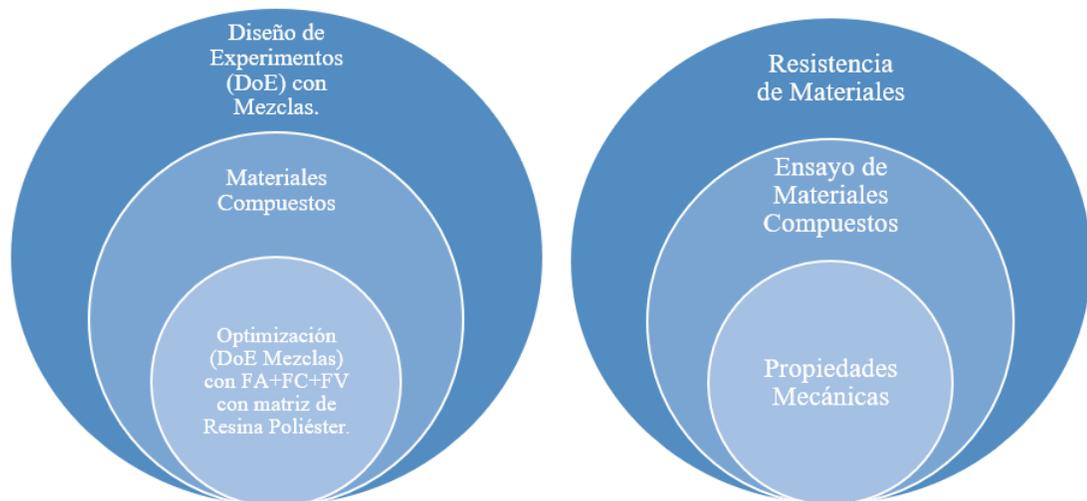
Según datos estadísticos del Banco Central del Ecuador, el sector manufacturero contribuyó con 14,1% al producto interno bruto (PIB) en 2010 y 14,0% hasta el mes de agosto de 2011. Tomando en cuenta que este sector es el que demanda de manera mayoritaria un sin número de materias primas, se puede tener una idea del impacto económico, social y tecnológico que puede generar un uso efectivo de los materiales y las tecnologías que posibilitan su transformación en productos concretos [9].

Debido a la información bibliográfica revisada en Ecuador existe poca información sobre procesos de optimización en el diseño de experimentos con mezclas en el campo de la Ingeniería Mecánica. Cabe recalcar que, en otros países se ha orientado más a las áreas de la industria Alimenticia, Farmacéutica, Construcciones Civiles y el área de Combustibles. Por esta razón, surge la necesidad de enfocarse al estudio de optimización de materiales híbridos en mezclas para mejorar las propiedades mecánicas del mismo.

También, al poner hincapié en este estudio se está dando a conocer que se puede aplicar este proceso al campo de los materiales compuestos. De esta forma, se está llenando un vacío que es necesario ser investigada para que no exista el desconocimiento del tema y se pueda seguir realizando futuros proyectos aplicando el diseño de experimentos con mezclas.

Como se reiteró con anterioridad, es necesario optimizar materiales para obtener mejores propiedades, en este caso el material híbrido (fibra de abacá + fibra de cabuya + fibra de vidrio con resina poliéster) es el protagonista en dicho estudio para dar inicio al tema de investigación. Además, es factible realizarlo ya que se cuenta con los requerimientos que se necesitan para su ejecución, tanto en materiales, personal calificado que tienen conocimiento sobre el tema, así como también la experiencia de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato y los conocimientos bastos adquiridos durante la trayectoria de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

#### 1.4 Fundamentación Teórica



**Figura 1. 1** Fundamentación teóricas

**Fuente:** Autor

##### 1.4.1 Diseño de Experimentos DOE con Mezclas

El diseño de experimentos (DOE) es un procedimiento para planificar y definir las condiciones para realizar ensayos experimentales controlados. Sus huellas más tempranas se remontan a la era del Antiguo Testamento. El primer ejemplo conocido de DOE es anterior al segundo siglo AC en el primer capítulo del Libro de Daniel [10].

En este texto, en 150 DC, Galen discutió la importancia y el efecto del tamaño de la muestra para los estudios médicos. En este trabajo, Galen presentó un debate entre un empirista y un dogmático que discutía la experiencia y la teoría de la investigación médica. Avicena, el eminente investigador y filósofo árabe, formalmente propuso muchos principios para el diseño de las pruebas en el segundo volumen del Canon de Medicina anterior al siglo XI. Estos esfuerzos anteriores derivaron varias teorías y aplicaciones de DOE a mediados del siglo XVII y finales del siglo XVIII [10] .

Históricamente, la literatura del DOE comenzó con enfoques libres de sistemas y evolucionó gradualmente hacia técnicas asistidas por sistemas. Recientemente, las técnicas de adaptación están recibiendo mucha atención de los investigadores en diversas disciplinas. En esta revisión exhaustiva, clasificamos críticamente la literatura del Departamento de Educación según su evolución natural y describimos los desarrollos clave dentro de sus respectivas subclases [10].

De acuerdo a diferentes autores el diseño de experimentos con mezcla se lo conoce también como diseño para mezclas de ingredientes, donde estipula que, algunos diseños de tratamientos tienen dos o más factores que son ingredientes de una mezcla en la que los porcentajes de cada uno debe sumar el 100% de la mezcla [11].

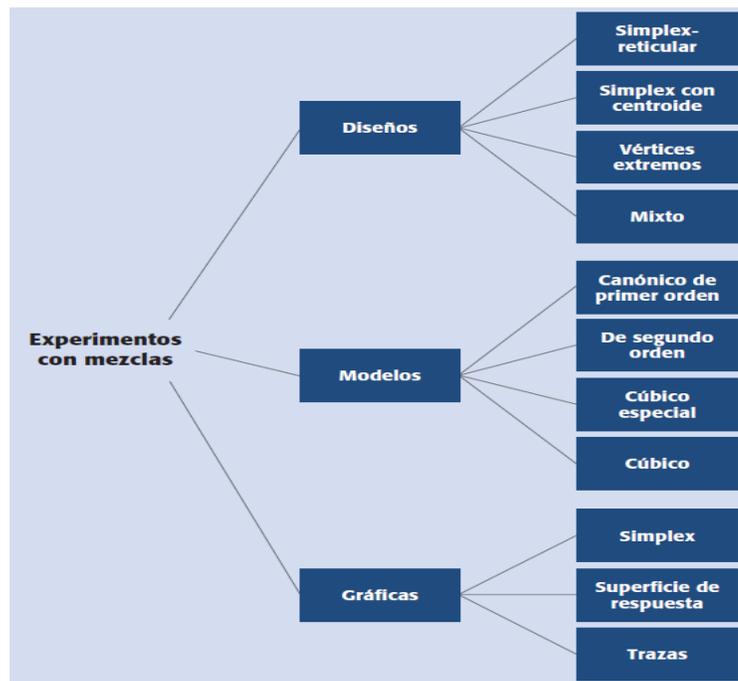
Muchos productos alimenticios, materiales para construcción y otros productos comerciales se forman con mezclas de dos o más ingredientes de una receta [11].

Algunos ejemplos son:

- ✚ Telas con mezcla de fibras de algodón y poliéster [11].
- ✚ Jugos de frutas de naranja, piña y manzana con agua [11].
- ✚ Concreto formado con agua, arena y cemento [11].
- ✚ Fórmulas de fertilizantes con nitrógeno, fósforo y potasio [11].

Los experimentos con mezclas, los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla y, como se verá más adelante, los niveles de dichos ingredientes no son independientes [12].

El diseño de Experimentos se subdivide por Diseños, Modelos y Gráficas y cada una de ellas tiene su propio método por ejemplo Diseños consta con sus modelos estadísticos como es el Simplex Reticular, Simplex con Centroide y Mixto. Para Modelos se tiene Canónico de primer orden, Segundo Orden, cubo Especial y Cúbico, y por último se tiene por gráficas que tiene modelos estadísticos como es el simplex, Superficie de respuesta y Trazas. Cada uno de ellos es aplicado de acuerdo con el problema de mezcla que se quiera resolver.



**Figura 1. 2** Mapa conceptual del diseño de Experimentos con Mezclas [12].

En general, el objetivo del diseño de experimentos con mezclas es cuantificar la influencia que tienen los diferentes componentes sobre la respuesta, tanto en forma individual como en su acción conjunta con otros componentes. Se trata de modelar esta respuesta para predecirla en cualquier formulación posible, y utilizar los modelos con el propósito de encontrar la composición de la mezcla que proporcione mejores resultados (optimizar) [12].

Acorde al mapa conceptual indicado en la figura 1.2 se centrará más al tema de Diseños con sus modelos estadísticos para desarrollar la investigación planteada.

### 1.4.2 Material Compuesto

Un material compuesto es un sistema en el que se combinan dos o más materiales, que se diferencian en función, forma o composición, con el fin de obtener un material con propiedades únicas. En los materiales compuestos destacan una o más propiedades características aportadas por las fases constituyentes, de tal forma que el conjunto resulte con la mejor combinación posible [9].

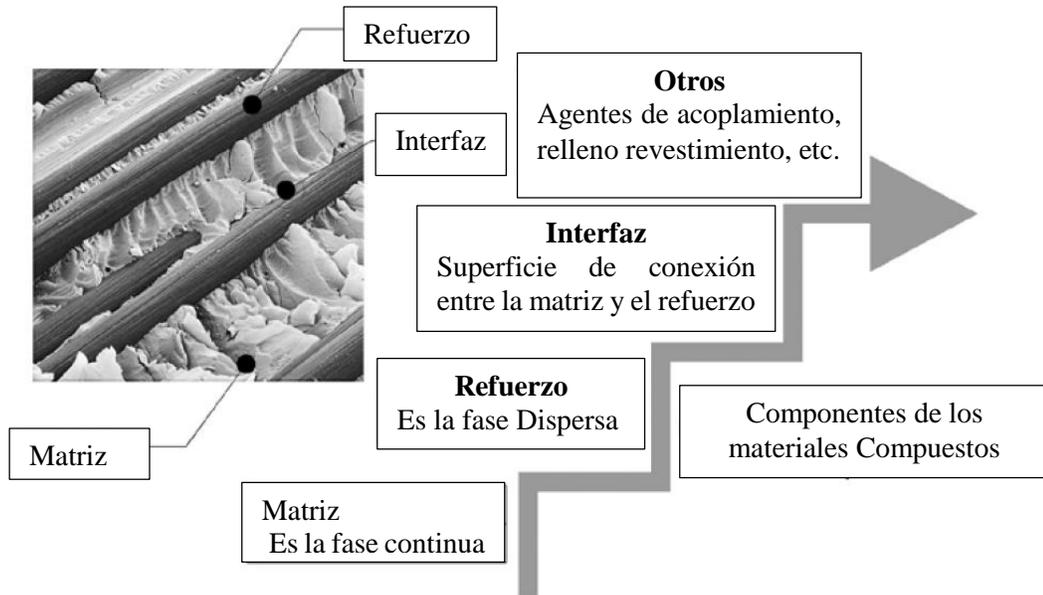
Los materiales compuestos más utilizados son aquellos que están constituidos por dos fases diferentes a nivel atómico o molecular y separables mecánicamente, conocidas como matriz (material aglutinante) y refuerzo. Además, un material compuesto puede contener otros componentes como recubrimientos y rellenos [9].

En la actualidad el desarrollo de los materiales compuestos se basa en la necesidad de obtener materiales con mejores propiedades, como la resistencia mecánica específica, la cual relaciona la densidad con la resistencia, o materiales que combinen gran resistencia y tenacidad. También se buscan materiales que sean amigables con el medio ambiente, por lo que se ha impulsado la investigación de biocompuestos y nanocompuestos. A estos últimos se les denomina así por la reducción de tamaño de sus refuerzos, los mismos que pueden ser nanotubos, nanofibras, nanopartículas y nanoláminas [9].

**Tabla 1. 1** Configuraciones del refuerzo del material compuesto híbrido[13].

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Función</b>
<i>Matriz</i>	Resina Poliéster Insaturada	Define las propiedades físicas y químicas del material.
<i>Refuerzo</i>	Fibra de Vidrio discontinua distribuida en dirección aleatoria.	Provee de las características mecánicas del material como la resistencia y la rigidez
<i>Recubrimiento</i>	Gelcoat	Mejora el acabado en la superficie visible del material terminado

En la figura 1.3 se indica claramente como está formado un compuesto con la matriz y el refuerzo entre otros componentes que son parte del material.



**Figura 1. 3** Componentes de los materiales compuestos [9].

#### 1.4.2.1 Matriz

Se denomina matriz al componente responsable de las propiedades físicas y químicas, además de la transmisión de los esfuerzos a los elementos de refuerzo. En ciertos casos, sirve también de protección contra los agentes ambientales a los que pueda estar sometido el material compuesto [9], [14].

##### a. Matriz Cerámica

Las matrices cerámicas tienen buenas propiedades a temperaturas elevadas y son menos densas en comparación con los compuestos de matriz metálica. Con este tipo de matrices es muy común que también se usen fibras cerámicas como refuerzo. De esta manera se ha logrado obtener mejor resistencia y tenacidad a la fractura en comparación con los materiales cerámicos convencionales, los mismos que se caracterizan por ser muy frágiles [9], [14].

Como ventajas la cerámica reforzada con fibras está recibiendo gran atención porque son resistentes a la oxidación debido al cerámico que conforma la matriz.

Además, la fibra como refuerzo permiten aumentar la tenacidad y la resistencia a la tracción y flexión [9], [14].

#### **b. Matriz Metálica**

Las Matrices metálicas que más comúnmente se encuentran para la fabricación en industrias aeroespaciales y automotriz, se tienen el magnesio, cobre, níquel y aleaciones de compuestos Inter metálicos. Permiten que el material soporte altas temperatura de trabajo, por otra parte, el coste es alto [9], [14].

La matriz metálica posee características mecánicas como es alta resistencia mecánica, elevada rigidez y pueden trabajar en un amplio rango de operaciones [9], [14].

#### **c. Matriz Polimérica**

Son usadas en una diversidad de aplicaciones y en grandes cantidades debido a su baja densidad, excelentes propiedades a temperatura ambiente, facilidad de conformado y costos relativamente bajos. Estas matrices pueden ser reforzadas con fibras naturales y sintéticas. [9], [14].

Las matrices poliméricas pueden ser de tres tipos: termoplásticas, termoestables y elastoméricas [9], [14].

- **Termoplásticos**

Las matrices termoplásticas pasan al estado líquido cuando son calentadas. Este ciclo reversible de ablandamiento y endurecimiento es el responsable de su aptitud para el reciclaje. Algunos ejemplos de matrices termoplásticas son el polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC) y polietilen-tereftalato (PET). [9], [14]

- **Termoestables**

Las matrices termoestables tienen múltiples enlaces entrecruzados en una estructura de red tridimensional. Son polimerizadas por una reacción química que generalmente no es reversible. No son fáciles de reprocesar después que las reacciones de entrecruzamiento han tenido lugar, lo que hace difícil su reciclaje. Los termoestables no funden al calentarse, sino que empiezan a degradarse. Algunos ejemplos son: resina poliéster, epoxi y fenólicos [9], [14].

- **Elastoméricas**

Las matrices Elastoméricas tienen una zona elástica grande y pueden estirarse hasta cinco o seis veces su longitud original. Sin embargo, sus módulos de elasticidad son bajos. Tienen menos enlaces de reticulación entre cadenas que los termoestables. El caucho natural pertenece a este tipo de matrices [9], [14].

### 1.4.2.2 Refuerzo

El refuerzo se puede decir que, es la fase discontinua de un material compuesto. Tiene la función de soportar las cargas y dar las características mecánicas al material nuevo que forma con estas.

Se tiene una clasificación en función del tipo de refuerzo como es el de refuerzo con partículas, refuerzo con fibras y el Estructural.

Cada una de esta se subdivide por sus consolidaciones, si son continuas o discontinuas, laminares. En la figura 1.4 se puede observar claramente cómo se conforma el material compuesto por su refuerzo. Es importante la selección correcta de la de la dirección, la cantidad y el tipo de refuerzo que se va a utilizar para la realización del material compuesto, por la relación directa con la matriz, porque por medio de ellas se transmiten las fuerzas que pueden interactuar con el material.



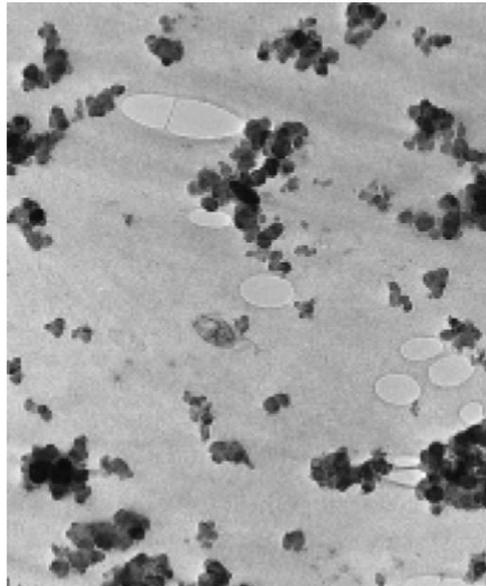
**Figura 1. 4** Clasificación del material compuesto en función de las fibras [15].

**a. Refuerzos con partículas**

Los compuestos reforzados con partículas es un refuerzo deficiente con respecto a las propiedades mecánicas, sin embargo, esta restringe el movimiento de la matriz envolviéndolo por completo a la partícula, en este caso, se habla de las partículas de gran tamaño.

Las partículas que son denominadas por dispersión que están inmersos en el compuesto, impiden el movimiento de dislocación, la matriz es la encargada de soportar los esfuerzos que son aplicados. En efecto, se trata de un compuesto metálico. Cabe mencionar, que las partículas están entre los 10 – 100 nm de tamaño como se indicó en la figura 1.4.

En la figura 1.5 se muestra una micrografía electrónica de un compuesto reforzado con partículas esféricas en un compuesto de caucho, esto son los puntos de color negro. Las esferas blancas que se indican son burbujas de aire en la goma que es la matriz.

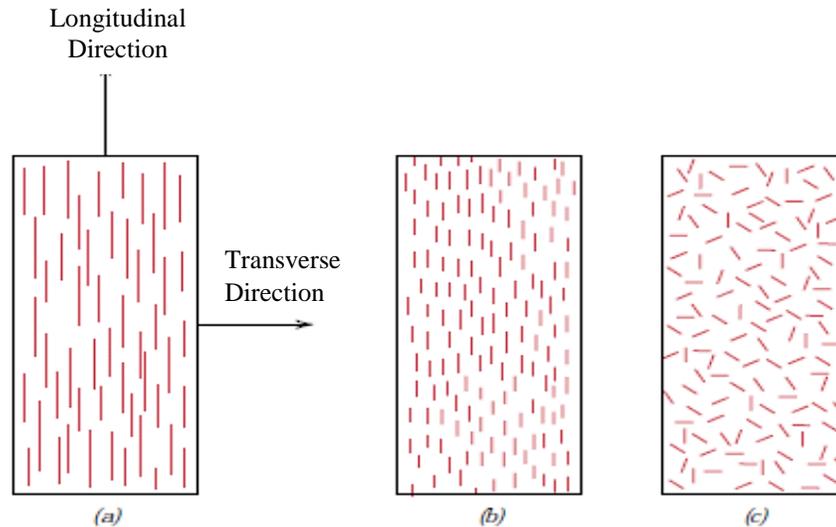


**Figura 1. 5** Refuerzo de partículas en un material polimérico [15].

**b. Refuerzos con Fibras**

Las fibras son muy importantes desde el punto de vista de un material compuesto, esto es debido, a que estas toleran las cargas externas a las cuales son sometidas el material.

También el material se vuelve más rígido y tiene mayor resistencia a los esfuerzos de tracción, flexión e impacto. De acuerdo con el diámetro las fibras se dividen los tres grupos: los Wishkers, fibras y alambres.



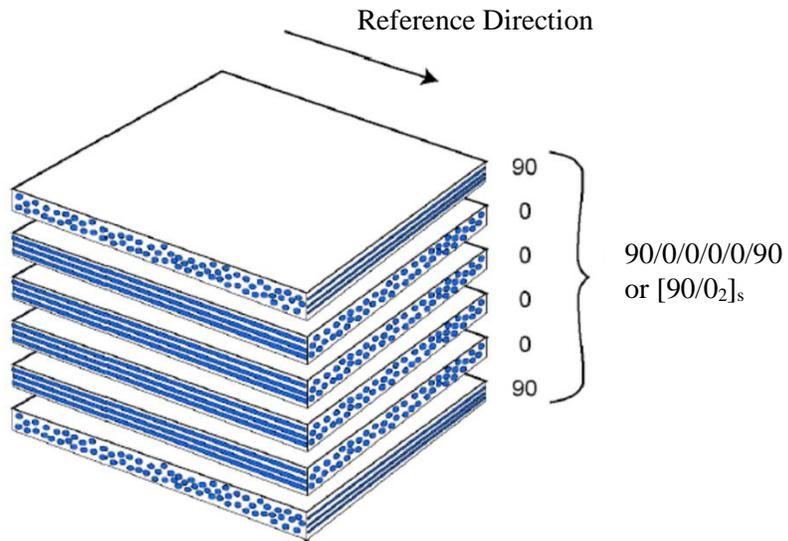
**Figura 1. 6** Refuerzo con fibras [16].

En la figura 1.6 se indican que el inciso a. están las fibras continuas alineadas y largas, el inciso b. están las fibras continuas alineadas y cortas, c. están las fibras discontinuas.

### c. Refuerzos Estructurales

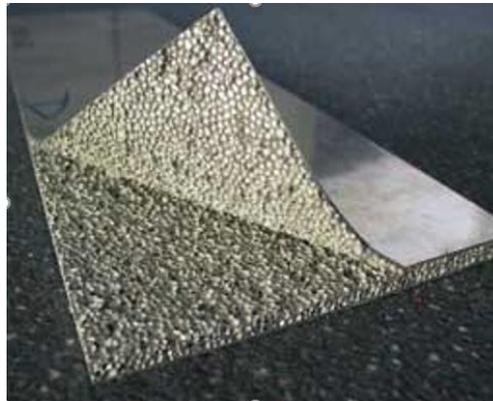
En este tipo de compuestos se basan en la geometría de los elementos estructurales y las propiedades mecánicas que posea. Los compuestos más destacados en este contexto son los tipos laminas y los tipos sanduche o paneles.

Los tipos laminares son formados por laminas con cierta dirección explícita, como es el caso de la madera y los materiales compuestos que sean reforzados con fibras de forma ordenada. A diferencia de los fibras continuas y alineadas van formándose por capas, donde los refuerzos van variando en diferentes direcciones como se indica en la figura 1.7, para que el compuesto tenga mejores propiedades mecánicas.



**Figura 1. 7** Compuesto formado por laminas [15].

Los compuestos firmados por tipo sándwich están conformadas por capas de un espesor mínimo para su recubrimiento, mientras que, para su relleno es constituido de un material más liviano como espuma de cualquier polímero. En la figura 1.8 se muestra una fina capa de material para su recubrimiento mientras su relleno es un material más ligero para conservar su característica la cual es su bajo peso. Es muy utilizado en los autos deportivos por su bajo peso.



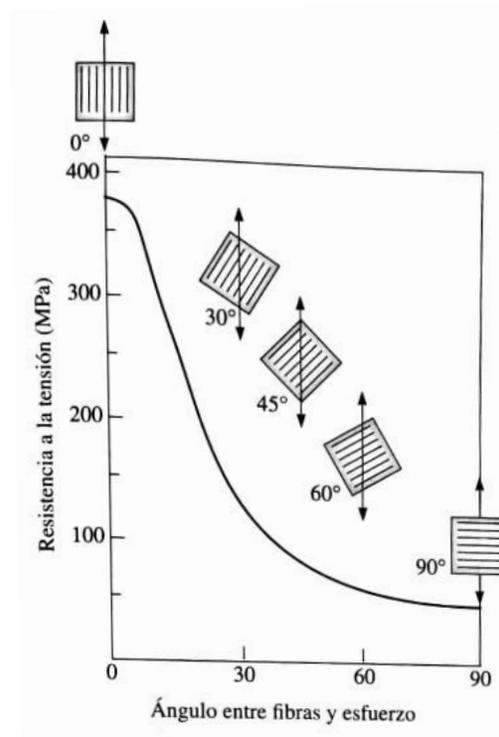
**Figura 1. 8** Material compuesto tipo Sándwich de Aluminio [15].

### 1.4.2.3 Orientación de las Fibras

Las fibras se pueden orientar de distintas formas o en grados. Por ejemplo, en esta investigación planteada se utilizará la fibra corta de forma aleatoria [17].

La configuración de las fibras largas, que pueden ser continuas y unidireccionales producen propiedades anisotrópicas, mostrando buenos resultados en resistencia y rigidez particularmente, siempre y cuando las fibras vayan en la misma dirección de las fibras [17].

Si se plantea utilizar el material compuesto para diversas funciones, donde va estar a la exposición de diferentes fuerzas externas, se propone establecer diferentes orientaciones como por ejemplo a  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  [17].



**Figura 1. 9** Orientación de las fibras vs la resistencia [17].

### 1.4.3 Verificación de supuestos

#### 1.4.3.1 Prueba de Normalidad

Para el análisis de datos de Normalidad se utilizó el método de Kolmogorov - Smirnov en donde se considera una cantidad de muestras ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) por lo que genera una distribución que no se conoce [1].

Con la verificación de la hipótesis el investigador debe rechazar o no puede rechazar la hipótesis nula que se ha planteado de la población [2].

Para ello se pretende verificar si los datos de que se tienen para pruebas posteriores fueron generados por un proceso normal, en ese caso se establece la hipótesis nula y la alternativa.

$H_0$ : Los datos tiene una distribución normal.

$H_a$ : Los datos no tiene una distribución normal.

#### ✚ Kolmogorov-Smirnov

“Esta prueba compara la función de distribución acumulada empírica (ECDF) de los datos de la muestra con la distribución esperada si los datos fueran normales. Si esta diferencia observada es adecuadamente grande, la prueba rechazará la hipótesis nula de normalidad de la población. Si el valor p de esta prueba es menor que el nivel de significancia ( $\alpha$ ) elegido, usted puede rechazar la hipótesis nula y concluir que se trata de una población no normal” [2].

Cuando el valor-p  $< \alpha$ , rechazamos  $H_0$ ; caso contrario se acepta  $H_a$

#### 1.4.3.2 Igualdad de varianza

El análisis de igualdad de Varianza se lo realiza para verificar la variabilidad de varianzas entre poblaciones o también entre niveles de Factores [2].

La mayor parte de los datos parten de un mismo supuesto, los datos pueden provenir de poblaciones con medias diferentes, pero con la misma igualdad de Varianza [2].

Cuando se obtiene el valor p y resulta ser mayor que las opciones adecuadas del nivel de significancia, no se puede rechazar la hipótesis nula de que las varianzas son iguales. Puede estar seguro de que se cumple el supuesto de igualdad de varianzas. Así como se indica en las Ecuaciones 4 y 5 [2].

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots \sigma_k^2 = \sigma^2$$

$$H_1: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 \text{ para algún } i \neq j$$

### 1.4.3.3 Independencia de residuos

En este apartado, la independencia de residuos es necesario comprobarla para poder observar si los datos que son analizados no tienen algún patrón contundente o similar.

Esto quiere decir que las independencias de residuos no indican una tendencia o patrón definido. Si los patrones en los puntos pueden mostrar que los residuos que están juntos o cercanos entre sí podrían estar correlacionados y por lo tanto, los datos no tienen independencia de residuos [2]. En la figura 1.10 se indica que los datos son independientes, por tanto, se cumple el supuesto.

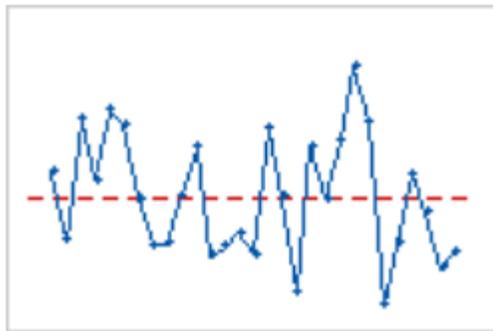


Figura 1. 10 Datos independientes [2].

### 1.4.4 Transformación Box-Cox

La transformación de los datos Box-Cox, tiene como propósito corregir las siguientes condiciones de los supuestos que no se cumplen:

- ✚ Por ejemplo, los datos del proceso no están distribuidos normalmente, especialmente si los datos no se recolectan en subgrupos [2].
- ✚ La varianza de los subgrupos no es constante porque la diversificación en los datos es proporcional a la media de los subgrupos [2].

Esto lo corrige con un factor lambda como se muestra en la formula.

$$W_i = Y_i^\lambda \text{ Si } \lambda \neq 0 \text{ (Ec. 1)}$$

$$W_i = \text{Ln}(Y_i) \text{ Si } \lambda = 0 \text{ (Ec. 2)}$$

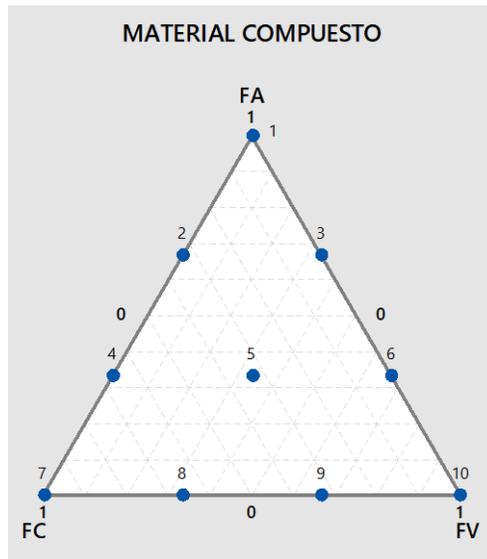
### 1.4.5 Optimización (DOE) Mezclas con FA+FC+FV con matriz de Resina Poliéster

En la actualidad el estudio de la optimización en Materiales compuestos es de baja literatura científica en el campo de la Ingeniería Mecánica en el área de materiales

compuestos, sin embargo, se da el inicio de la optimización con un material compuesto sobre la madera plástica lo cual es optimizado por el diseño de Experimentos con mezclas.

El material compuesto con fibras naturales y sintéticas con la adición de la resina poliéster como matriz, es de gran importancia porque es utilizado como materiales nuevos que tengan menor peso y mayor resistencia en el campo de la industria carrocera, hidráulica (tubos elaborados de material compuesto) y construcción.

Para la optimización depende de las cantidades en fracciones volumétricas de los distintos materiales que intervienen en el compuesto, cabe recalcar que, el diseño para mezclas es un tipo de enfoque estadístico, empleado para construir diseños de experimentos generados por computadora con la ayuda de algún tipo de software estadístico de forma "ideal", con el fin de experimentar una zona o región específico de interés.



**Figura 1. 11** Diseño simplex reticular de la FA+FC+FV.

**Fuente:** Minitab software Estadístico

#### 1.4.6 Resistencia de Materiales

La resistencia de Materiales es una rama de la mecánica que estudia el comportamiento de los cuerpos sólidos que generalmente están sometidos a diferentes cargas a las cuales están sometidas el material [18].

El estudio de la resistencia de los materiales tiene como objetivo determinar las tensiones, deformaciones y desplazamientos que pueden ocasionar los esfuerzos [8].

Con la optimización se desea conseguir un diseño material compuesto que maximice las propiedades mecánicas, esto es referente a la industria carrocea. El resto de las propiedades que se necesiten como la resistencia química a entornos agresivos también son importantes establecerlas [8].

En la tabla 1.2 se aprecia algunas fibras con sus componentes químicos que tienen cada una de estas posee por naturaleza.

La fibra de abacá posee una celulosa de 63-70 en porcentaje de peso, la hemicelulosa tiene de 20-21 en porcentaje de peso y la lignina de 5- 6 en porcentaje de peso.

**Tabla 1. 2** Composición Química del Fibras [9].

Fibra	Celulosa (% peso)	Hemicelulosa (% peso)	Lignina (% peso)
Lino	71,2	18 - 20	2,2
Cáñamo	70 - 75	17 - 22	3,7 - 5,7
Yute	61-71	13 - 20	8,1- 13
Kenaf	45 - 57	21	ago-13
Ramio	68 - 76	13 -16	0,6 -0,7
Abacá	63 - 70	20 - 21	5-jun
Sisal	67 - 78	oct-14	ago-14
Algodón	82 - 93	3-jun	--
Bambú	35 - 61	15	27 - 32
Coco	32 - 43	0,15 -0,25	40 - 45
Banana	63 - 64	10	5
Formio	71,3	--	--

**Tabla 1. 3** Composición Química en relación a las propiedades mecánicas [9].

<i>Resistencia</i>	<b>Celulosa cristalina</b> <b>Celulosa no cristalina</b> <b>Hemicelulosa + lienina</b> <b>Lienina</b>
<i>Degradación térmica celulosa</i>	Hemicelulosa Lignina
<i>Degradación biológica</i>	Hemicelulosa Celulosa no cristalina Celulosa cristalina Lignina
<i>Absorción de humedad</i>	Hemicelulosa Celulosa no cristalina Lignina Celulosa cristalina
<i>Degradación UV</i>	Lignina Hemicelulosa Celulosa no cristalina Celulosa cristalina

En la tabla 1.3 se puede visualizar que a mayor celulosa aumenta la resistencia, la hemicelulosa y la lignina aumenta la resistencia a la degradación también, aumenta la absorción de la humedad y entre los tres componentes aumenta la degradación por los rayos del sol UV.

#### 1.4.7 Ensayo de Materiales Compuestos

Las propiedades mecánicas van de acuerdo con cada material, y se la determina realizando experimentos. Se han desarrollado diferentes pruebas para caracterizar al material y entre estas tenemos el ensayo de tracción, impacto y flexión siendo las más importantes; a partir de estas pruebas se puede determinar las diferentes propiedades mecánicas [19].

Existen normas que designan el número de probetas a ensayar para determinar las propiedades mecánicas de cierto material [19].

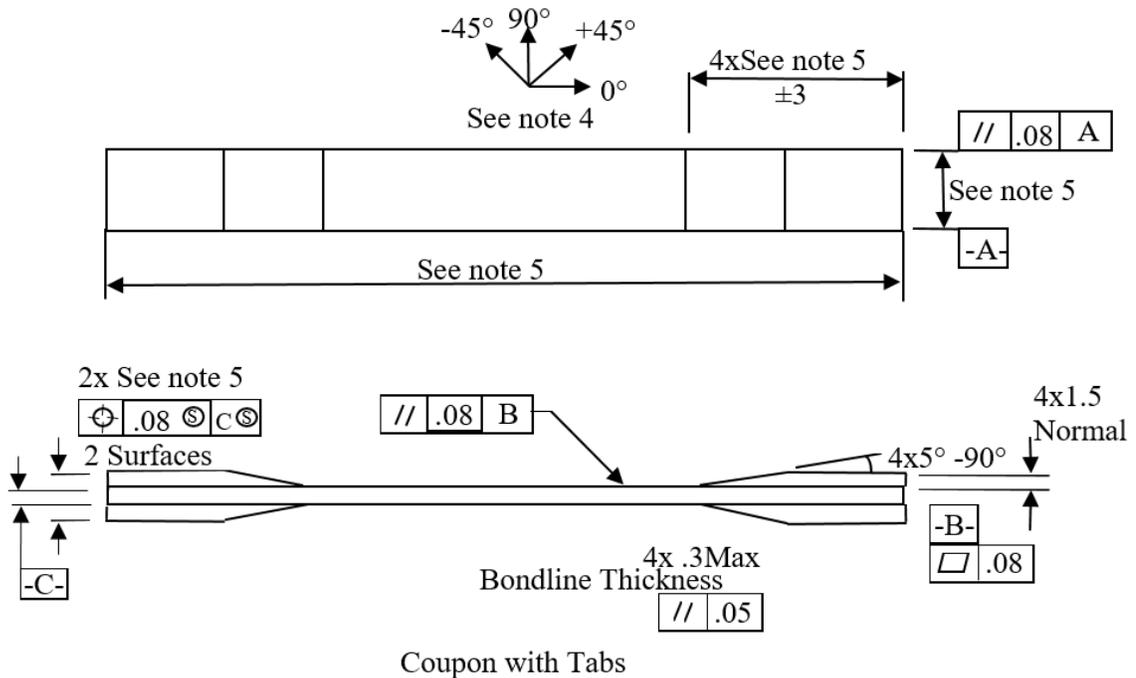
Una entidad denominada la (ASTM) por sus siglas en inglés (American Society of Testing Materials) Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ha desarrollado normas para el ensayo de materiales, en la cual está inmerso los materiales compuestos [19].

### 1.4.7.1 Ensayo de Tracción

El ensayo de tracción es el más común para materiales, consiste principalmente en deformar una cierta probeta hasta que sufra una ruptura con la aplicación de una fuerza axial que aumenta de manera gradual a lo largo del eje [19].

Para ejecutar el ensayo predicho se emplea la norma ASTM D3039/D3039M-00, porque es prevista para materiales compuestos; si se realiza el ensayo siguiendo las estipulaciones de la norma se obtienen propiedades mecánicas como [19]:

- ✚ Esfuerzo Máximo de Tracción. – Caracteriza la carga máxima que resiste por la probeta dividida por la sección inicial [19].
- ✚ Módulo de Elasticidad. – Es la relación entre la tensión y la deformación en la zona de comportamiento de forma proporcional [19].
- ✚ Elongación. – Mayor Alargamiento plástico que alcanza la probeta ensayada [19].



**Figura 1. 12** Diseño para las probetas [20].

Además, la norma tiene ciertas recomendaciones para la geometría como se muestra a continuación en la tabla 1.4.

**Tabla 1. 4** Recomendaciones Geométricas [20].

<i>Fiber Orientation</i>	<b>Width, mm [in.]</b>	<b>Overall Length, mm [in.]</b>	<b>Thickness , mm [in.]</b>	<b>Tab Length, mm [in.]</b>	<b>Tab Thickness, mm [in.]</b>	<b>Tab Bevel Angle,°</b>
<i>0° unidirectional</i>	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
<i>90° unidirectional</i>	25 [1.0]	175 [ 7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
<i>balanced and symmetric</i>	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	-	-
<i>random-discontinuous</i>	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	-	-

La norma estipula que por lo menos se realicen cinco especímenes por cada condición de prueba, a menos que se puedan obtener resultados válidos mediante el uso de un software que muestre menos muestras, como en el caso de un experimento diseñado [20].

#### **1.4.7.2 Ensayo de Flexión**

El ensayo a flexión consiste en un sistema de cargas en tres puntos que es aplicada a la probeta. Dos de las cargas son aplicadas al extremo como una viga con apoyos simples y la carga central que va en la sección intermedia de la probeta. Este ensayo se basa según la norma ASTM D7264/D7264M-07, la cual es prevista para materiales compuestos. [19].

Al realizar el ensayo se obtienen resultados tales como:

- ✚ Deflexión. – Es el desplazamiento máximo vertical que soporta la probeta antes de que sufra la ruptura del material [19].
- ✚ Esfuerzo Máximo de Flexión. – Consiste en el esfuerzo producido en la superficie exterior máximo, que corresponde a la tensión (fuerza) máxima aplicada antes de la falla [19].
- ✚ Módulo de elasticidad secante de flexión. – Es la relación entre el esfuerzo y la deflexión en un punto dentro de la región elástica de la curva esfuerzo deflexión [19].

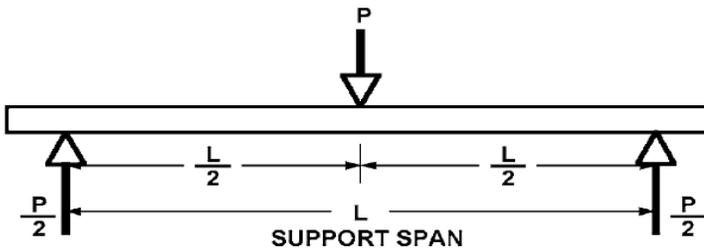


Figura 1. 13 Cargas para el apartado A [21].

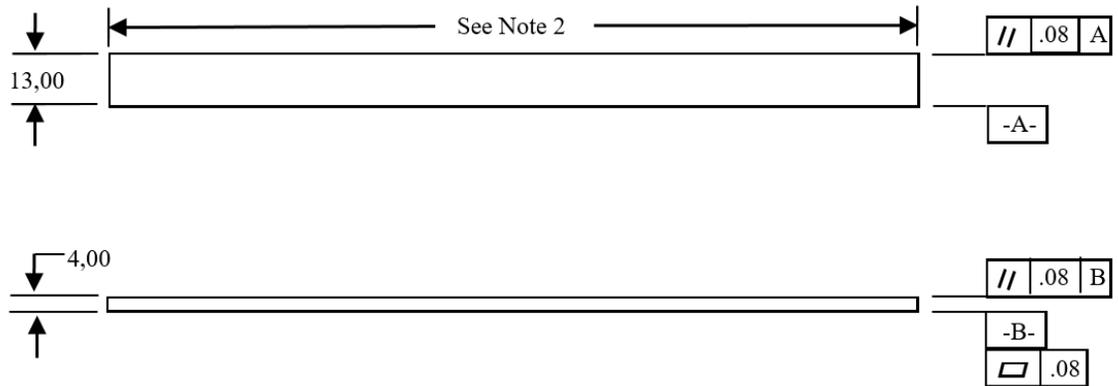


Figura 1. 14 Dimensiones de la muestra [21].

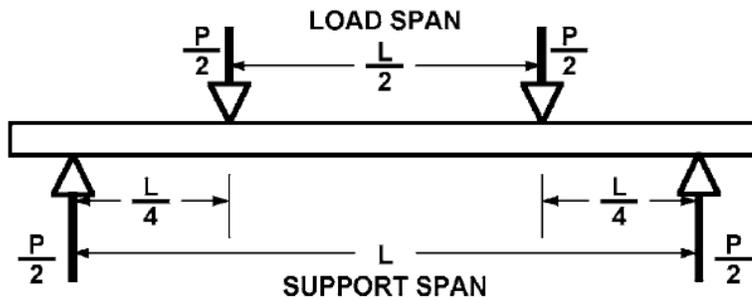


Figura 1. 15 Cargas para el apartado B [21].

### 1.4.7.3 Ensayo de Impacto

Para realizar el ensayo de impacto se guía de acuerdo a la norma ASTM D5628-96, la cual es prevista para materiales compuestos [19]. El ensayo de impacto es un método para establecer la característica del material sometido a una determinada fuerza de choque para evaluar la capacidad de firmeza de los materiales a las cargas de impacto y establecer su predisposición a la destrucción frágil y la cantidad que suele medirse es la energía absorbida al romperse la probeta en un solo golpe[22].

Cuando se ensaya mediante impacto se obtiene las siguientes características.

✚ Energía media de falla [19].

La energía media de falla es la energía en la cual el material presenta pequeñas fisuras en la probeta de Ensayo.

**Tabla 1. 5** Dimensiones de las Probetas [20],[23]

Geometry	Specimen Diameter, mm (in.)	Square Specimen, mm (in.)
FA	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FB	51 2.0)	51 by 51 (2.0 by 2.0)
FC	140 15.5)	140 by 140 (5.5 by 5.5)
FO	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FE	58 12.3)	58 by 58 (2.3 by 2.3)

En la tabla 1.5 se especifican las dimensiones que se pueden elaborar una probeta de material compuesto, para ser ensayado en la Máquina de Impacto.

#### 1.4.7 Propiedades Mecánicas

Las propiedades Mecánicas de un material híbrido que se puede analizar para caracterizar el comportamiento completo, no obstante, es muy variada. Sin embargo, las características mecánicas de los materiales híbridos no son independientes de la temperatura ni de la velocidad de deformación [8].

En primera instancia por naturaleza propia de los dos componentes se pueden coexistir de tal forma que se forme un solo material. La matriz Polimérica (resina poliéster) tiene un déficit correspondiente a la densidad, por otra parte, posee una alta elongación a la ruptura. A diferencia de la matriz polimérica, la fibra por naturaleza tiene una alta rigidez y presenta una baja elongación cuando esta es sometida a un esfuerzo. En cambio, al unir las dos fases, se debe comportarse de manera sinérgica el compuesto que se conforma [8].

La forma de transmitirse los esfuerzos entre las dos fases es un fenómeno muy complejo dependiente de las características morfológicas de la interface entre la matriz polimérica y el refuerzo (fibras naturales o sintéticas) en este caso está considerado el diámetro, la longitud, rigidez y elongación; estas como características morfológicas [8].

Generalmente para los ensayos de los materiales compuestos, se basan en los ensayos destructivos, con la finalidad de obtener datos que permitan caracterizar al material. Para ello, es necesario la intervención de varias muestras y con esto se realiza un determinado número de pruebas con equipos normalizado bajo normas creadas por instituciones como: la Sociedad Americana para Ensayo de Materiales (ASTM), ASME, ISO, UNE, INCONTEC, INEN. Con esto se garantiza que los resultados tengan validez [9].

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Optimizar (DOE-MEZCLAS) el material híbrido con refuerzos de fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio de matriz de resina poliéster y su incidencia sobre las propiedades mecánicas a flexión, tracción e impacto.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- ✚ Establecer el proceso de aplicación para el método Simplex Reticular en el diseño de Experimentos (DOE) con mezclas aplicado a los materiales híbridos.
  - ✓ Para dar cumplimiento al objetivo propuesto, se basa en el programa estadístico Minitab, además, para el método simplex reticular se fundamenta en una figura geométrica triangular, en cual se agrega en los vértices las mezclas puras del refuerzo (fibra de abacá, fibra de cabuya y la fibra de vidrio), el diseño de esta corresponde también al número de retículos que va a conformar (3 retículos), de esta manera se obtienen el número de tratamientos con todas las mezclas que puedan formar con ( $q=3$ ) componentes mediante todo este proceso, se elabora un diagrama de flujo que conlleva el procedimiento del diseño de experimentos DOE Mezclas,

además, se describe la obtención de los porcentajes de la mezcla con el que se trabajó en la investigación planteada.

- ✚ Determinar las propiedades mecánicas a Tracción, Flexión e Impacto del material híbrido de matriz de resina poliéster reforzado con fibra de cabuya y fibra de vidrio.
  - ✓ Para determinar las propiedades Mecánicas a Tracción, Flexión e Impacto, se elaboraron probetas con las combinaciones obtenidas mediante el programa estadístico, por lo que es necesario determinar las características mecánicas de las nuevas combinaciones del material conformado por las fibras naturales y sintética con la adición de la Resina Poliéster, y se basaran de acuerdo con las normas ASTM D3039/D3039M-00 para Tracción, para ensayar a Flexión se utilizará la norma ASTM D7264/D7264M-07 mediante estas dos se establecen resultados como Carga Máxima, Esfuerzo de Ruptura, Modulo de Elasticidad, deformación de ruptura y para los ensayos de Impacto se basan en la norma ASTM D5628-96, y mediante este ensayo se obtienen la energía del impacto.
  
- ✚ Evaluar los resultados de los ensayos de Tracción, Flexión e Impacto, donde se han determinado sus propiedades mecánicas para optimizar dichas respuestas.
  - ✓ Con la ayuda del software estadístico se incorporan los datos obtenidos insertando los valores máximos y mínimos de cada ensayo (Tracción Flexión e Impacto), de esta manera, el programa arroja las combinaciones, y, por consiguiente, se ha optimizado los resultados para obtener las mejores propiedades mecánicas del material híbrido.
  
- ✚ Determinar cuál de los componentes del material compuesto establece mayor influencia sobre la respuesta de interés.
  - ✓ Para determinar el componente que más incide sobre la respuesta de salida se interpretará de los gráficos que se obtendrá del programa con el cual, la fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio tendrá incidencia sobre las propiedades mecánicas de tracción, flexión e impacto. Esto se realiza en base a la optimización generada con las probetas del material híbrido.

## CAPITULO II.- METODOLOGÍA

### 2.1 Flujograma del procedimiento de trabajo experimental

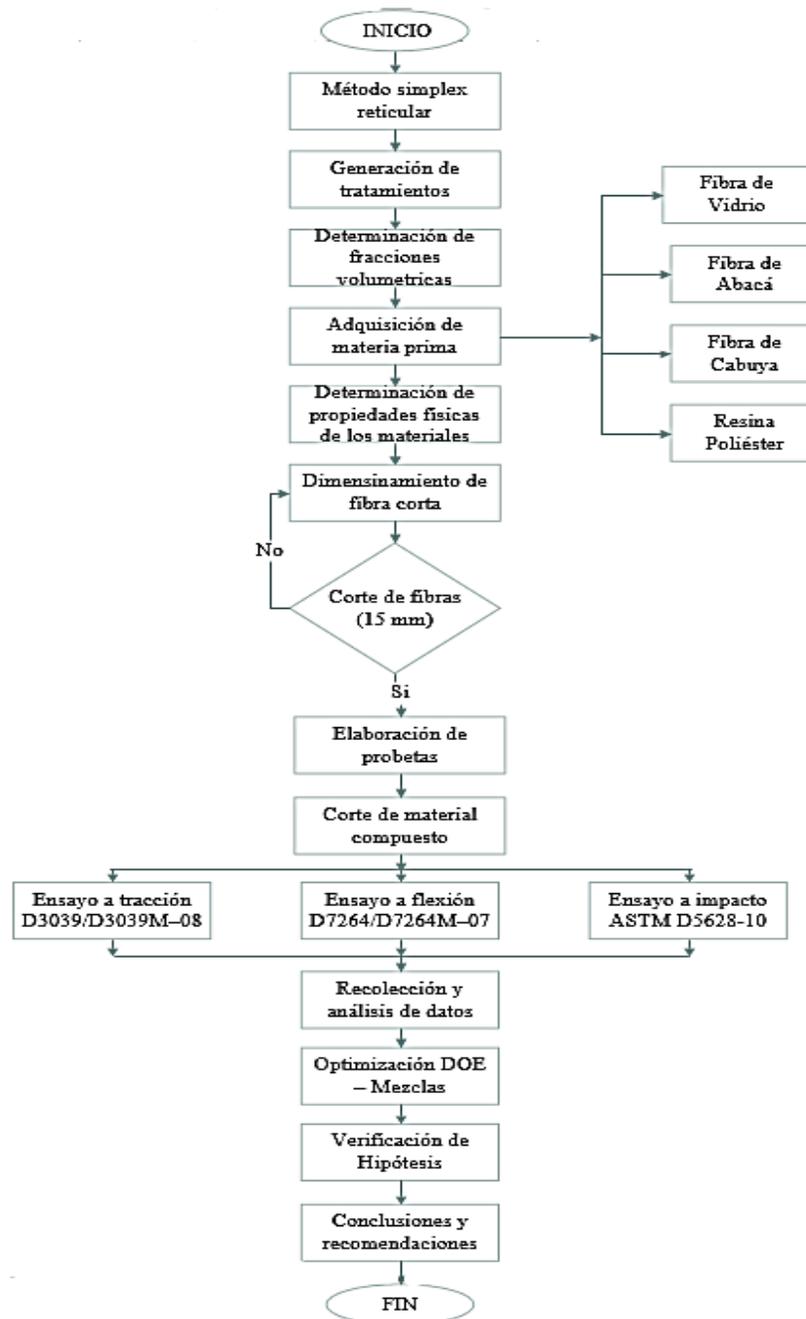


Figura 1. 16 Flujograma del proceso de trabajo experimental .

Fuente: Autor

## 2.2 Materiales

### 2.2.1 Características de las fibras

#### 2.2.1.2 Fibra de Abacá

También conocido como cáñamo de Manila, el abacá es una planta de estructura herbácea perteneciente a la familia de las musáceas. Es nativa de las Filipinas y su producción se acopla muy bien a los trópicos húmedos. Sus fibras provienen de la vaina de las hojas que componen al pseudotallo de la planta y están compuestas por células largas y delgadas que brindan a las hojas soporte estructural. La planta y la fibra de abacá se muestran en la figura 2.1 [9].



**Figura 2. 1** a) Fibra y b) Planta de abacá. [9]

La fibra de abacá se clasifica según su calidad en 5 categorías que van en aumento según su grado de calidad. Las de grado 1 corresponden a la mejor calidad y propiedades y se presentan como fibras finas, brillantes de color habano claro. Su obtención constituye un proceso laborioso, que consiste en el corte de los tallos del abacá en tiras, que a su vez pasan por un desfibrador mecánico en donde se remueve su corteza y pulpa dejando solo las fibras, las cuales son finalmente lavadas y secadas [9].

**Tabla 2. 1** Propiedades mecánicas de la fibra de Abacá [24].

Fibra	Densidad $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (GPa)	Elongación la fractura (%)	Absorción de la humedad (%)
Abacá	1.3	400-1289	45	2.7	10

### **Proceso de Obtención de La fibra**

La fibra de abacá se obtiene al cortar el tallo de forma similar como se lo hace con la planta de plátano, después, se elige los mejores para proceder a sacar la Chantas o tiras. En la actualidad estas son limpiadas manualmente [25].

Luego de realizar todo el proceso se pasa a una máquina que tiene como misión de desfibrar la chanta, consta de un motor que hace girar un trompo de madera que es el que desfibra las tiras [25].

A continuación, son sacadas a para que pueden tener un secado natural y también que obtenga la flexibilidad [25].

#### **2.2.1.3 Fibra de Cabuya**

La cabuya es una planta nativa que se encuentra en la sierra ecuatoriana en la cordillera de los Andes. Esta planta está caracterizada por sus grandes hojas de la cual se extraen la fibra [24].

Como se indica en la tabla 2.2 se encuentran algunas características de la cabuya, entonces, se puede decir que las fibras naturales tienen una buena resistencia mecánica y la cabuya es una de ellas, posee una densidad de  $1.3g/cm^3$ . Tiene un gran atractivo para las industrias por poseer una contextura liviana combinada con la resistencia a la tracción [24].

En la tabla 2.3 se puede apreciar las características que tiene una planta de cabuya en su estado natural de diferentes especies.

**Tabla 2. 2** Propiedades mecánicas de la fibra de Cabuya [24].

Fibra	Densidad $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (GPa)	Elongación a la fractura (%)	Absorción de la humedad (%)
Cabuya	1.3	305.15	7.5	4.96	----

**Tabla 2. 3** Características de la Cabuya [26]

ESPECIE	CARACTERISTICAS			
	TRONCO	HOJAS	AGUIJONES	PRODUCCIÓN DE FIBRA
<b>MACROFILIA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CORTO</li> <li>• ALTURA APROXIMADA 30 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COLOR VERDE</li> <li>• CÓNCAVAS</li> <li>• LISAS POR EL HAZ Y ASPERAS POR EL ENVES</li> <li>• LONGITUD DE 150 A 200 cm</li> <li>• ANCHO DE 8 A 14cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MARGINALES Y CURVADOS</li> <li>• COLOR ROJO</li> <li>• LONGITUD DE 5 A 7 mm</li> <li>• DISTANCIA DE ESPINA A ESPINA 40 A 80 cm</li> <li>• AGUIJON TERMINAL DIMINUTO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UNA HOJA DE 3 A 4% DE FIBRA ANUAL</li> </ul>
<b>ANDINA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MUY CORTO</li> <li>• ALTURA APROXIMADA 20 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COLOR VERDE</li> <li>• CÓNCAVAS O CASI PLANAS</li> <li>• LONGITUD DE 120 A 170cm</li> <li>• ANCHO DE 10 A 15cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MARGINALES Y ENCORVADOS HACIA LA PUNTA DE LA HOJA</li> <li>• LONGITUD DE 5 A 8 mm</li> <li>• DISTANCIA DE ESPINA A ESPINA 15 A 20 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Kg ANUAL DE UNA PLANTA</li> </ul>
<b>HUMBOLTIANA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LARGO</li> <li>• ALTURA APROXIMADA DE 1 A 3 mts.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COLOR VERDE CLARO O AGRISADO</li> <li>• CASI PLANAS</li> <li>• LONGITUD DE 100 A 175cm</li> <li>• ANCHO DE 12 A 15cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MARGINALES DIVERGENTES</li> <li>• LOCALIZADOS EN LA MITAD DE LA HOJA</li> <li>• LONGITUD DE 2 A 5 mm</li> <li>• DISTANCIADO DE ESPINA A ESPINA 25 A 65cm</li> <li>• ALGUNAS NO POSEEN ESPINAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 600 A 1000 Kg ANUALES POR HECTÁREA</li> </ul>

#### 2.2.1.4 Fibra de vidrio

La fibra de vidrio es un tipo de fibra inorgánica, que tiene una gran resistencia a la tracción. Su elemento formador es el vidrio, se produce a partir de materias primas, que tiene una alta resistencia [27].

La fibra de vidrio más utilizado en el campo de la industria es el tipo E (Eléctrico), debido a sus propiedades mecánicas, eléctricas, rigidez y facilidad de humedecerse [14].

En la tabla 2.4 se muestra algunas propiedades que tiene la fibra de vidrio más utilizada en el campo de la industria textil.

**Tabla 2. 4** Propiedades mecánicas de la fibra de Vidrio [24].

Fibra	Densidad ( $\frac{g}{cm^3}$ )	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (GPa)	Elongación la fractura (%)	Absorción de la humedad (%)
Vidrio -S	2.5	2000-3500	70	2.8	----
Vidrio - E	2.5	4570	86	3.3-3.7	----

La fibra de vidrio es una estructura de red aleatoria compuesta por tetraedros [SiO<sub>4</sub>][28]. Actualmente son las más utilizadas en la industria por sus excelentes propiedades, además, es de fácil fabricación[9].

Debido a la aparición de las fibras naturales, estas están siendo sustituidas por las fibras vegetales [9].

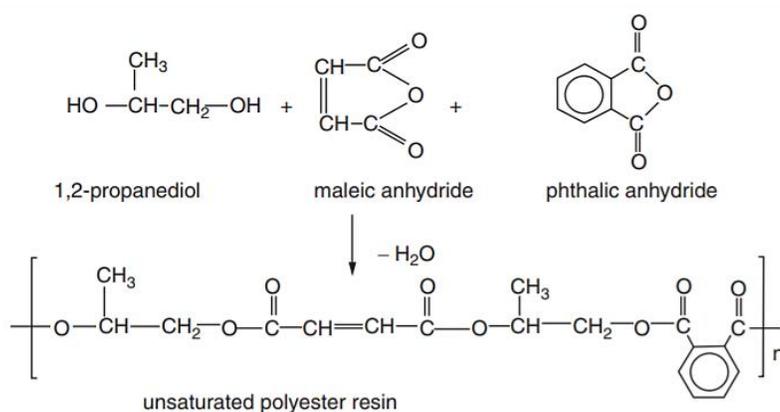
La fibra de vidrio es un material con excelentes propiedades. Sus ventajas incluyen un comportamiento de aislamiento ideal, fuerte resistencia al calor, excelente resistencia a la corrosión y alta resistencia a la tracción. Se fabrica a partir de materias primas minerales a través de procesos de fusión, estirado y bobinado a alta temperatura. La fibra de vidrio se inventó en la década de 1930 y la producción continua de fibra de vidrio superó los 6,5 millones de toneladas en el mundo, se utiliza de forma idónea en los campos aeroespacial, petroquímico, municipal y otros. La fibra de vidrio se utiliza comúnmente como material de refuerzo en materiales compuestos[28].

La falla de los materiales compuestos es causada principalmente por la destrucción de la fibra de vidrio. La temperatura contiene relativamente pocos estudios sobre el rendimiento y el mecanismo de fractura de la fibra de vidrio durante el uso a largo plazo, y la vida útil a largo plazo de la fibra de vidrio y sus compuestos bajo tensión sigue sin estar clara [28].

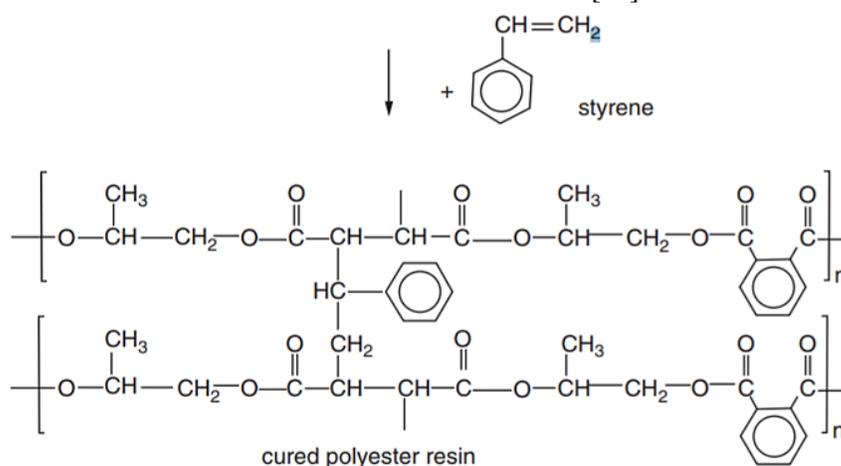
La fibra de vidrio más utilizada es el tipo E (eléctrico) por su alta resistencia mecánica, eléctrica y rigidez [14]. Entre sus características se tiene la resistencia a la tracción 4570 Mpa, su módulo de elasticidad está en los 86 GPa, la elongación a la fractura varía en 3.3 a 3.7 % y carece de absorción a la humedad [24],[9].

### 2.2.2 Características de la matriz Polimérica

Las resinas de poliéster son una de las clases más grandes de resinas sintéticas y se usan ampliamente en la industria de plásticos reforzados, en pinturas al agua, recubrimientos en polvo, lacas, cementos para automóviles y pegamentos [29].



**Figura 2. 2** La resina de poliéster insaturado se fabrica condensando 1,2-propanodiol, anhídrido maleico y anhídridos ftálicos. El estireno se utiliza como un monómero de reticulación [29].



**Figura 2.2** La resina de poliéster insaturado se fabrica condensando 1,2-propanodiol, anhídrido maleico y anhídridos ftálicos. El estireno se utiliza como un monómero de reticulación [29]. Continuación.

La resina poliéster tiene una densidad que varía dependiendo el fabricante 1.75 – 1.26  $\frac{g}{cm^3}$ , su resistencia a la fluencia es muy baja, la temperatura de Moldeo varía entre 80 -160 °C, la contracción al fraguado esta entre 6-10 e inicialmente entre 1.8 – 2.4 y el tiempo de almacenamiento esta entre los 6 meses hasta que se deteriore por completo en condiciones de intemperie.

La resina poliéster es un material termoestable que en conjunto con el catalizador tipo MEK Reacciona químicamente produciendo una reacción química exotérmica que libera calor, y al transcurrir el tiempo esta se va endureciendo. Este material termoestable presenta buenas características mecánicas y también es de fácil utilización, en la actualidad es la más empleada por su bajo costo y tienen una alta gama de aplicaciones como es: Aeronáutica, aeroespacial, naval y carrocería (vehículos, buses, camiones), siendo este último el que más se destaca en la provincia de Tungurahua [14].

**Tabla 2. 5** Propiedades físicas de la Resina Poliéster [14]

Resina	Densidad ( $\frac{g}{cm^3}$ )	Fluencia	Temperatura de Moldeo (°C)	Contracción del fraguado (%)	Contracción posterior (%)	Tiempo de almacenamiento
Poliéster Insaturado o UP	1.75-1.26	Muy baja	80-160	6-10 inicial entre 1.8-2.4	Hasta 3	Temperatura Ambiente 6 Meses

### 2.2.3 Ensayos

El ensayo que se realiza es la resistencia a la Tracción, Flexión e Impacto según la norma ASTM D3039/D3039M-00, ASTM D7264/D7264M-07 y ASTM D3763 o ISO 6603-2.

Las máquinas que se emplearán para los ensayos propuestos son las máquinas de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

**Tabla 2. 6** Materiales empleados para la fabricación de la probetas

Nombre	Figura	Descripción
<b>Fibra de Vidrio</b>		La fibra de Vidrio tipo E es el más común que se utiliza en las industrias carroceras, también se utilizará en la investigación planteada.
<b>Fibra de Abacá</b>		La fibra de abacá es una fibra natural, vienen de diferentes tipos lo cual se ha escogió el de grado 1 , se identifica de esta forma por ser de mejor calidad.
<b>Fibra de Cabuya</b>		La fibra de cabuya es un material obtenida de las hojas de cabuya, mediante un proceso se obtiene las fibras como se observa en la figura. La procedencia es de la parroquia Salasaca.

<p><b>Resina Poliéster</b></p>		<p>La resina poliéster es una de las clases más grandes de resinas sintéticas y se usan ampliamente en la industria de plásticos reforzados, cementos para automóviles y pegamentos [29].</p>
<p><b>Catalizador</b></p>		<p>El catalizador es un aditivo empleado para endurecer la resina poliéster mediante un proceso químico, es decir aumenta la velocidad del secado.</p>
<p><b>Cera desmoldante</b></p>		<p>La cera desmoldante es utilizada con el fin de facilitar el desprendimiento del material del molde y haciendo fácil la extracción.</p>
<p><b>Moldes</b></p>		<p>Los moldes son de ACERO ASTM A 36 para la elaboración de las probetas.</p>

**Fuente:** Autor

## 2.3 Métodos

### 2.3.1 Nivel o tipo de investigación

#### **Investigación teórica**

Este método es muy importante para el desarrollo de la investigación, porque en base a literaturas científicas previas y artículos técnicos enfocados a la optimización de diseños de experimentos con mezclas, se realiza los cálculos insertando los datos en un software enfocado con el mismo fin para determinar la mezcla óptima, de esta manera, se elaboran probetas y posteriormente ensayarlos de acuerdo con las normas ASTM de Tracción, Flexión e Impacto.

#### **Investigación Descriptiva**

La descripción correspondiente del principio de optimización de mezclas es fundamental para la comprensión de los parámetros para la aplicación del método con las variables de entrada y de salida.

#### **Investigación Explorativa**

Con el fin de encontrar la optimización más adecuada mediante las réplicas realizadas en el software y cambiar los puntos en el triángulo para realizar experimentos similares con otros materiales compuestos.

#### **Investigación Cuantitativa**

Los datos obtenidos son ordenados, tabulados y examinados de forma numérica, mediante fundamentos estadísticos, con el fin de encontrar una mezcla óptima para el material híbrido de fibra de vidrio, cabuya, abacá y resina poliéster para mejorar las propiedades mecánicas del mismo.

### 2.3.2 Plan de recolección de información

**Tabla 2. 7** Plan de Recolección de Datos

¿Qué?	Caracterización mecánica a tracción, flexión e impacto del material híbrido con fibras naturales [fibra de abacá (FA), Fibra de cabuya (FC)] y la fibra sintética [Fibra de Vidrio (FV)], con la adición de matriz de resina poliéster.
-------	---

<b>¿Para qué?</b>	Optimizar las propiedades mecánicas mediante el diseño de experimento (DOE Mezclas) mediante la aplicación de una metodología estadística.
<b>¿Quién?</b>	La recolección de datos de la investigación es realizada por el investigador (William Chiluíza)
<b>¿A Quién?</b>	Está dirigido a los estudiantes y docentes que necesiten una base de literatura científica, siendo también, un aporte para las indagaciones sobre los proyectos que se desarrollan en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.
<b>¿Cómo?</b>	Se recolecta los datos con los ensayos realizados en esta investigación.
<b>¿Con qué?</b>	Para extraer la información es necesario hojas de cálculo, editor de texto y bibliografía pertinente al tema.
<b>¿Cuándo?</b>	Se pone en marcha en el año 2019-2020.
<b>¿Cuántas Veces?</b>	Para los Ensayos de Tracción, Flexión e Impacto se realizará 5 réplicas de cada Mezcla con referencia a la tabla 3.7.
<b>¿Dónde?</b>	La recolección de la información se lo hace en los laboratorios y la biblioteca de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

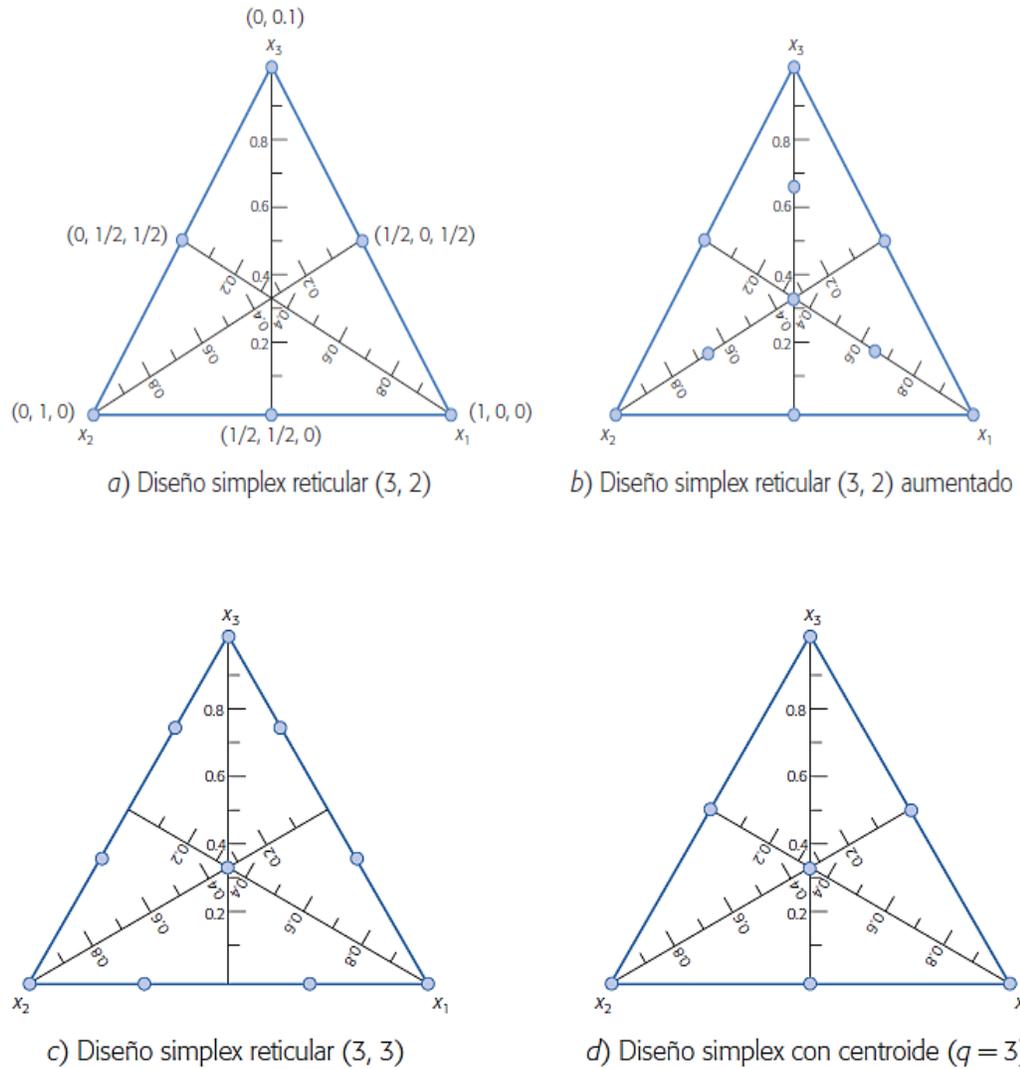
**Fuente:** Autor

### **2.3.3 Diseño Experimental para mezclas**

#### **2.3.3.1 Diseño Simplex Reticular (Simplex-Lattice)**

Los dos tipos básicos de diseños para estudiar el efecto de los componentes de la mezcla sobre la respuesta son el simplex-reticular (simplex-lattice). El diseño simplex reticular  $\{q, m\}$  considera la designación (q) como componentes y la designación (m) permite ajustar un modelo estadístico de orden m. Los puntos que se pueden dar en el diseño considera todas las posibles combinaciones de (q) componentes o mezclas que se forman al considerar que las proporciones pueden tomar los  $m + 1$  valores entre cero y uno dados por [12]:

$$x_i = 0, 1/m, 2/m, \dots, m/m \text{ (Ec. 3)}$$



**Figura 2. 3** Diseño de Experimentos con Mezclas [12].

En este contexto, en la investigación y en los procesos de producción es necesario mejorar la calidad de los productos, reducir costos, reducir tiempos de ciclo, diseñar, rediseñar o hacer cambios en los procesos, sustituir materiales, modificar métodos, diseñar productos y procesos robustos, etc. Una de las metodologías clave para que todo esto se haga eficazmente es el diseño y análisis estadístico de experimentos.

Para la aplicación del método y dar cumplimiento al objetivo propuestos en la investigación se propone trabajar bajo el método estadístico de Diseño de Experimentos DOE.

Como se ilustra en la figura 2.3 El diseño de experimento tiene un amplio rango de aplicabilidad dependiendo del caso en el que se encuentre la muestra o lo que se pretenda analizar u optimizar.

Para este caso se propone manejar el método estadístico diseño de experimentos con mezclas, específicamente el diseño del método Simplex Reticular.

### **Aplicación.**

El método simplex reticular generalmente es para optimizar mezclas de 2, 3, 4 variables de entrada.

Se puede realizar la mezcla mediante un software estadístico, en el cual se inserta las variables, con ello, arroja un cuadro de combinaciones que se pueden aplicar en la práctica, donde se evalúan dichas mezclas para su optimización y de esta manera obtener la mezcla adecuada del compuesto que se está investigando.

El diseño consta de ( $q$  componentes), y (modelo estadístico de orden  $m$ )

$q$ : # de componenetes fibras 3

$m$ : modelo de orden 3

### **2.2.3 Modelos Estadísticos**

#### **A) Modelo Estadístico de Primer Orden**

Una vez obtenidos los resultados experimentales de un diseño de mezclas es necesario ajustar a un modelo estadístico para investigar el efecto de los componentes sobre la respuesta. Consideramos ahora el tipo de modelo que se pueda aplicar. Un modelo que se puede ajustar es el modelo de primer orden.

$$E(y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^q \beta_i X_i \text{ (Ec. 4)}$$

Donde  $E(y)$  es el valor esperado de la variable de respuesta  $y$ . Sin embargo, debido a la restricción  $x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1$

Se debe multiplicar por  $\beta_0$  por esta identidad y se agrupa términos se obtiene:

$$E(y) = \beta_0 (x_1 + x_2 + \dots + x_q) + \sum_{i=1}^q \beta_i X_i = \sum_{i=1}^q \beta_i^* X_i$$

Donde  $\beta_i^* = \beta_0 + \beta_i$  para todo  $i = 1, 2, \dots, q$ . El modelo con los coeficientes  $\beta_i^*$  se conoce como forma canónica del modelo de primer orden para mezclas. En la práctica, para simplificar la notación se elimina el asterisco de cada parámetro y el modelo canónico de primer orden se denota de la siguiente forma:

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i \quad (\text{Ec. 5})$$

## B) Modelo Cuadrático

Cuando se ajusta un modelo cuadrático también es necesario incorporar la restricción  $x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1$ , ya que esto dará una característica especial al modelo. Para ilustrar supongamos que tienen tres componentes  $x_1, x_2, x_3$ , por lo que el polinomio de segundo grado está dado por:

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 \quad (\text{Ec. 6})$$

Al multiplicar a  $\beta_0$  por  $x_1 + x_2 + x_3 = 1$ , también

sustituimos  $x_1^2 = x_1(1 - x_2 - x_3)$ ,  $x_2^2 = x_2(1 - x_1 - x_3)$ ,  $x_3^2 = x_3(1 - x_1 - x_2)$ ,

$$E(y) = \beta_0(x_1 + x_2 + x_3) + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{11} x_1(1 - x_2 - x_3) + \beta_{22} x_2(1 - x_1 - x_3) + \beta_{33} x_3(1 - x_1 - x_2)$$

Multiplicando y reagrupando términos se obtiene que:

$$E(y) = \beta_1^* X_1 + \beta_2^* X_2 + \beta_3^* X_3 + \beta_{12}^* X_1 X_2 + \beta_{13}^* X_1 X_3 + \beta_{23}^* X_2 X_3$$

Cuando se pone en práctica se elimina los asteriscos y se obtiene la nueva expresión.

$$E(y) = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3$$

En general para  $q$  componentes se establece la siguiente ecuación.

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum_{i < j} \sum_{i=1}^q \beta_{ij} X_i X_j \quad (\text{Ec. 7})$$

$\beta_i$  representa la respuesta esperada en la mezcla pura  $x_i = 1$

y al mismo tiempo es la altura de la superficie en el vértice  $x_i = 1$ .

Cuando la mezcla es estrictamente aditiva el polinomio lineal es adecuado. Una mezcla es considerada estrictamente aditiva cuando en el centro de las aristas correspondientes a cada par de vértices se predice el promedio de lo estimado en los vértices.

### C) Modelo cúbico especial

Para  $q$  componentes está dado por:

$$E(y) = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 + \delta_{12} X_1 X_2 (X_1 - X_2) + \delta_{13} X_1 X_3 (X_1 - X_3) + \delta_{23} X_2 X_3 (X_2 - X_3) \quad (\text{Ec. } 8)$$

De modo general, el modelo cúbico especial para  $q$  componentes se denota de la siguiente forma:

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum_{i<j} \sum_{i=1}^q \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i<j} \sum_{j<k} \sum_{i=1}^q \beta_{ijk} X_i X_j X_k \quad (\text{Ec. } 9)$$

Del mismo modo se establece el modelo estadístico cúbico especial, dando como resultado la siguiente formula:

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum_{i<j} \sum_{i=1}^q \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i<j} \sum_{j=2}^q \delta_{13} X_i X_j (X_i - X_j) + \sum_{i<j} \sum_{j<k} \sum_{i=1}^q \beta_{ijk} X_i X_j X_k \quad (\text{Ec. } 10)$$

## 2.4 Operacionalización de Variables

### 2.4.1 Variable Independiente

Optimización (DOE-Mezclas) del material híbrido con refuerzos de fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio de matriz de resina poliéster.

**Tabla 2. 8 Variable Independiente**

ABSTRACTO		CONCRETO		
DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	HERRAMIENTAS
Cuantificar la influencia que tienen los diferentes componentes sobre la respuesta, tanto en forma individual como en su acción conjunta con otros componentes.	Refuerzo (Fibras)	Tipos de Fibras	Fibra de Abacá	Tijeras, guantes, mascarilla, mandil para la obtención de la fibra de 1.5 mm de largo.
			Fibra de cabuya	Tijeras, guantes, mascarilla, mandil para la obtención de la fibra de 1.5 mm de largo.
			Fibra de vidrio	Tijeras, guantes, mascarilla, mandil para la obtención de la fibra de 1.5 mm de largo.
		% fibra de cabuya	Fibra de Abacá (1-30% )	Software Estadístico
			Fibra de cabuya (1-30% )	Software Estadístico
			Fibra de vidrio (1-30% )	Software Estadístico

### 2.4.2 Variable Dependiente

#### Propiedades Mecánicas

**Tabla 2. 9 Variable dependiente.**

ABSTRACTO		CONCRETO		
DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	HERRAMIENTAS
Las propiedades mecánicas son utilizadas para caracterizar un material basándose en normas como la ASTM	Tracción.	Carga Máxima	¿Cuál es la carga Máxima?	Máquina universal de Ensayos MTE-50 Observación directa. Norma ASTM 3039/ D3039 M-00
		Esfuerzo de Ruptura	¿Qué resistencia última a la tracción tendrá el material?	
		Módulo de elasticidad	¿Qué módulo de elasticidad se obtendrá?	
		Deformación a la ruptura	¿Qué porcentaje de deformación se obtendrá?	
	Flexión	Carga Máxima	¿Cuál es la carga Máxima?	Norma ASTM D7264 / D7264M-07 Observación Directa
		Esfuerzo de Ruptura	¿Qué resistencia última a la tracción tendrá el material?	
		Módulo de elasticidad	¿Qué módulo de elasticidad se obtendrá?	
		Deflexión	¿Cuánta deflexión obtendrá el material?	
Impacto		Resistencia al impacto (J)	¿Qué energía se obtendrá?	Norma ASTM -5628 Observación Directa

**Fuente:** Autor

## 2.5 Hipótesis

H<sub>0</sub>: La aplicación del método (DOE-Mezclas) del material híbrido con refuerzos de fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio de matriz de resina poliéster de igual significancia optimizará las propiedades mecánicas (Tracción, Flexión e Impacto).

H<sub>a</sub>: La aplicación del método (DOE-Mezclas) del material híbrido con refuerzos de fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio de matriz de resina poliéster de diferente significancia optimizará las propiedades mecánicas (Tracción, Flexión e Impacto).

## 2.6 Señalamiento de las Variables de la Hipótesis

### Variable Independiente

Optimización (DOE-Mezclas) del material híbrido con refuerzos de fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio de matriz de resina poliéster.

### Variable Dependiente

Propiedades mecánicas (Tracción, Flexión e Impacto)

### Término de Relación

Optimizará

## 2.7 Procedimiento

### 2.7.1 Determinación de densidades

#### 2.7.1.1 Densidad de la Fibra Sintética y Naturales

Es importante determinar las densidades de las fibras naturales que se encuentra en nuestra provincia para realizar los cálculos de las fracciones volumétricas, donde intervienen variables como la densidad, masa y el volumen de los elementos que van a conformar el material híbrido.

El método utilizado para la determinación de las densidades es el método gravimétrico, que consiste en manipular las variables de la densidad (masa sobre volumen). en este caso se determinarán las densidades de la fibra de vidrio, fibra de abacá y cabuya, los cuales, son materiales que se están utilizando.

Los equipos y materiales que se utilizaran son: vaso de vidrio de laboratorio, balanza y probetas de cada componente.

**Tabla 2. 10** Densidad de la fibra de abacá

<b>Densidad de la fibra de Abacá</b>					
<b>Muestra</b>	<b>Masa (gr)</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>			<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
		<b>Inicial</b>	<b>Final</b>	<b>Diferencia</b>	
<b>1</b>	10.3	200	207.8	7.8	1.32
<b>2</b>	10.0	200	207.2	7.2	1.40
<b>3</b>	9.9	200	208.1	8.1	1.23
<b>Densidad Promedio</b>					1.32

**Fuente:** Autor

**Tabla 2. 11** Densidad de la fibra de cabuya

<b>Densidad de la fibra de Cabuya</b>					
<b>Muestra</b>	<b>Masa (gr)</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>			<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
		<b>Inicial</b>	<b>Final</b>	<b>Diferencia</b>	
<b>1</b>	5.4	80	84	4	1.35
<b>2</b>	5.6	80	84.3	4.3	1.30
<b>3</b>	5.2	80	83.8	3.8	1.36
<b>Densidad Promedio</b>					1.33

**Fuente:** Autor

**Tabla 2. 12** Densidad de la fibra de Vidrio

<b>Densidad de la fibra de Vidrio</b>					
<b>Muestra</b>	<b>Masa (gr)</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>			<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
		<b>Inicial</b>	<b>Final</b>	<b>Diferencia</b>	
<b>1</b>	7.8	80	83	3	2.6
<b>2</b>	8	80	83.5	3.5	2.28
<b>3</b>	8.3	80	83.3	3.3	2.51
<b>Densidad Promedio</b>					2.46

**Fuente:** Autor

### 2.7.1.2 Densidad de la Matriz Poliéster

La matriz de resina poliéster, también es necesario calcular la densidad para realizar los cálculos de las fracciones volumétricas que intervienen en el material híbrido que se está desarrollando en esta investigación.

**Tabla 2. 13** Densidad de la Resina Poliéster.

<b>Densidad de la Resina Poliéster</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Masa(gr)</b>	<b>Volumen</b>	<b>Densidad</b>
1	21.7	20	1.085
2	20.9	20	1.045
3	21.3	20	1.065
<b>Promedio</b>			<b>1.1</b>

**Fuente:** Autor

**Tabla 2. 14** Densidad de los materiales.

<b>Densidad de los materiales</b>	
<b>Material</b>	<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
Fibra de Abacá	1.32
Fibra de Cabuya	1.33
Fibra de Vidrio	2.46
Resina Poliéster	1.1

**Fuente:** Autor

En la tabla 2.14 se muestran el resumen de los diferentes materiales que se utilizarán en la investigación. Estas densidades se utilizaron para determinar la cantidad de cada uno de estos en las 150 probetas que se realizaron.

### 2.7.2 Estratificación de las Probetas

Mediante la investigación realizada, la mejor configuración para la elaboración de un material híbrido es de un 70% referente a la Matriz (Resina Poliéster), mientras que, en el refuerzo es considerada del 30 % (Fibras Naturales y Sintéticas), con esto se cumple un compuesto del 100% en materiales que lo conforman, [30].

Se pueden observar en la figura 2.4 el diagrama de pastel que el 70% ocupa la mayor parte del compuesto a diferencia del refuerzo que solo ocupa un área del 30%.

**Conformación del Material Híbrido**



**Figura 2. 4** Conformación del Material Híbrido

**Fuente:** Autor

### 2.7.2.1 Cálculo de fracción Volumétrica

Dentro del cálculo de las fracciones volumétricas está relacionados directamente con la masa y el volumen y la densidad, además, se aplica la regla de las mezclas en materiales compuestos con fibras.

En este caso la densidad del compuesto se relaciona con la fracción volumétrica de cada componente que lo conforma.

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad (\text{Ec. 11})$$

$$f_m = 1 - f_f \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

$\rho_c$ : Densidad del Compuesto

$f_m \rho_m + f_f \rho_f$ : Fracción volumétrica de cada componente ( $m$ : Matriz y  $f$ : Fibra)

### 2.7.2.2 Determinación de la densidad teórica del compuesto

Los datos se toman de la tabla 2.13 donde se indican las densidades calculadas

Densidad de los materiales	
Material	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
Fibra de Abacá	1.32
Fibra de Cabuya	1.33
Fibra de Vidrio	2.46
Resina Poliéster	1.1

✚ Densidad promedio del Refuerzo:

$$\rho_c = 1.7 \text{ g/cm}^3$$

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

$$\rho_c = (1 - f_f) \rho_m + f_f \rho_f$$

$$\rho_c = (1 - 0.3)1.1 \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right) + 0.3 * 1.7 \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right)$$

$$\rho_c = 1.28 \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right)$$

La densidad del compuesto es de  $1.28 \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right)$  considerando que este valor es teórico.

### 2.7.2.3 Tratamientos para (DOE - Mezclas)

**Tabla 2. 15** Tratamientos DOE Mezclas

 <b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b> 				
Variables del Diseño				
Componentes =3	Fibra de Abacá: FA	Fibra de Cabuya: FC	Fibra de Vidrio: FV	
Número de Orden Estadístico: 3 retículos			Puntos del diseño: 10	
# de Corrida	FV	FA	FC	Orden de las fibras
1,00	0,33	0,67	0,00	FV+FA
2,00	1,00	0,00	0,00	FV
3,00	0,33	0,33	0,33	FV+FA+FC
4,00	0,67	0,33	0,00	FV+FA
5,00	0,33	0,00	0,67	FV+FC
6,00	0,00	1,00	0,00	FA
7,00	0,67	0,00	0,33	FV+FC
8,00	0,00	0,00	1,00	FC
9,00	0,00	0,33	0,67	FA+FC
10,00	0,00	0,67	0,33	FA+FC

**Fuente:** Autor

En la tabla 2.15 se puede apreciar el tratamiento realizado para las tres fibras con 3 retículos, lo que genera 10 combinaciones para la investigación planteada.

**Tabla 2. 16** Tratamientos DOE - Mezclas

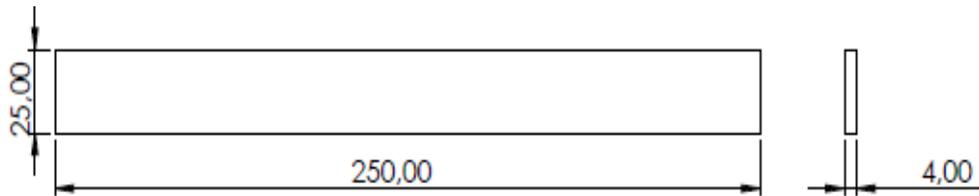
VALORES EN TÉRMINOS DEL 30%		
FV	FA	FC
10,00	20,00	0,00
30,00	0,00	0,00
10,00	10,00	10,00
20,00	10,00	0,00
10,00	0,00	20,00
0,00	30,00	0,00
20,00	0,00	10,00
0,00	0,00	30,00
0,00	10,00	20,00
0,00	20,00	10,00

**Fuente:** Autor

En la tabla 2.16 se puede observar la transformación de los porcentajes del 100% en un 30% para las fibras que son las variables que se van a manipular en el software Minitab.

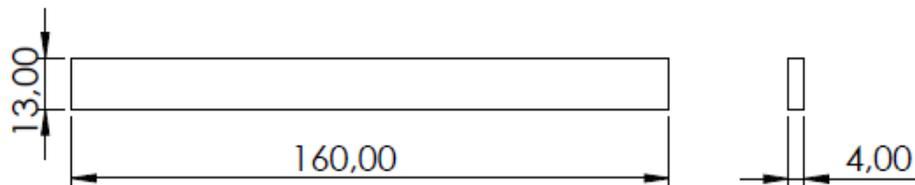
#### 2.7.2.4 Determinación de volumen de las Probetas

A) *Probetas a Tracción, Flexión e Impacto*



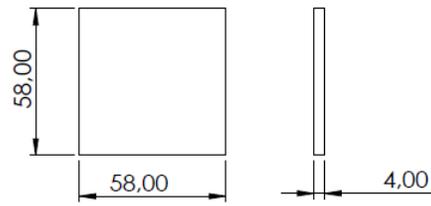
**Figura 2. 5** Diseño de la probeta a tracción (Dimensiones en mm)

**Fuente:** Autor

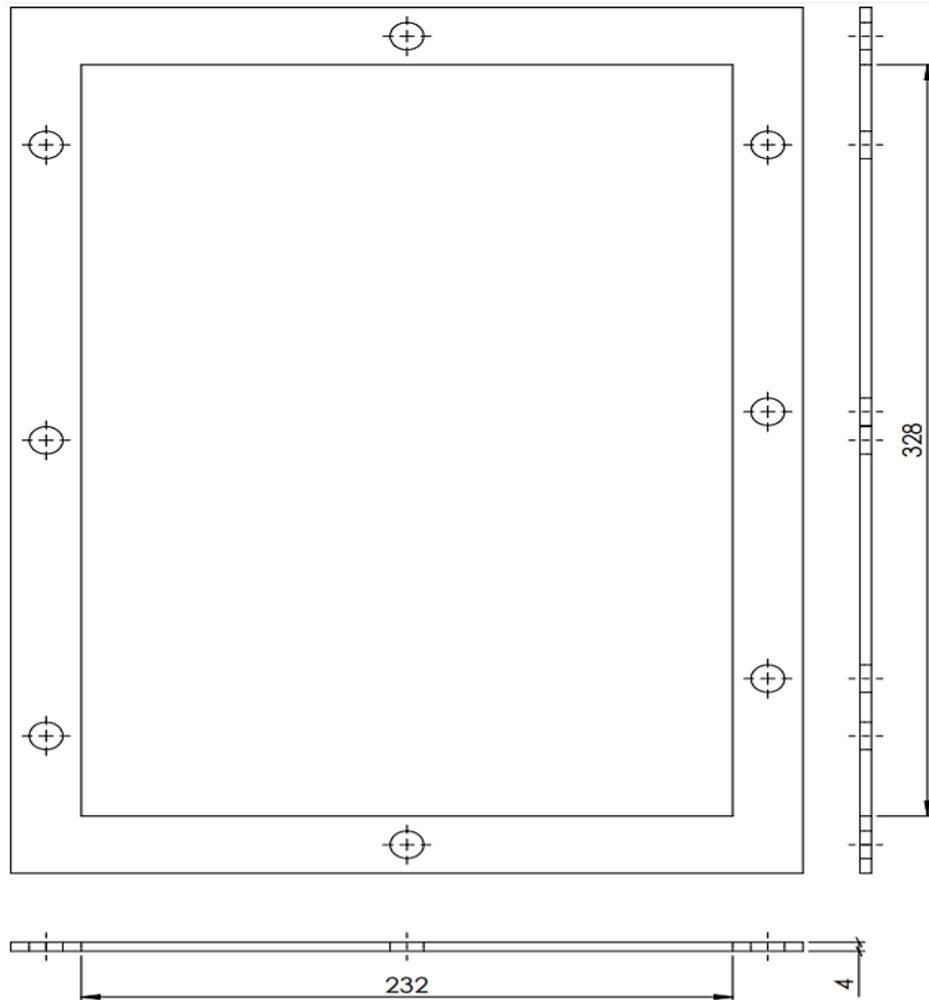


**Figura 2. 6** Diseño de la probeta a flexión (Dimensiones en mm)

**Fuente:** Autor



**Figura 2. 7** Diseño de la probeta a Impacto (Dimensiones en mm)  
**Fuente:** Autor



**Figura 2. 8** Diseño del molde (Dimensiones en mm)  
**Fuente:** Autor

*Dimensiones del molde:*

- ✚  $l$ : Largo = 328 mm
- ✚  $a$ : Ancho = 232 mm
- ✚  $e$ : Espesor = 4mm

Volumen total del molde

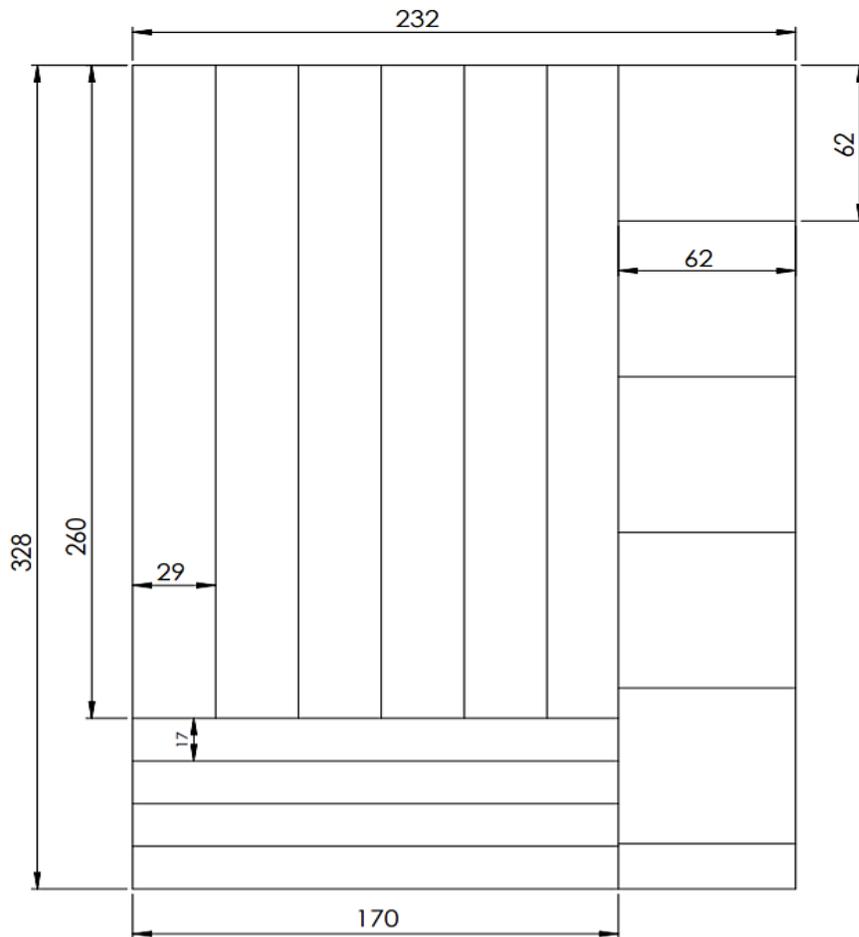
$$Vt = l * a * e \text{ (mm}^3\text{)}$$

$$Vt = 328 * 232 * 4 \text{ (mm}^3\text{)}$$

$$Vt = 304384 \text{ (mm}^3\text{)}$$

$$Vt = 304.4 \text{ (cm}^3\text{)}$$

Según las normas ASTM D 3039/ D 3039 M-00 para ensayos a Tracción, la norma ASTM D 7264 M – 07 para ensayos de Flexión y la norma ASTM 5628 - 96 (Geometría FE) para ensayos de Impacto, estipula que se realicen mínimo 5 especímenes para realizar los diferentes ensayos ya mencionados.

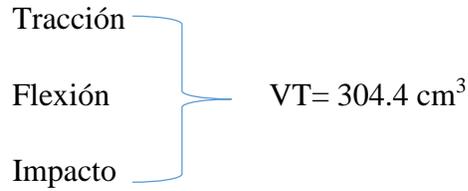


**Figura 2. 9** Trazado y corte de las probetas (Dimensiones en mm)

**Fuente:** Autor

### 2.7.2.5 Cálculo de masa (Fibra de Vidrio, Abacá y Cabuya)

Volumen Total del molde



Se realiza un cálculo referencial para un tratamiento y se elaborará una tabla con todos los tratamientos calculados.

Tratamiento	Matriz	FV	FA	FC	Total, del compuesto
1	70%	20%	0%	10%	100%

#### Datos

Vol: 304.4 cm<sup>3</sup>

A) Matriz	B) Refuerzo
100 % ==> 304.4 cm <sup>3</sup> 70% ==> <b>x =213.08 cm<sup>3</sup></b>	100 % ==> 304.4 cm <sup>3</sup> 30% ==> <b>x =91.32 cm<sup>3</sup></b>
<b>Volumen de la Fibra de Vidrio (FV) 20%</b>	
30 % ==> 91.32 cm <sup>3</sup> 20% ==> <b>x =60.9 cm<sup>3</sup></b>	
<b>Densidad FV</b>	
$\rho = \frac{m}{V}$ $m = \rho * V$	

$m = 2.46 \frac{gr}{cm^3} * 60.9cm^3$ $m = 149.8 gr$	
<b>Volumen de la Fibra de Cabuya (FC) 10%</b>	
30 % ==> 91.32 cm <sup>3</sup>	
10% ==> <b>x =30.4 cm<sup>3</sup></b>	
<b>Densidad FV</b>	
$\rho = \frac{m}{V}$ $m = \rho * V$ $m = 1.3 \frac{gr}{cm^3} * 30.4 cm^3$ $m = 39.5 gr$	
FV 20%	FC 10%
$m = 61.5 gr$	$m = 39.5 gr$

El Factor de Mayoración se establece de 2 para mantener a toda la fibra dentro del molde, caso contrario se esponja el refuerzo al tratarse de una fibra corta de 15 mm de longitud.

FV 20%	FC 10%
$m = 30.8gr$	$m = 19.75 gr$

**Tabla 2. 17** Masa de los Tratamientos a Tracción, Flexión e Impacto

		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b>			
<b>Variables del Diseño</b>					
Fibra de Abacá: FV		Fibra de Cabuya: FA		Fibra de Vidrio: FC	
<b>TRACCIÓN-FLEXIÓN- IMPACTO</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Material	Volumen	304,4 cm <sup>3</sup>	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Masa (gr)
	Resina Poliéster	0,7	213,1		

#	Refuerzo	0,3	91,3		
<b>1</b>	FV	20%	60,88	2,46	74,88
	FA	0%	0,00	1,31	0,00
	FC	10%	30,44	1,32	20,09
<b>2</b>	FV	0%	0,00	2,46	0,00
	FA	0%	0,00	1,31	0,00
	FC	30%	91,32	1,32	60,27
<b>3</b>	FV	10%	30,44	2,46	37,44
	FA	10%	30,44	1,31	19,94
	FC	10%	30,44	1,32	20,09
<b>4</b>	FV	10%	30,44	2,46	37,44
	FA	0%	0,00	1,31	0,00
	FC	20%	60,88	1,32	40,18
<b>5</b>	FV	0%	0,00	2,46	0,00
	FA	20%	60,88	1,31	39,88
	FC	10%	30,44	1,32	20,09
<b>6</b>	FV	30%	91,32	2,46	112,32
	FA	0%	0,00	1,31	0,00
	FC	0%	0,00	1,32	0,00
<b>7</b>	FV	0%	0,00	2,46	0,00
	FA	10%	30,44	1,31	19,94
	FC	20%	60,88	1,32	40,18
<b>8</b>	FV	20%	60,88	2,46	74,88
	FA	0%	0,00	1,31	0,00
	FC	10%	30,44	1,32	20,09
<b>9</b>	FV	10%	30,44	2,46	37,44
	FA	20%	60,88	1,31	39,88
	FC	0%	0,00	1,32	0,00
<b>10</b>	FV	20%	60,88	2,46	74,88
	FA	10%	30,44	1,31	19,94
	FC	0%	0,00	1,32	0,00

**Fuente:** Autor

En la tabla 2.20 se estable las masas totales de cada fibra que se va a utilizar, además se incluye el total de la resina poliéster.

**Tabla 2. 18** Valores totales de los materiales

<b>VOLUMEN TOTAL DE RESINA POLIÉSTER</b>	
<b>Tracción</b>	<b>213.08 cm<sup>3</sup></b>
<b>Flexión</b>	
<b>Impacto</b>	
<b>FIBRA TOTAL (gr)</b>	
<b>FV</b>	449,3
<b>FA</b>	140.6
<b>FC</b>	222,7
<b>TOTAL</b>	812.6

**Fuente:** Autor

### 2.7.2.6 Elaboración de las probetas

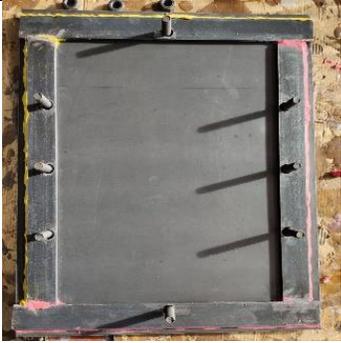
#### a. Corte de las fibras

<b>Descripción</b>	<b>Material</b>	<b>Corte a 15 mm de longitud</b>
Fibra de Vidrio Tipo E		

Fibra de Abacá		
Fibra de Cabuya		

*b. Fabricación de los ejemplares*

Actividad	Descripción	Imagen
Cortado de las fibras (Vidrio, Cabuya y Abacá).	De la materia prima se corta las fibras a 1.5 mm de largo.	
Elaboración de los moldes.	Se cortó, trazó y soldó los materiales para elaborar los moldes de las probetas a ensayar.	

<p>Encerado del molde.</p>	<p>Se aplicó una cera desmoldante (tres veces) para evitar la adherencia del mismo una vez ensamblado el molde.</p>	
<p>Colocación de la plastilina.</p>	<p>Colocar la plastilina alrededor del molde y evitar la salida de la resina.</p>	
<p>Pesar las fibras y medir la resina.</p>	<p>Se realiza esto con el fin de obtener los porcentajes de los tratamientos.</p>	
<p>Mezclar todos los componentes.</p>	<p>Se mezclaron todos los componentes con el fin de obtener un componente homogéneo.</p>	

<p>Mezclar la resina poliéster con el catalizador.</p>	<p>Se mide la resina poliéster para mezclarlo con el porcentaje de catalizador Mek</p>	
<p>Colocación del material en el molde.</p>	<p>De forma distribuida se coloca en el molde el material hasta terminar y después se sella la tapa.</p>	
<p>Desmolde del material híbrido</p>	<p>Pasado un lapso de una hora se procede a desmoldar el material compuesto de forma ligera.</p>	
<p>Trazado del material.</p>	<p>Se procedió a medir las probetas de Tracción Flexión e Impacto</p>	
<p>Corte del material</p>	<p>Con una caladora y una cierra de 1.5 mm de espesor se corta el material trazada.</p>	

<p>Lijado de las probetas</p>	<p>Se lijó las probetas para obtener las medidas correspondientes a las normas de Tracción, Flexión e Impacto.</p>	
<p>Probetas</p>	<p>Las probetas terminadas después del proceso de conformación.</p>	
<p>Cortado de lijas #50</p>	<p>Cortado de las lijas a 50 mm de longitud y 25 mm de ancho.</p>	
<p>Pegado de las lijas #50</p>	<p>Con lo utilización del cemento de contacto se procede al pegado de las lijas en las probetas de Tracción.</p>	

## CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

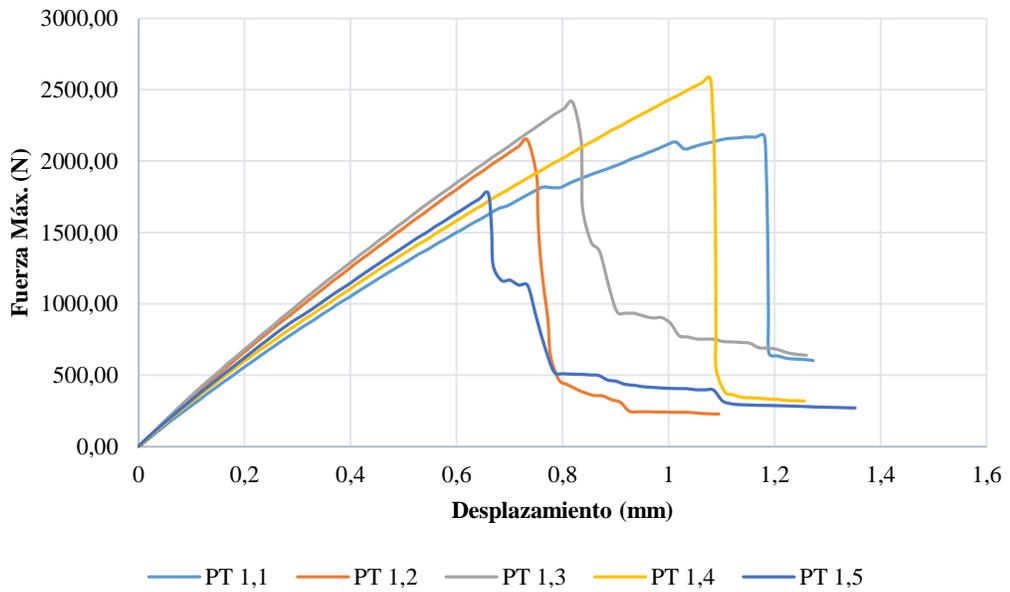
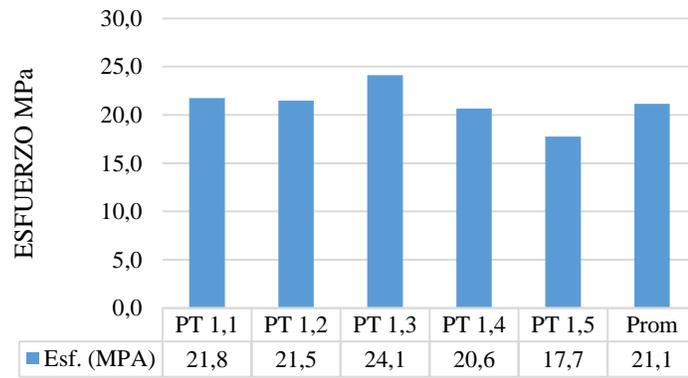
### 3.1 Análisis y Discusión de Resultados

#### 3.1.1 Resultados de los ensayos de Tracción

 <span style="margin: 0 20px;"> <b>Universidad Técnica de Ambato</b>  <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b>  <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b> </span> 					
Datos Técnicos					
<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal Instron 8801 (100 kN)				
<b>Realizado por:</b>	William Chiluitza	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes		
Parámetros de Ensayo					
<b>Tipo de Ensayo:</b>	Tracción	<b>Norma:</b>	ASTM-D3039		
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación:</b>	Compresión		
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (10%-20%-0%)	<b>Curado:</b>	Ambiente		
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg		
<b>Fracción Volumétrica.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10 mm/min		
Resultado					
Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
PT 1.1	2175,9	21,8	2562,761	2,563	LIT
PT 1.2	2147,6	21,5	4066,945	4,067	AGM
PT 1.3	2411,5	24,1	4092,393	4,092	LGM
PT 1.4	2064,5	20,6	2642,399	2,642	AGM
PT 1.5	1774,3	17,7	3738,026	3,738	LGM
Prom.	2114,7	21,1	3420,505	3,421	-
Desv Stan.	229,8	2,3	760,150	0,760	-
Fotografías del Ensayo					



### ESFUERZO DE RUPTURA





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluiza	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Tracción	<b>Norma:</b>	ASTM-D3039
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación:</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (30%-0%-0%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fracción Volum.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo:</b>	10mm/min

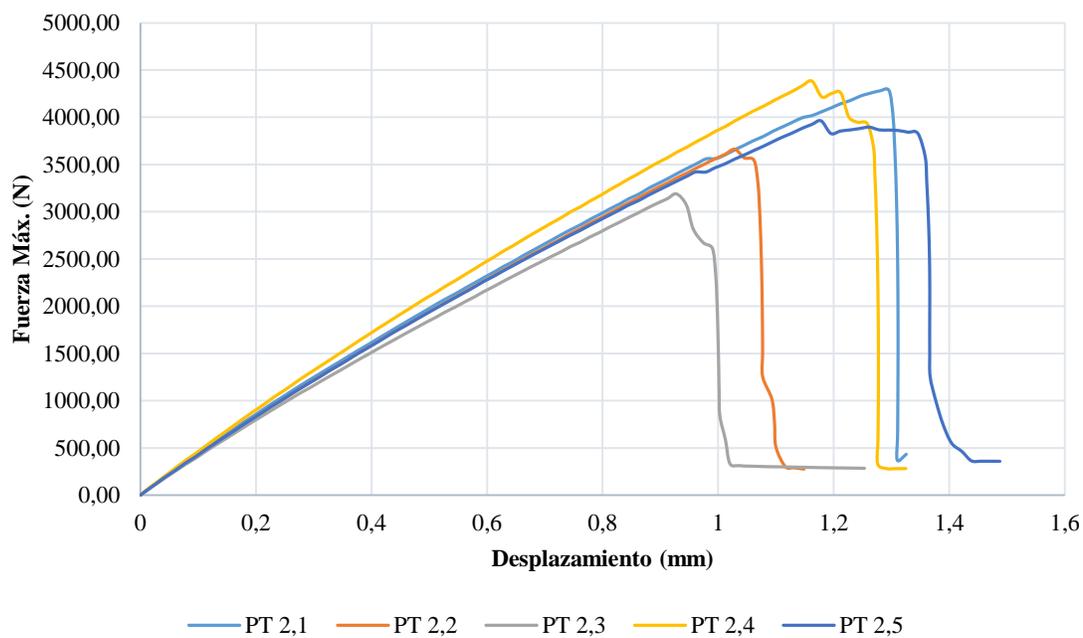
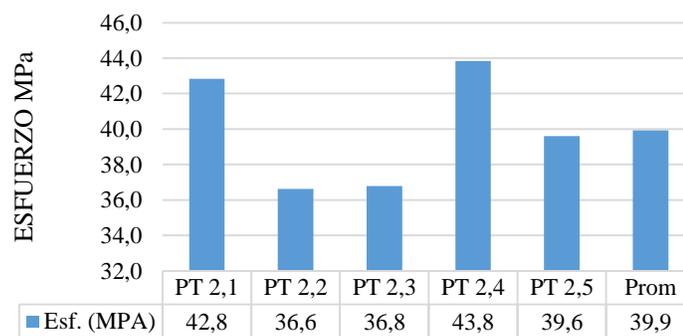
**Resultado**

Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
PT 2.1	4283,0	42,8	4594,745	4,595	LIT
PT 2.2	3661,8	36,6	4946,741	4,947	GAT
PT 2.3	3678,5	36,8	5508,945	5,509	LIT
PT 2.4	4383,1	43,8	5239,990	5,240	LGM
PT 2.5	3960,5	39,6	4671,188	4,671	LIT
Prom.	3993,4	39,9	4992,322	4,992	-
Desv Stan	333,9	3,3	384,549	0,385	-

**Fotografías del Ensayo**



### ESFUERZO DE RUPTURA





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluita	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

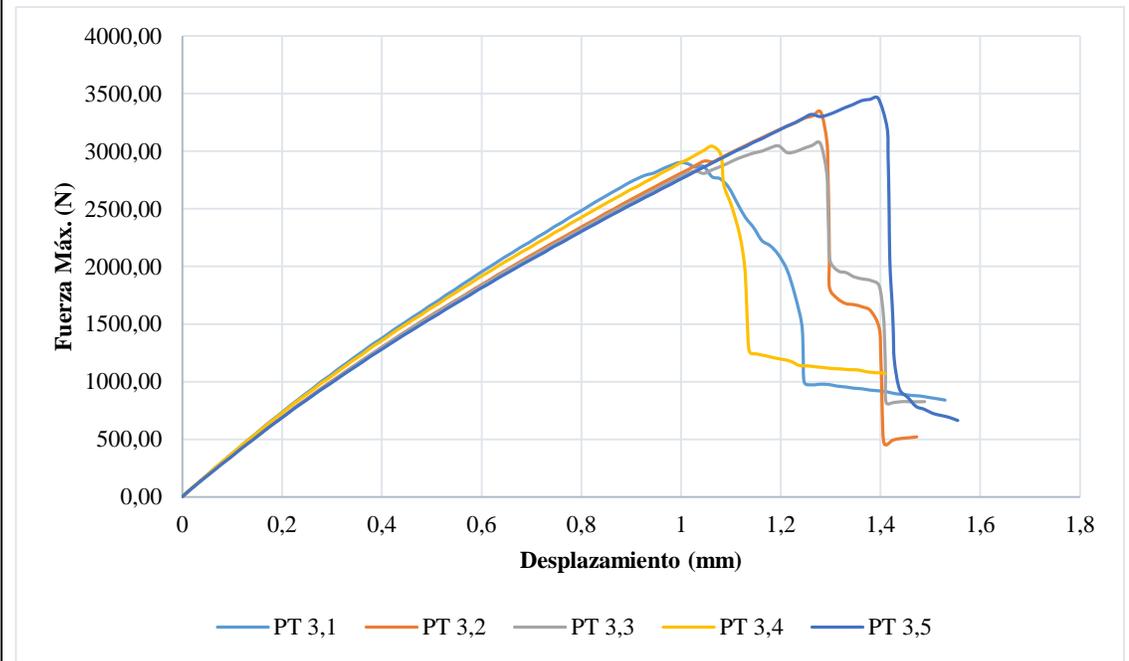
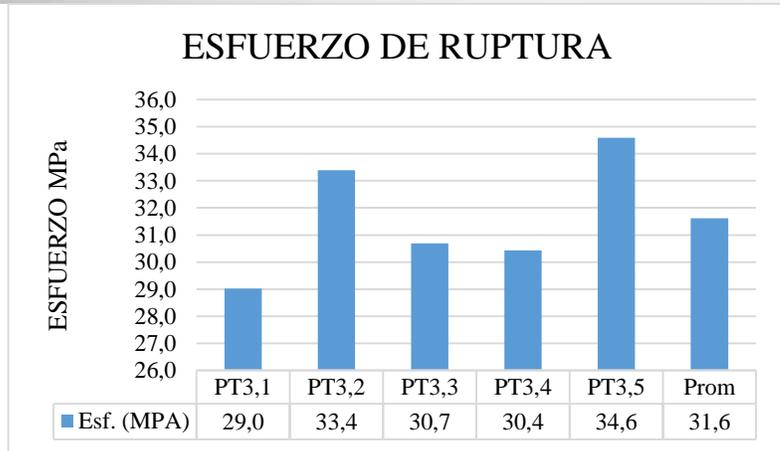
**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Tracción	<b>Norma:</b>	ASTM-D3039
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación:</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (10%-10%-10%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fracción Volum.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min

**Fecha:**

Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
PT 3.1	2901,8	29,0	4050,094	4,050	LGM
PT 3.2	3339,7	33,4	3625,612	3,626	LGM
PT 3.3	3068,4	30,7	3333,624	3,334	LGM
PT 3.4	3043,2	30,4	3981,124	3,981	LIT
PT 3.5	3458,6	34,6	3444,710	3,445	AGM
Prom.	3162,3	31,6	3687,033	3,687	-
Desv Stan	229,2	2,3	318,471	0,318	-

**Fotografías del Ensayo**





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluita	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Tracción	<b>Norma:</b>	ASTM-D3039
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación:</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (20%-10%-0%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fracción Volum.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10 mm/min

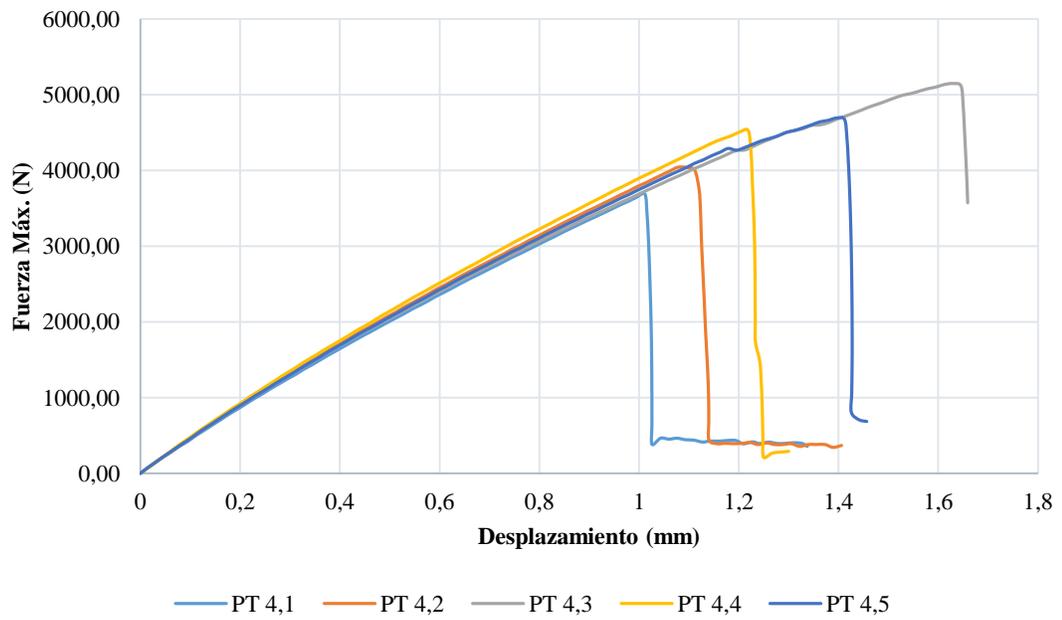
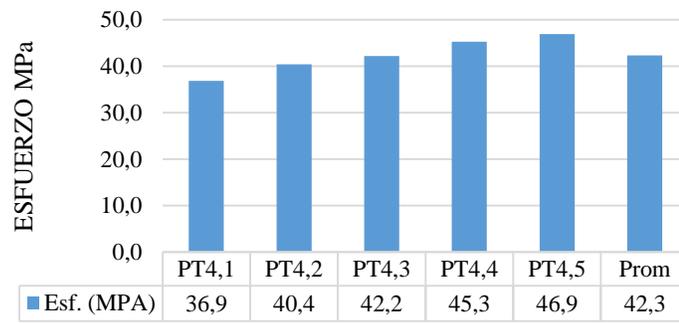
**Resultado**

Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
PT 4.1	3688,4	36,9	5066,984	5,067	LGM
PT 4.2	4042,3	40,4	5210,626	5,211	AGM
PT 4.3	4216,6	42,2	4974,641	4,975	LGM
PT 4.4	4529,0	45,3	5165,681	5,166	LIT
PT 4.5	4691,8	46,9	4672,957	4,673	LGM
Prom.	4233,6	42,3	5018,178	5,018	-
Desv Stan	397,3	4,0	213,453	0,213	-

**Fotografías del Ensayo**



ESFUERZO DE RUPTURA





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluita	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Tracción	<b>Norma:</b>	ASTM-D3039
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación:</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (10%-0%-20%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fracción Volum.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min

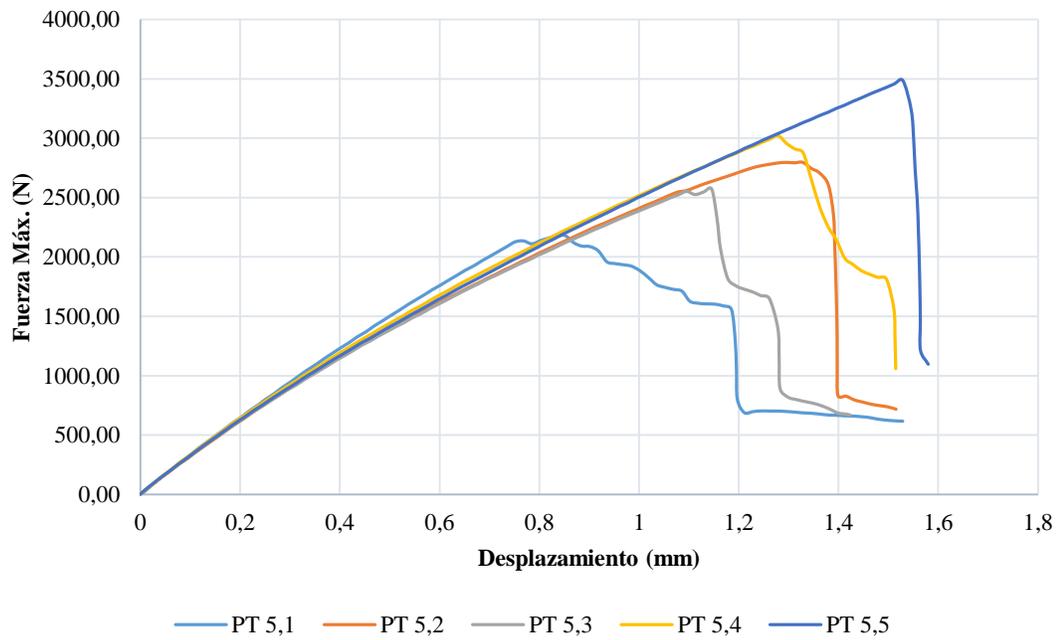
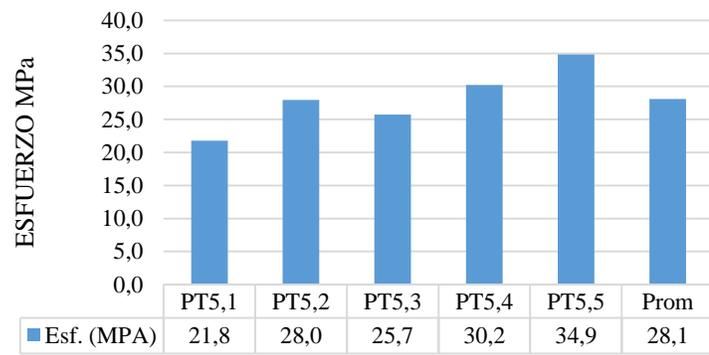
**Resultado**

Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
PT 5.1	2180,0	21,8	3557,484	3,557	AGM
PT 5.2	2796,9	28,0	2926,742	2,927	AWT
PT 5.3	2571,9	25,7	3120,907	3,121	LGM
PT 5.4	3022,5	30,2	3285,152	3,285	LGM
PT 5.5	3485,8	34,9	3168,692	3,169	LIT
Prom.	2811,4	28,1	3211,795	3,212	-
Desv Stan	488,8	4,9	232,517	0,233	-

**Fotografías del Ensayo**



### ESFUERZO DE RUPTURA





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluiza	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Tracción	<b>Norma:</b>	ASTM-D3039
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación:</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (0%-30%-0%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fracción Volum.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min

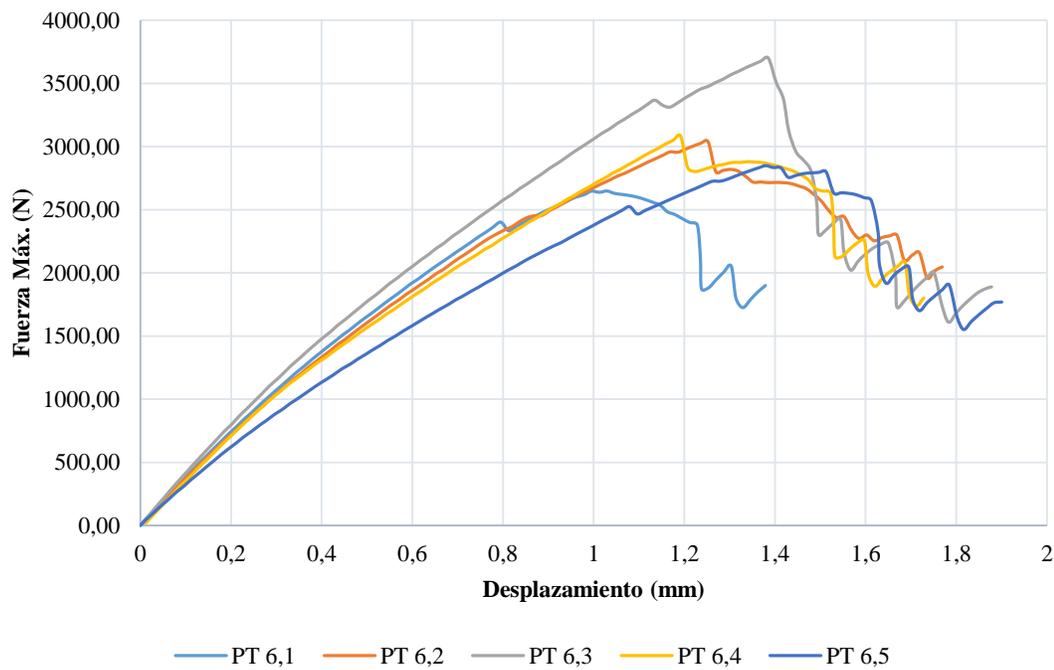
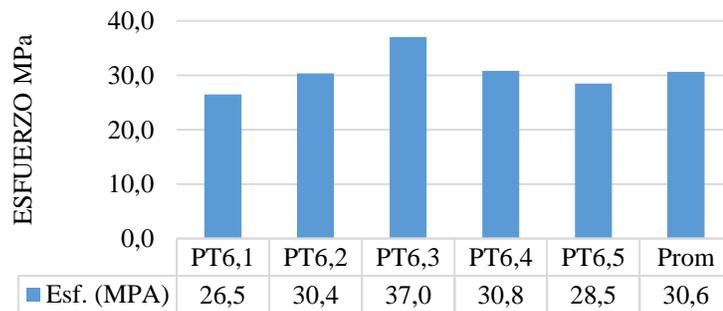
**Resultado**

Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
PT 6.1	2647,7	26,5	3575,679	3,576	LIT
PT 6.2	3039,2	30,4	3373,452	3,373	LMT
PT 6.3	3700,7	37,0	3712,766	3,713	LGM
PT 6.4	3083,7	30,8	3597,012	3,597	LMT
PT 6.5	2849,3	28,5	2870,962	2,871	LGM
Prom.	3064,1	30,6	3425,974	3,426	-
Desv Stan	395,5	4,0	333,434	0,333	-

**Fotografías del Ensayo**



### ESFUERZO DE RUPTURA





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluita	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Tracción	<b>Norma:</b>	ASTM-D3039
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación:</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (20%-0%-10%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fracción Volum.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min

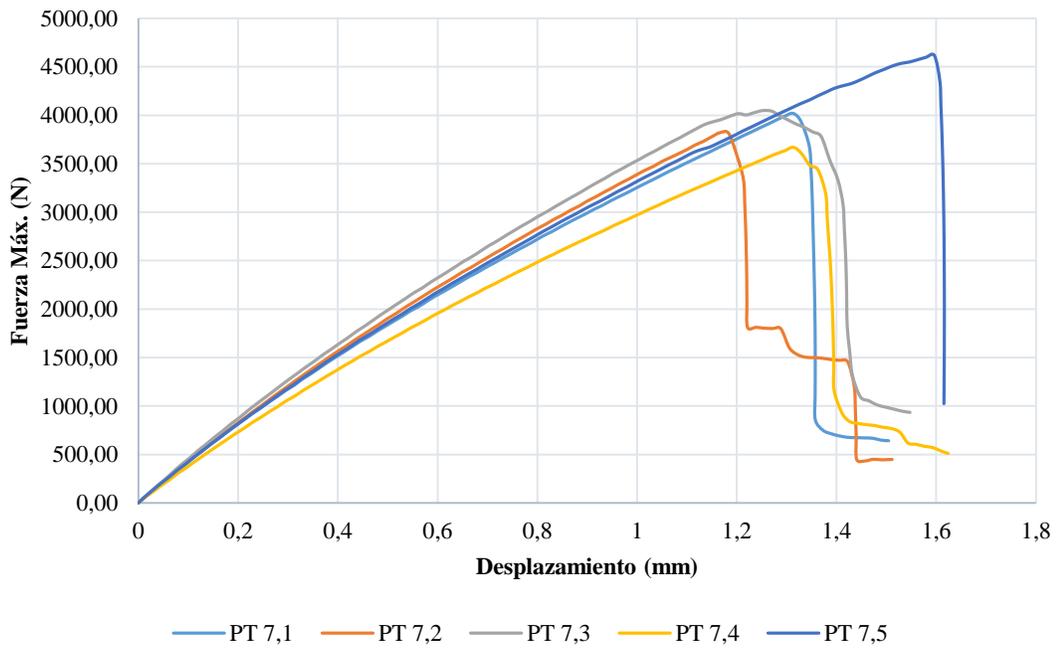
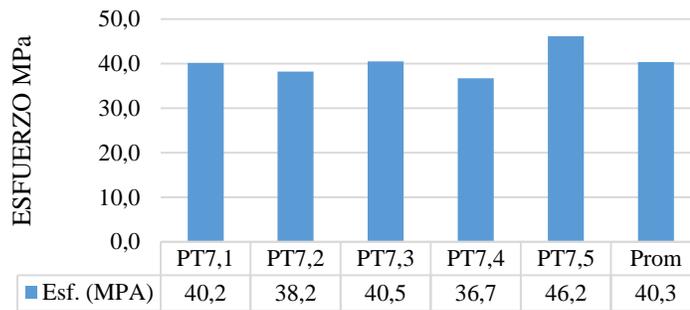
**Resultado**

Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
PT 7.1	4017,3	40,2	4250,998	4,251	LGM
PT 7.2	3821,4	38,2	4554,234	4,554	LIT
PT 7.3	4048,1	40,5	4492,172	4,492	LIT
PT 7.4	3668,2	36,7	3881,376	3,881	LGM
PT 7.5	4616,7	46,2	4020,859	4,021	AGM
Prom.	4034,3	40,3	4239,928	4,239	-
Desv Stan	360,2	3,6	291,1566	0,291	-

**Fotografías del Ensayo**



### ESFUERZO DE RUPTURA





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluita	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Tracción	<b>Norma:</b>	ASTM-D3039
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación:</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (0%-0%-30%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fracción Volum.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo:</b>	10mm/min

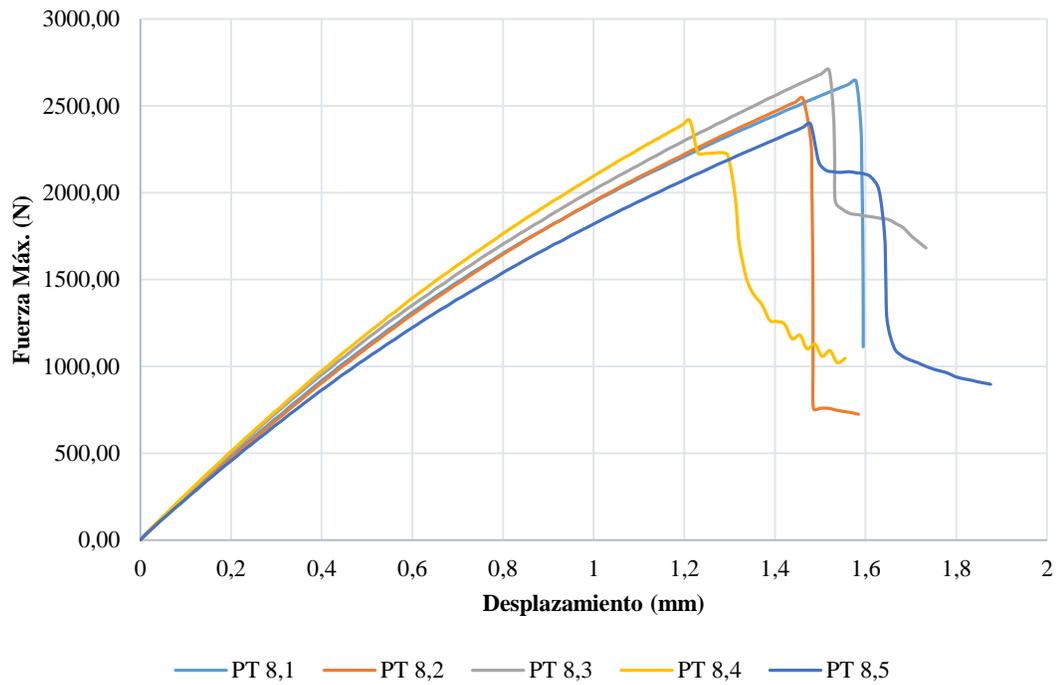
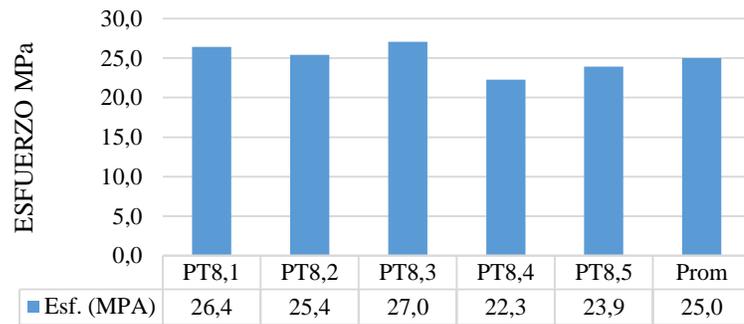
**Resultado**

Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
PT 8.1	2640,2	26,4	2323,964	2,324	LGM
PT 8.2	2540,6	25,4	2415,803	2,416	LIT
PT 8.3	2705,0	27,0	2474,068	2,474	LIT
PT 8.4	2228,2	22,3	2420,125	2,420	LIT
PT 8.5	2392,5	23,9	2248,897	2,249	AGT
Prom.	2501,3	25,0	2376,571	2,377	-
Desv Stan	192,8	1,9	89,457	0,089	-

**Fotografías del Ensayo**



### ESFUERZO DE RUPTURA





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluiza	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Tracción	<b>Norma:</b>	ASTM-D3039
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación:</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (0%-10%-20%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fracción Volum.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min

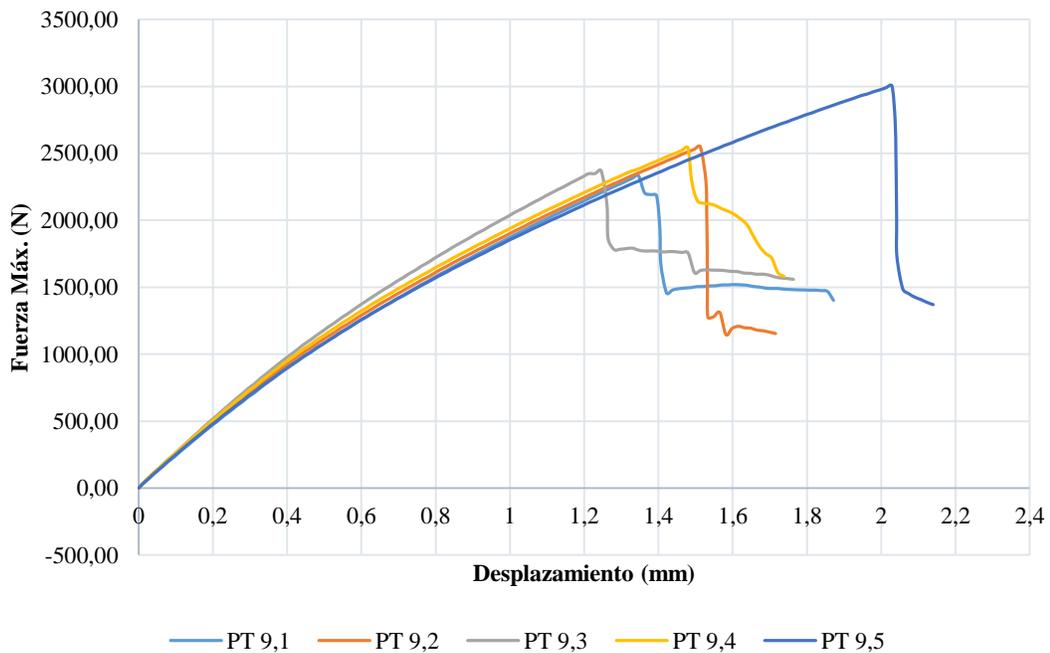
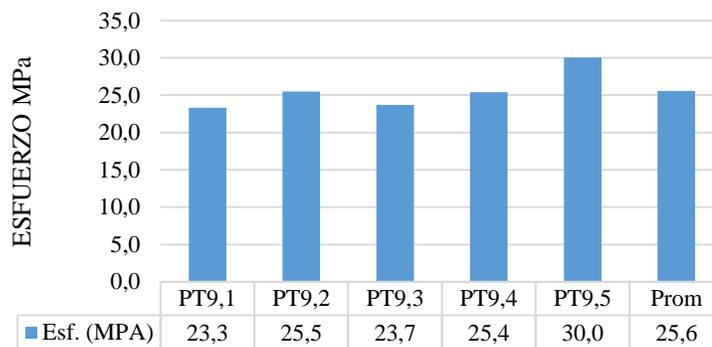
**Resultado**

Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
PT 9.1	2331,6	23,3	2407,363	2,407	AGM
PT 9.2	2549,3	25,5	2342,049	2,342	LIT
PT 9.3	2369,8	23,7	2644,750	2,645	LGM
PT 9.4	2541,8	25,4	2388,430	2,388	LGM
PT 9.5	3003,1	30,0	2057,055	2,057	LIT
Prom.	2559,1	25,6	2367,930	2,368	-
Desv Stan	267,0	2,7	209,713	0,210	-

**Fotografías del Ensayo**



### ESFUERZO DE RUPTURA





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluita	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

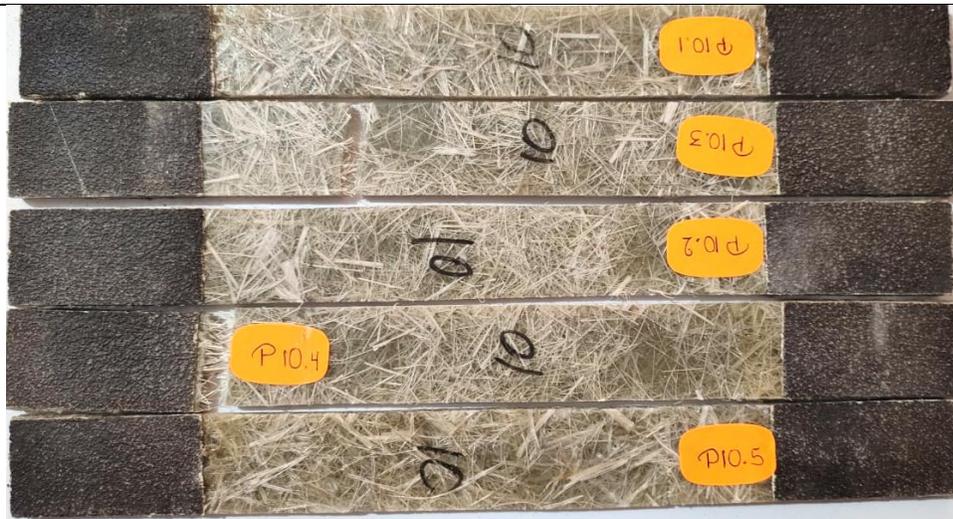
**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Tracción	<b>Norma:</b>	ASTM-D3039
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación:</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (0%-20%-10%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fracción Volum.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min

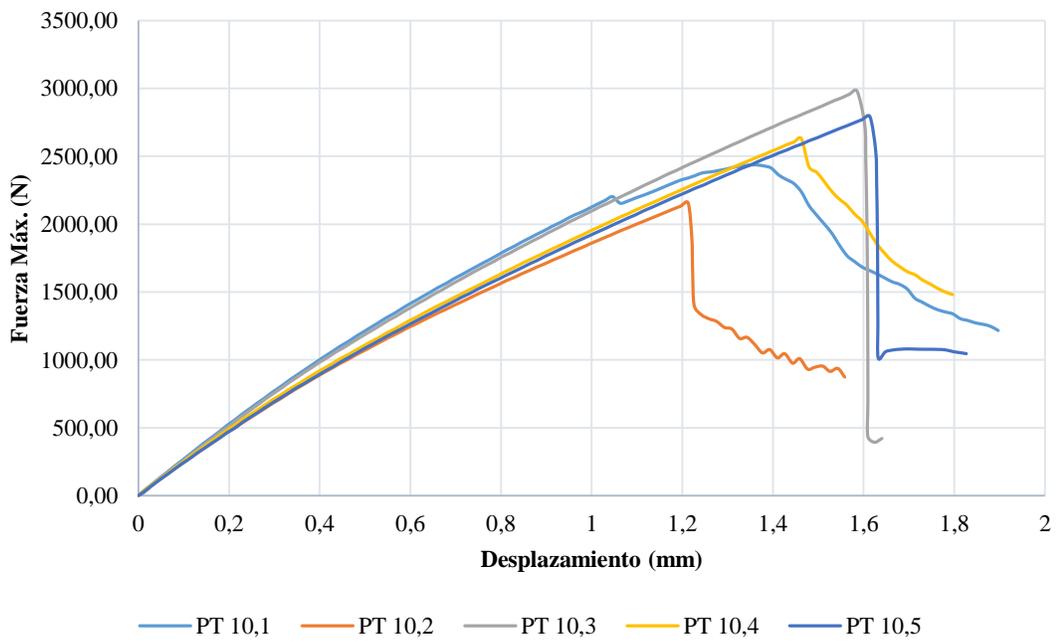
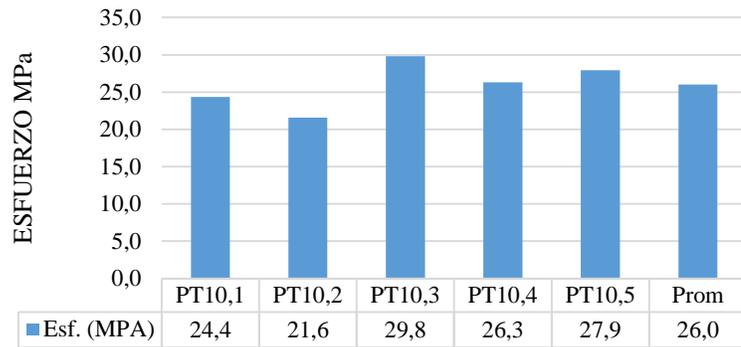
**Resultado**

Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
PT 10.1	2435,9	24,4	2484,727	2,485	LIT
PT 10.2	2157,1	21,6	2472,397	2,472	LIT
PT 10.3	2980,1	29,8	2612,577	2,613	LAT
PT 10.4	2630,9	26,3	249 9,940	2,500	LAT
PT 10.5	2791,4	27,9	2404,059	2,404	LIT
Prom.	2599,1	26,0	2494,740	2,495	-
Desv Stan	318,3	3,2	75,391	0,075	-

**Fotografías del Ensayo**

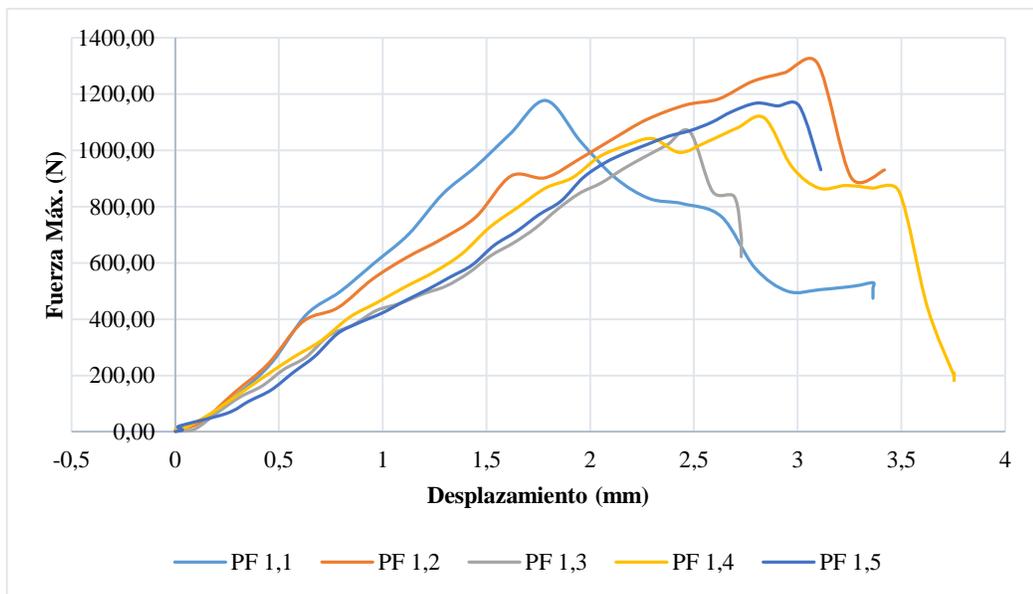
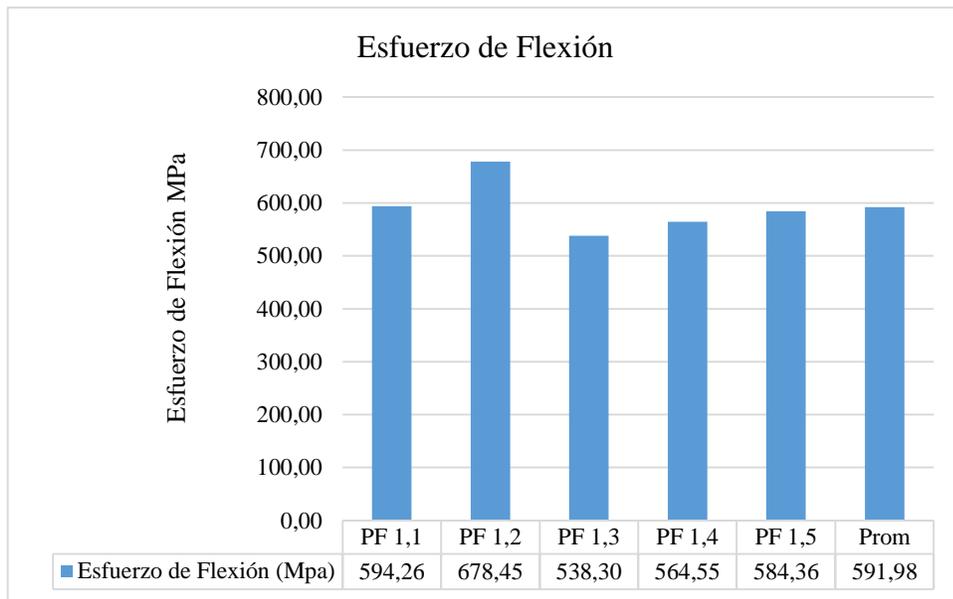


### ESFUERZO DE RUPTURA



### 3.1.2 Resultados de los ensayos de Flexión

 <b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b> 					
Datos Técnicos					
<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)				
<b>Realizado por:</b>	William Chiluiza	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes		
Parámetros de Ensayo					
<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D7264		
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión		
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (10%-20%-0%)	<b>Curado:</b>	Ambiente		
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg		
<b>Fracción Volum.</b>	Resina y Fibras (70%) (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
PF 1.1	1177,20	594,26	6924,85	1,79	OAB
PF 1.2	1343,97	678,45	3108,71	4,43	OAB
PF 1.3	1066,35	538,30	4517,40	2,48	OAL
PF 1.4	1118,34	564,55	4127,68	2,84	OAB
PF 1.5	1157,58	584,36	4077,37	3,01	OAR
Prom.	1172,69	591,98	4551,20	2,908	-
Desv Stan	104,70	52,85	1424,78	0,970	-
Fotografías del Ensayo					





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluita	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

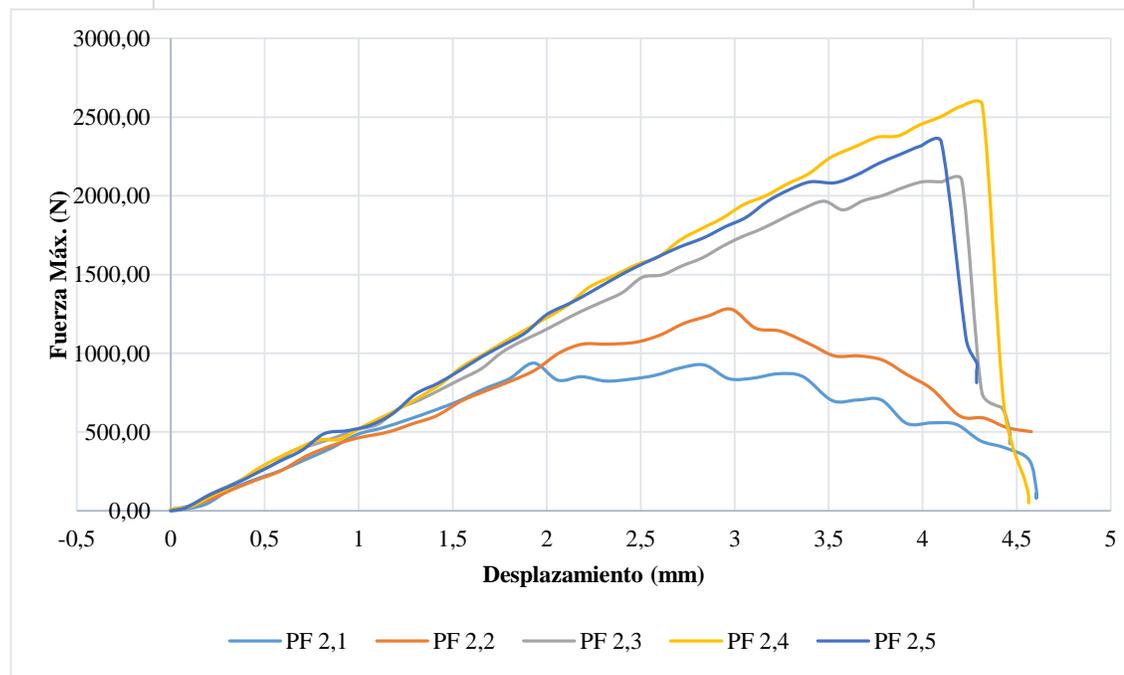
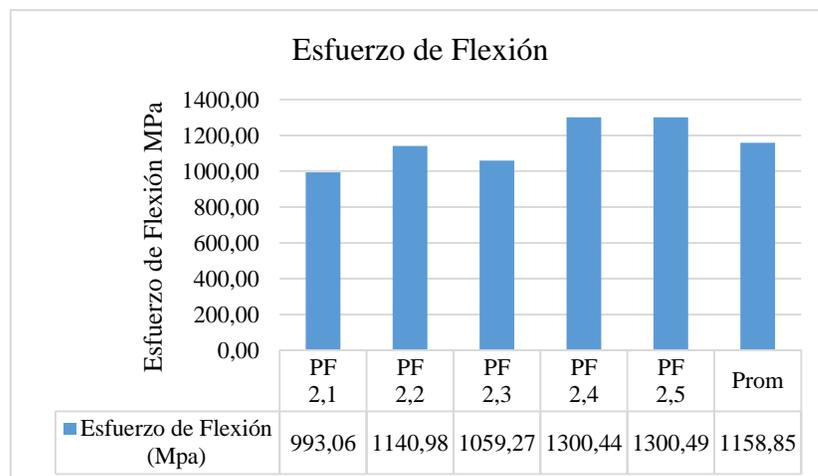
**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D7264
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (30%-0%-0%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fracción Volum.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min

**Resultado**

Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
PF 2.1	1967,20	993,06	2137,39	4,61	OAB
PF 2.2	2260,22	1140,98	3375,10	3,98	OAR
PF 2.3	2098,36	1059,27	5374,35	4,10	OAB
PF 2.4	2576,11	1300,44	6279,55	4,31	OLB
PF 2.5	2576,20	1300,49	5699,84	4,32	OAB
Prom.	2295,62	1158,85	4573,25	4,263	-
Desv Stan	276,33	139,49	1745,81	0,238	-

**Fotografías del Ensayo**





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluiza	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

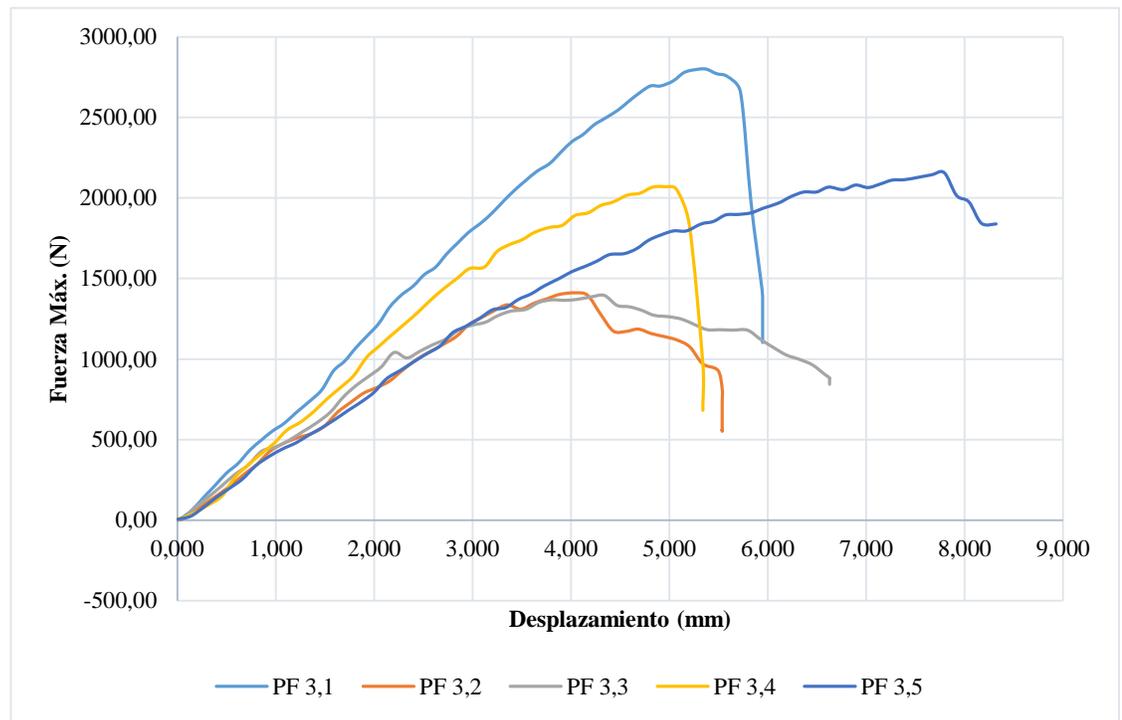
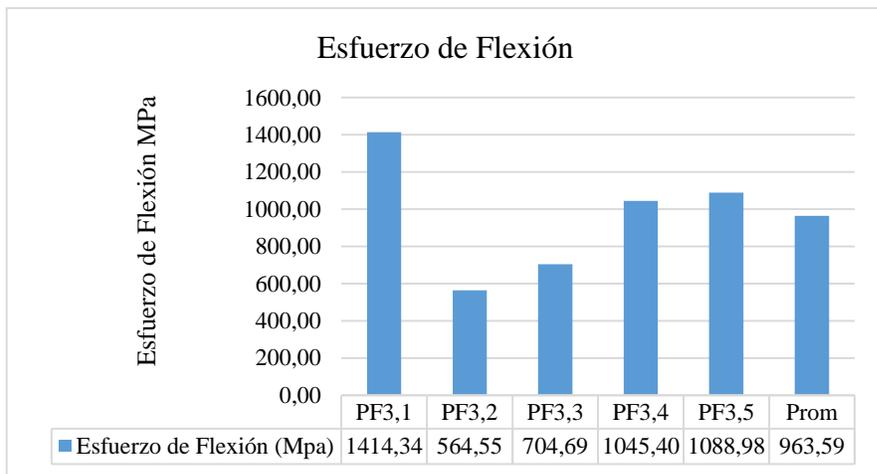
**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D7264
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (10%-10%-10%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fración Volum.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min

**Resultado**

<b>Probeta</b>	<b>Fuerza Máx (N)</b>	<b>Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>	<b>Tipo de Falla</b>
PF 3.1	2801,74	1414,34	5482,46	5,37	OAB
PF 3.2	1118,34	564,55	2920,07	5,08	OAB
PF 3.3	1395,96	704,69	3380,07	4,34	OAB
PF 3.4	2070,89	1045,40	4393,40	4,95	OAB
PF 3.5	2157,22	1088,98	2862,70	7,92	OAB
Prom.	1908,83	963,59	3807,74	5,531	-
Desv Stan	665,80	336,10	1119,34	1,386	-

**Fotografías del Ensayo**





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluita	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D7264
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (20%-10%-0%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fracción Volum.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min

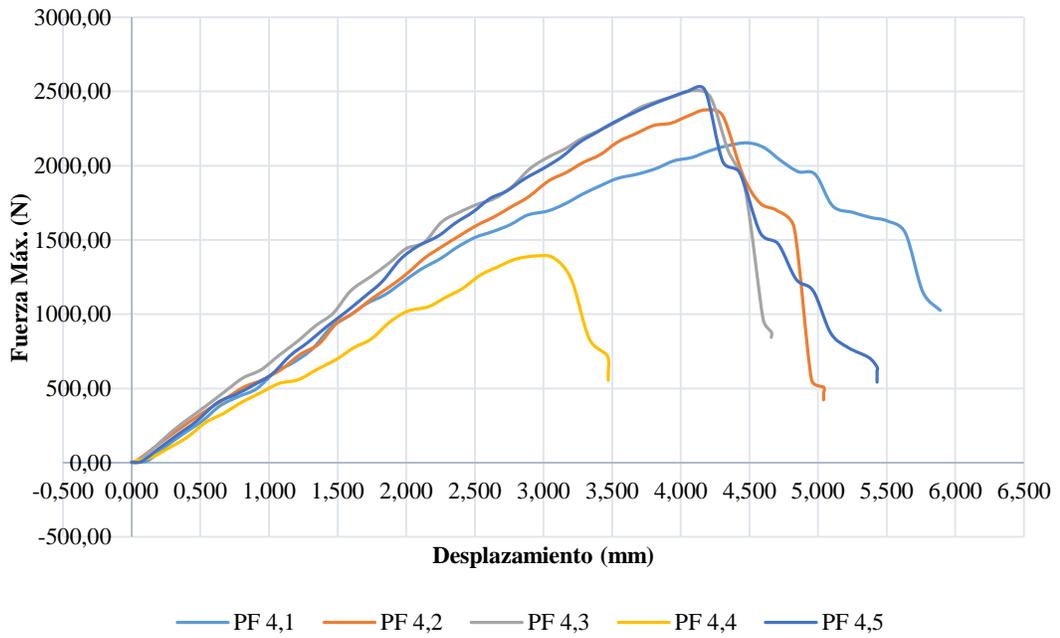
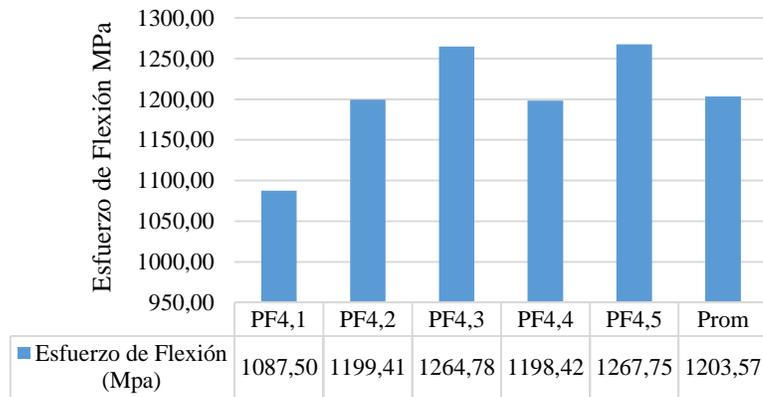
**Resultado**

Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
PF 4.1	2154,28	1087,50	5052,02	4,48	OAB
PF 4.2	2375,98	1199,41	5972,99	4,18	OAB
PF 4.3	2505,47	1264,78	6445,34	4,08	OAB
PF 4.4	2374,02	1198,42	3387,78	4,32	OAB
PF 4.5	2511,36	1267,75	6319,67	4,18	OAB
Prom.	2384,22	1203,57	5435,56	4,248	-
Desv Stan	144,84	73,12	1267,94	0,155	-

**Fotografías del Ensayo**



**Esfuerzo de Flexión**





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluita	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D7264
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (10%-0%-20%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fracción Volum.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min

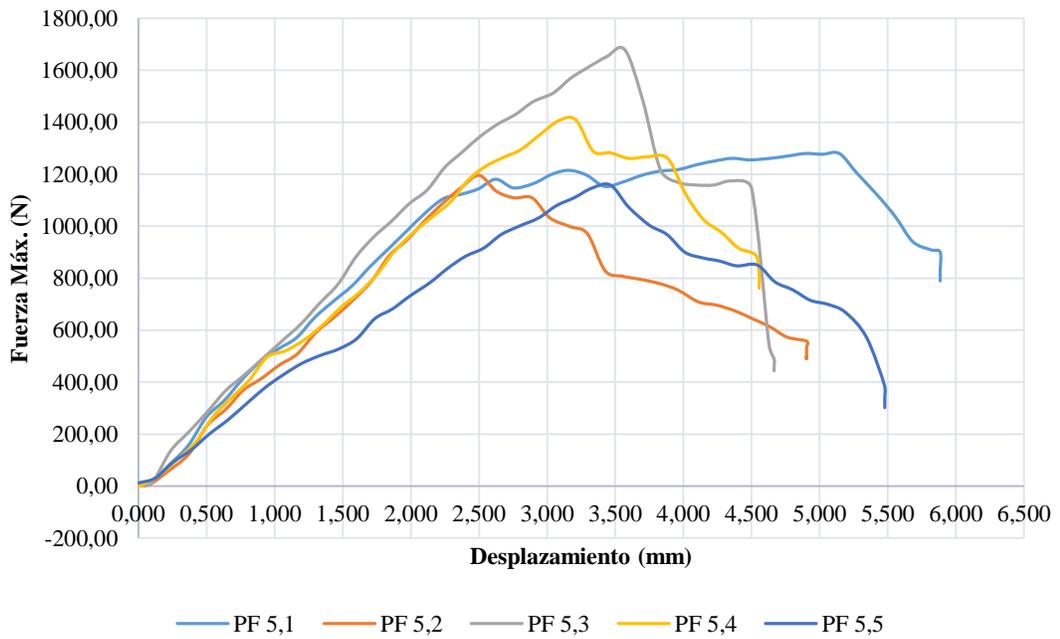
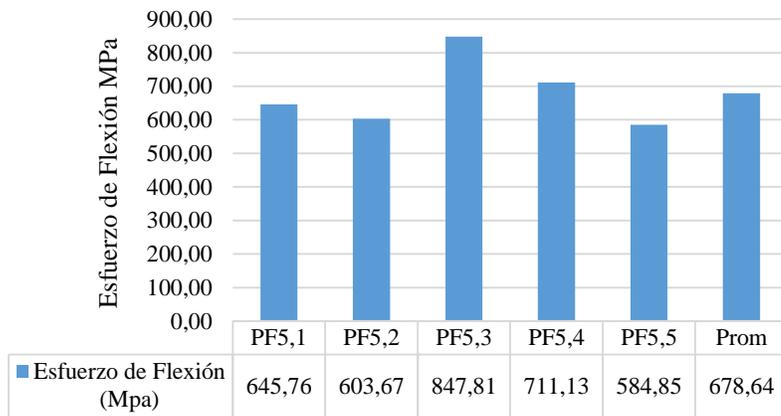
**Resultado**

Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
PF 5.1	1279,22	645,76	2612,69	5,14	OAB
PF 5.2	1195,84	603,67	5005,42	2,51	OAB
PF 5.3	1679,47	847,81	4943,88	3,57	OAB
PF 5.4	1408,72	711,13	4609,19	3,21	OAB
PF 5.5	1158,56	584,85	3513,85	3,46	OAB
Prom.	1344,36	678,64	4137,01	3,580	-
Desv Stan	210,51	106,27	1041,64	0,967	-

**Fotografías del Ensayo**



**Esfuerzo de Flexión**





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluita	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D7264
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (0%-30%-0%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fracción Volum.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min

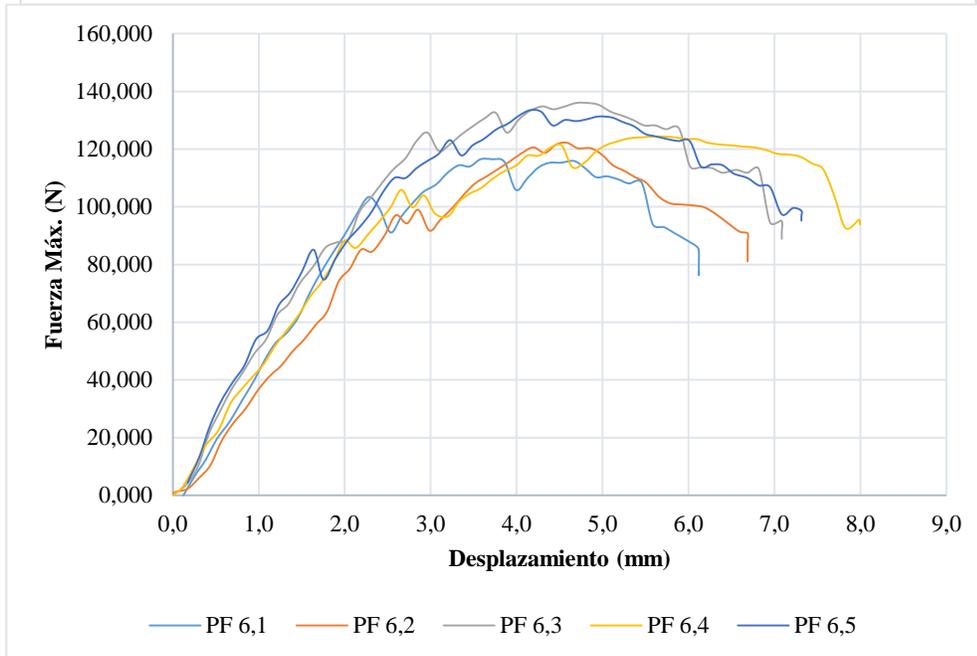
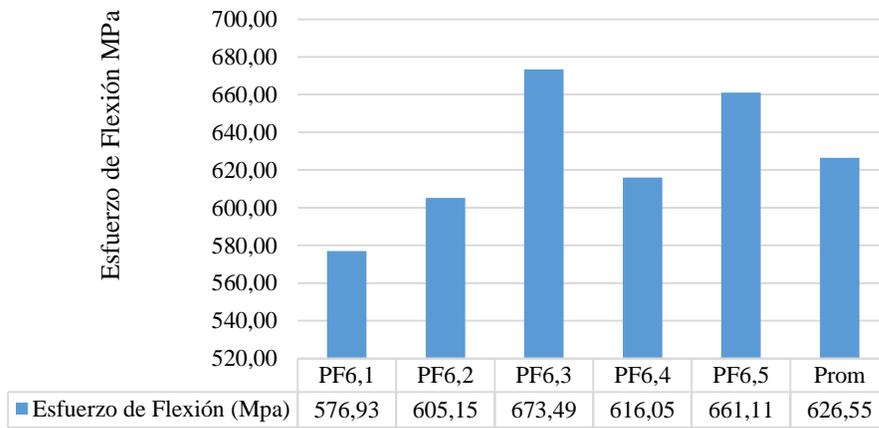
**Resultado**

Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
PF 6.1	1142,87	576,93	3237,10	3,71	OAB
PF 6.2	1198,78	605,15	2746,90	4,59	OAB
PF 6.3	1334,16	673,49	2907,45	4,82	OAB
PF 6.4	1220,36	616,05	2241,48	5,72	OAB
PF 6.5	1309,64	661,11	3309,08	4,16	OAB
Prom.	1241,16	626,55	2888,40	4,599	-
Desv Stan	79,42	40,09	429,38	0,757	-

**Fotografías del Ensayo**



### Esfuerzo de Flexión





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluita	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

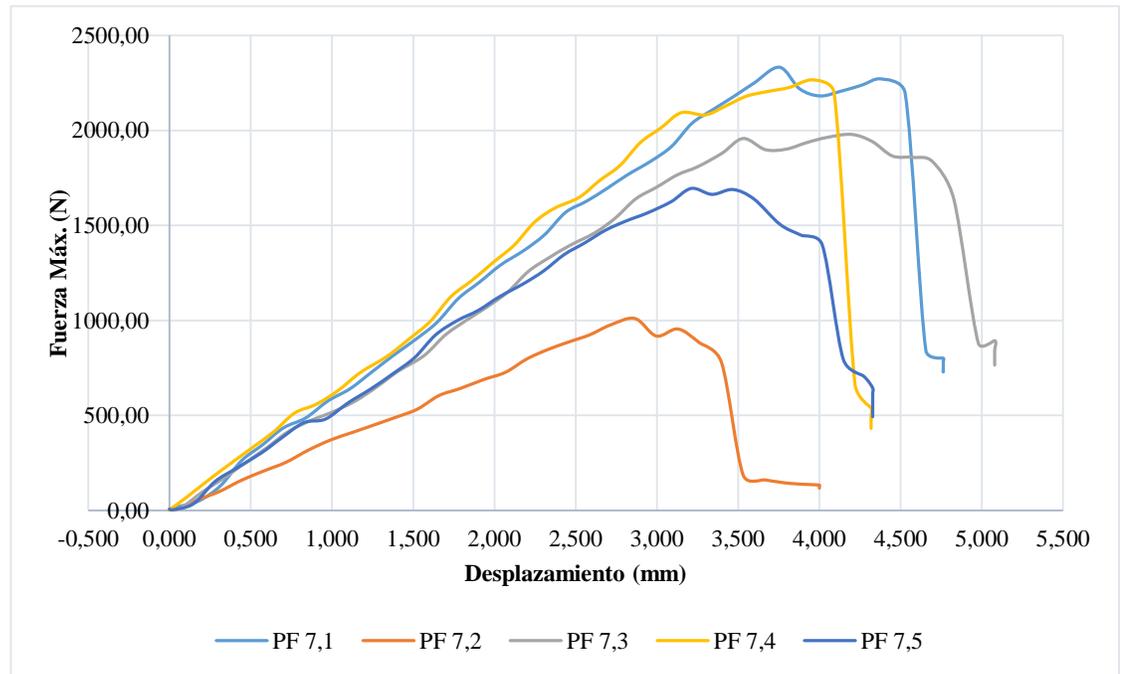
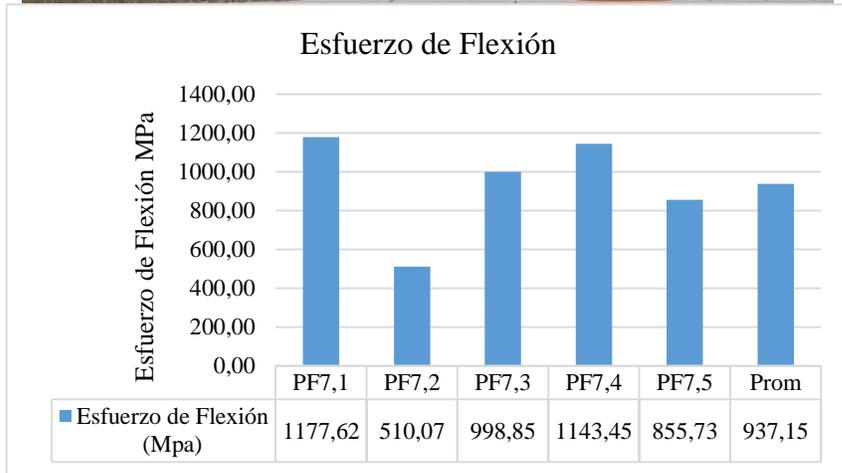
**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D7264
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (20%-0%-10%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fracción Volum.</b>	Resina y Fibras ( 70%) (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min

**Resultado**

Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
PF 7.1	2332,82	1177,62	6526,99	3,76	OAB
PF 7.2	1010,43	510,07	3705,30	2,87	OAB
PF 7.3	1978,68	998,85	4951,93	4,20	OAB
PF 7.4	2265,13	1143,45	6006,48	3,96	OAB
PF 7.5	1695,17	855,73	5544,71	3,21	OAB
Prom.	1856,44	937,15	5347,08	3,598	-
Desv Stan	536,34	270,75	1086,01	0,549	-

**Fotografías del Ensayo**





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluiza	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

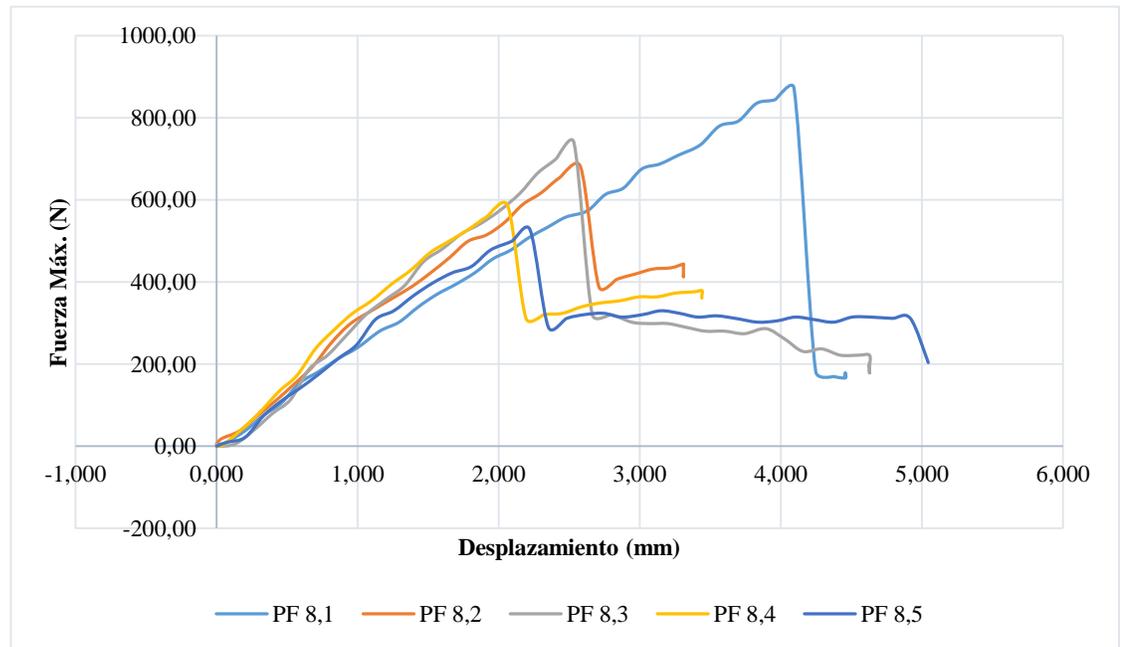
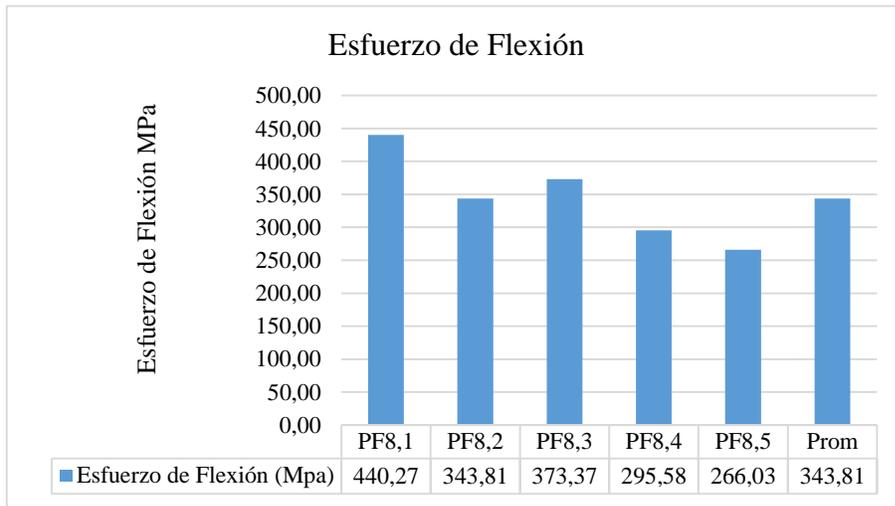
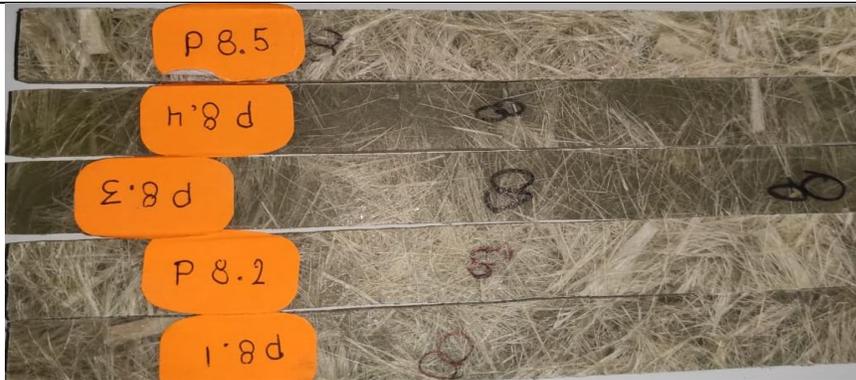
**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D7264
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (0%-0%-30%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fracción Volum.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min

**Resultado**

<b>Probeta</b>	<b>Fuerza Máx (N)</b>	<b>Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>	<b>Tipo de Falla</b>
PF 8.1	872,15	440,27	2238,57	4,09	OAB
PF 8.2	681,08	343,81	2773,56	2,58	OAB
PF 8.3	739,63	373,37	3067,94	2,53	OAB
PF 8.4	585,54	295,58	2980,59	2,06	OAB
PF 8.5	526,99	266,03	2493,98	2,22	OAB
Prom.	681,08	343,81	2710,93	2,698	-
Desv Stan	134,91	68,11	344,34	0,809	-

**Fotografías del Ensayo**





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluiza	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

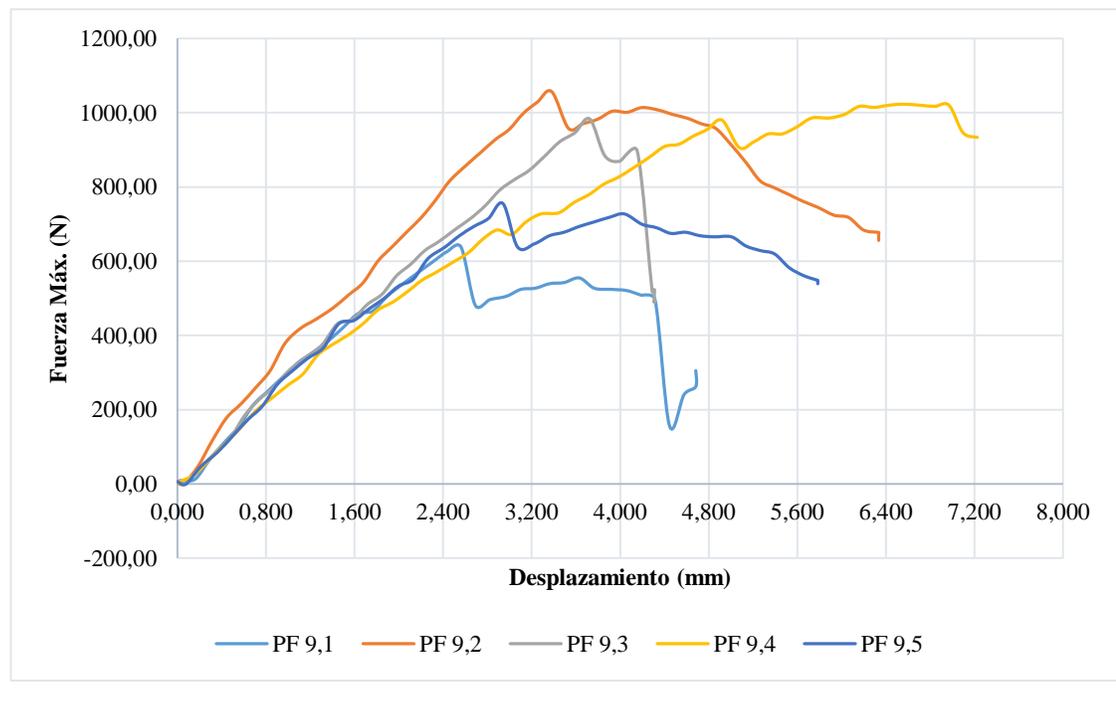
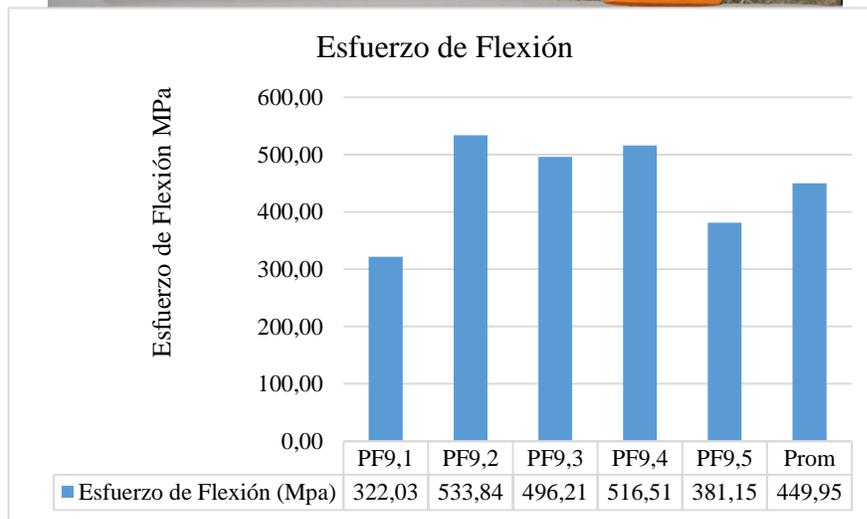
**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D7264
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (0%-10%-20%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fración Volum.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min

**Resultado**

<b>Probeta</b>	<b>Fuerza Máx (N)</b>	<b>Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>	<b>Tipo de Falla</b>
PF 9.1	637,93	322,03	2616,05	2,56	OAB
PF 9.2	1057,52	533,84	3287,10	3,38	OAB
PF 9.3	982,96	496,21	2772,38	3,73	OAB
PF 9.4	1023,18	516,51	1542,06	6,97	OAB
PF 9.5	755,05	381,15	2698,27	2,94	OAB
Prom.	891,33	449,95	2583,17	3,916	-
Desv Stan	184,51	93,14	638,27	1,764	-

**Fotografías del Ensayo**





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**Datos Técnicos**

<b>Fecha:</b>	14/1/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
<b>Máquina:</b>	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
<b>Realizado por:</b>	William Chiluita	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes

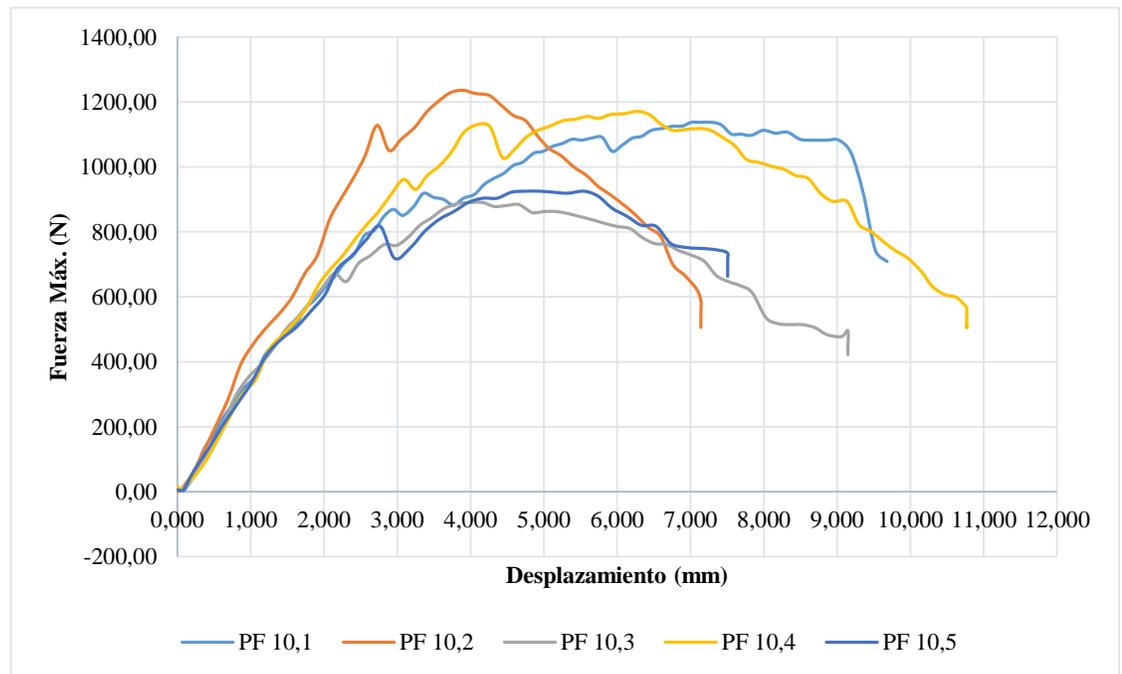
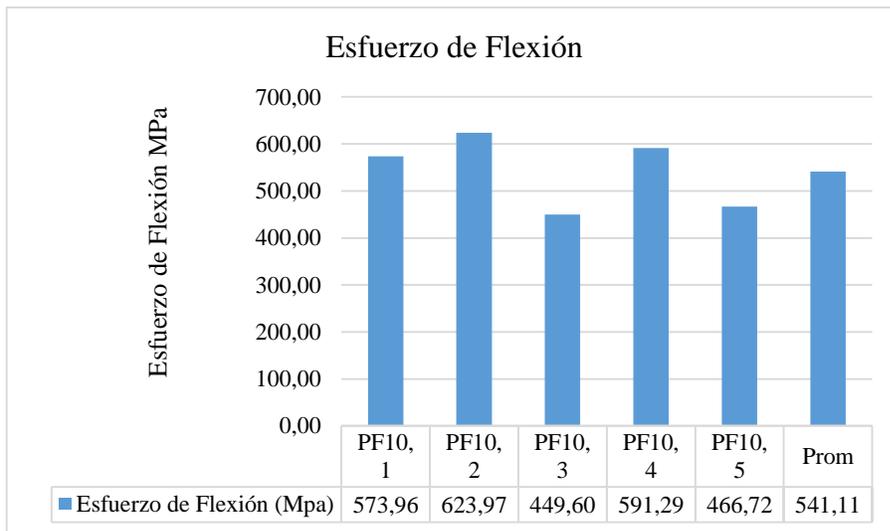
**Parámetros de Ensayo**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D7264
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster	<b>Orientación:</b>	Aleatorio
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (0%-20%-10%)	<b>Curado:</b>	Ambiente
<b>Dimensiones:</b>	250x25 mm	<b>Número de probetas:</b>	5
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg
<b>Fracción Volum.</b>	Res(70%) y Fibras (30%)	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min

**Resultado**

Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
PF 10.1	1136,98	573,96	1672,06	7,14	OAB
PF 10.2	1236,06	623,97	3331,50	3,90	OAB
PF 10.3	890,64	449,60	2282,26	4,10	OAB
PF 10.4	1171,31	591,29	1962,67	6,27	OAB
PF 10.5	924,54	466,72	1750,56	5,55	OAB
Prom.	1071,91	541,11	2199,81	5,392	-
Desv Stan	154,63	78,06	675,29	1,393	-

**Fotografías del Ensayo**



### 3.1.3 Resultados de los ensayos de Impacto

 <b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b> 						
Datos Técnicos						
<b>Fecha:</b>	09/1/2020		<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Materiales Universidad Técnica de Ambato FICM					
<b>Máquina:</b>	Máquina de Impacto por dardos					
Parámetros de Ensayo						
<b>Tipo de Ensayo:</b>	Impacto		<b>Norma:</b>	ASTM-5628		
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas		<b>Estratificación</b>	Compresión		
<b>Matriz:</b>	Resina Poliéster		<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Refuerzo:</b>	----		<b>Curado:</b>	Ambiente		
<b>Dimensiones:</b>	58x58 mm		<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm		<b>Masa del dardo:</b>	0,232 Kg		
<b>Diámetro de dardo:</b>	20 mm		<b>Geometría del dardo:</b>	FE		
Resultado						
Probeta	Refuerzo	Altura (mm)	Peso del Dardo	Coefficiente	Resistencia al Impacto (J)	Tipo de Falla
1.5	FV+FA+FC (10%-20%-0%)	250	0,232	9,80665E-03	0,569	A
2.5	FV+FA+FC (30%-0%-0%)	125	0,232	9,80665E-03	0,284	A
3.5	FV+FA+FC (10%-10%-10%)	350	0,232	9,80665E-03	0,796	A
4.5	FV+FA+FC (20%-10%-0%)	340	0,232	9,80665E-03	0,774	A
5.5	FV+FA+FC (10%-0%-20%)	360	0,232	9,80665E-03	0,819	A
6.2	FV+FA+FC (0%-30%-0%)	300	0,232	9,80665E-03	0,683	A
7.5	FV+FA+FC (20%-0%-10%)	340	0,232	9,80665E-03	0,774	A
8.5	FV+FA+FC (0%-0%-30%)	420	0,232	9,80665E-03	0,956	A
9.3	FV+FA+FC (0%-10%-20%)	525	0,232	9,80665E-03	1,194	A
10.5	FV+FA+FC (0%-20%-10%)	350	0,232	9,80665E-03	0,796	A
Fotografías del Ensayo						
Ejemplar	1.5	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232	

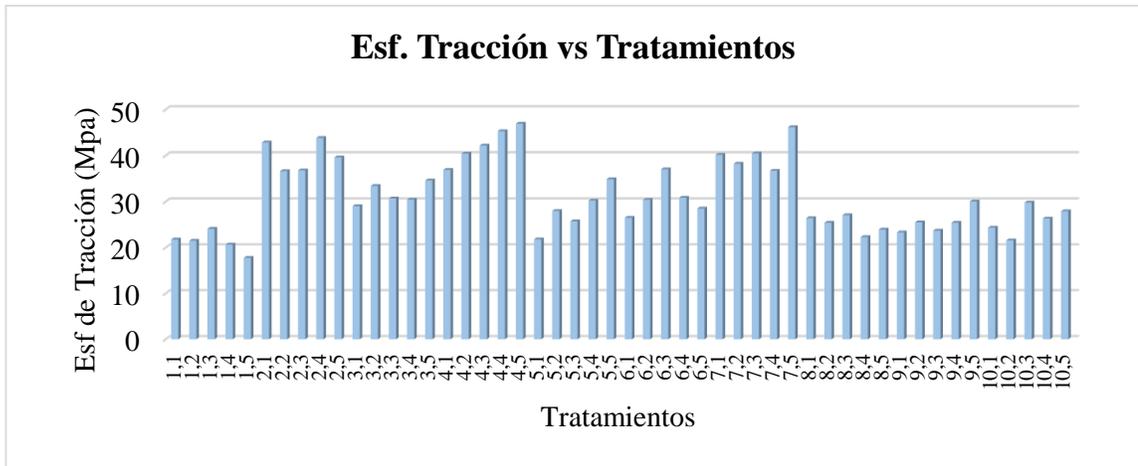
Falla tipo A: Fractura interna					
					
Ejemplar	2.5	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
Falla tipo A:					
					
Ejemplar	3.5	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
Falla tipo A:					
					
Ejemplar	4.5	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
Falla tipo A:					

					
Ejemplar	5.5	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
Falla tipo A:					
					
Ejemplar	6.2	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
Falla tipo A:					
					
Ejemplar	7.5	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
Falla tipo A:					
					

Ejemplar	8.5	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
Falla tipo A:					
					
Ejemplar	9.3	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
Falla tipo A:					
					
Ejemplar	10.5	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
Falla tipo A:					
					

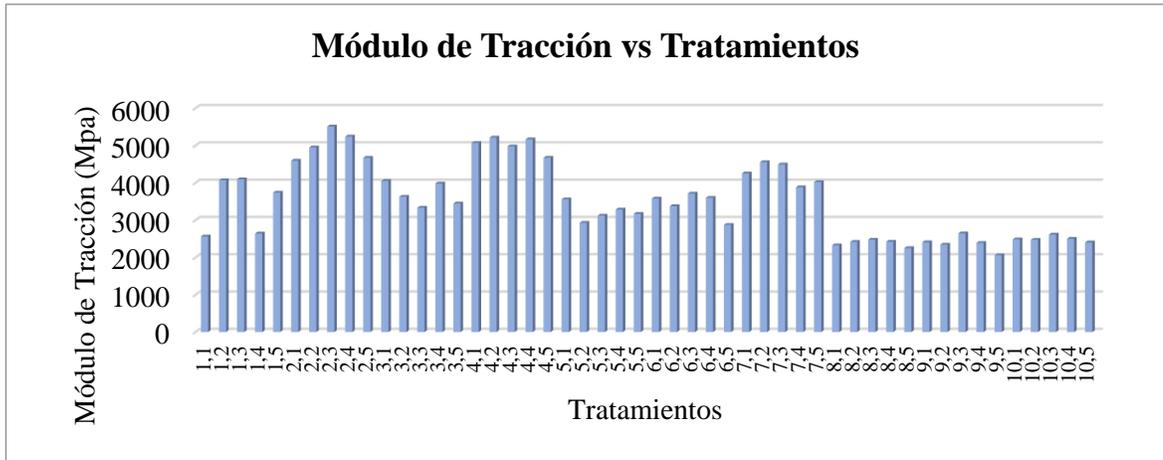
### 3.1.4 Resumen de los Ensayos de Tracción, Flexión e Impacto

A partir de las figuras 3.1 – 3.6 se resume los datos de los tratamientos que se han ensayado a Flexión, Tracción e Impacto indicando que son diferentes por sus distintas configuraciones de fracciones volumétricas de las fibras (Vidrio-Abacá-Cabuya) con la resina poliéster como constante del 70%.



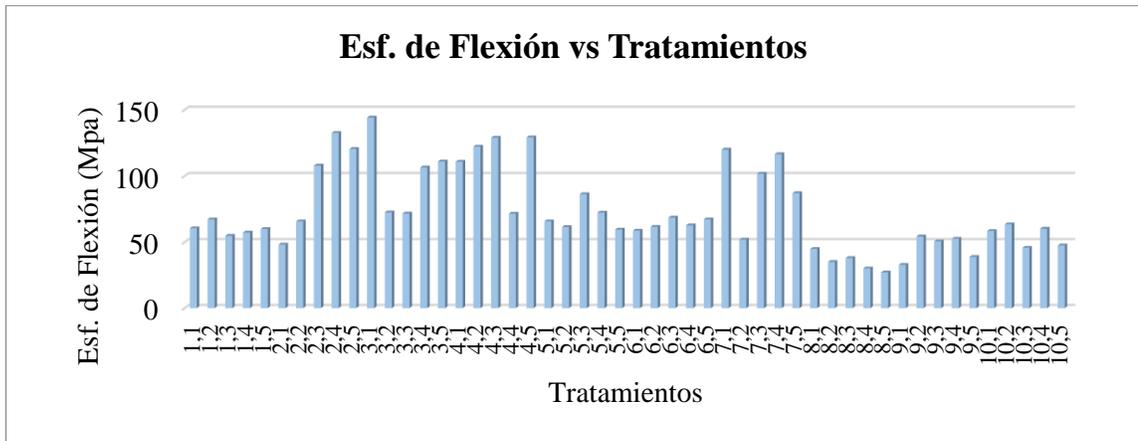
**Figura 3. 1** Resumen de datos del Esfuerzo de Tracción

**Fuente:** Autor



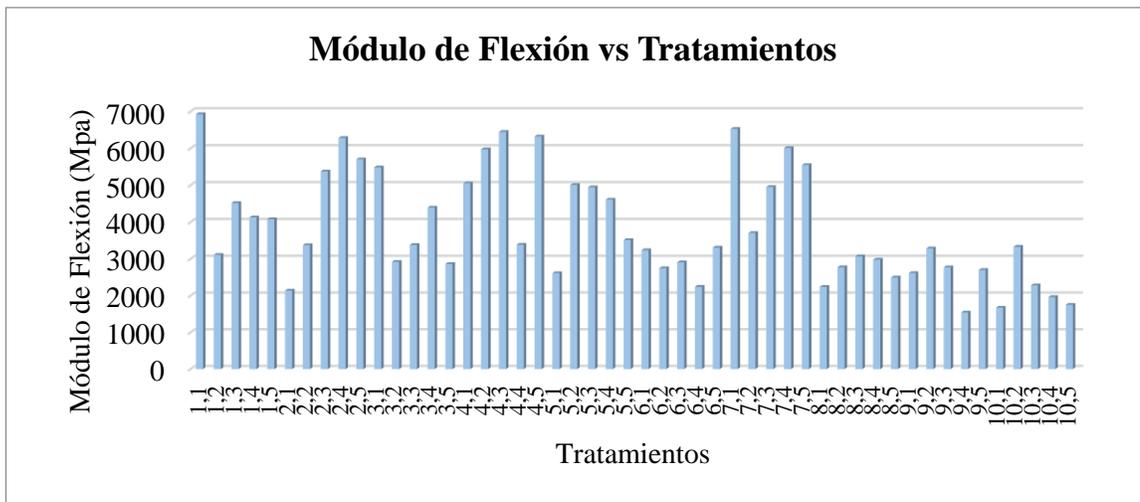
**Figura 3. 2** Resumen de datos del Módulo de Tracción

**Fuente:** Autor

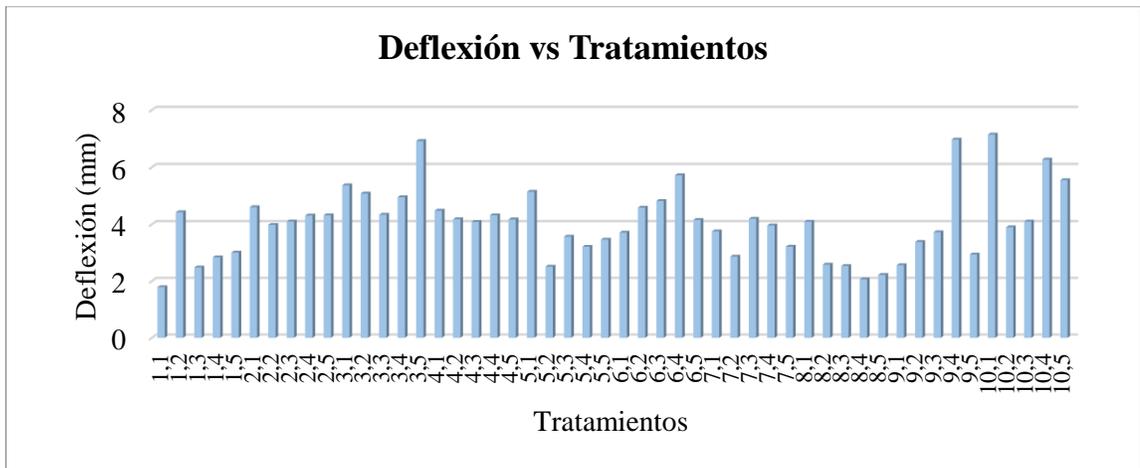


**Figura 3. 3** Resumen de datos del Esfuerzo de Flexión

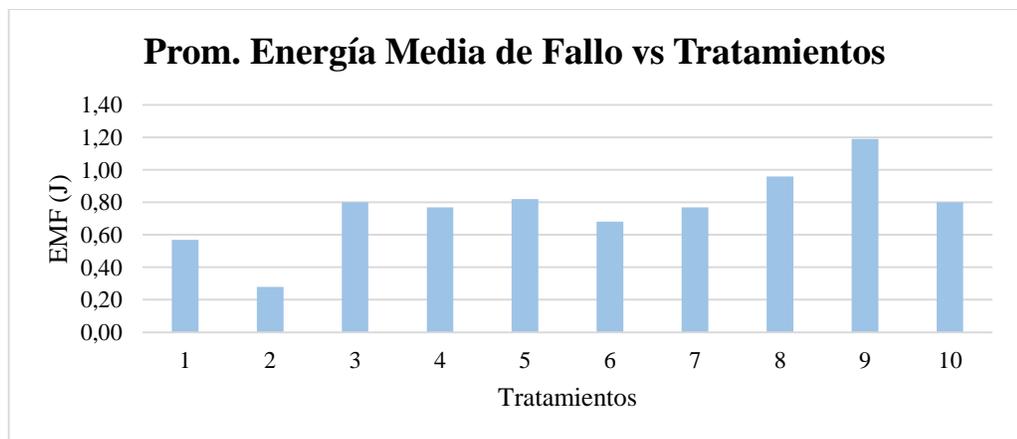
**Fuente:** Autor



**Figura 3. 4** Resumen de datos del Módulo de Elasticidad de Flexión  
**Fuente:** Autor



**Figura 3. 5** Resumen de datos de la Deflexión  
**Fuente:** Autor



**Figura 3. 6** Resumen de datos de la EMF  
**Fuente:** Autor

### 3.2 Comprobación de Supuestos

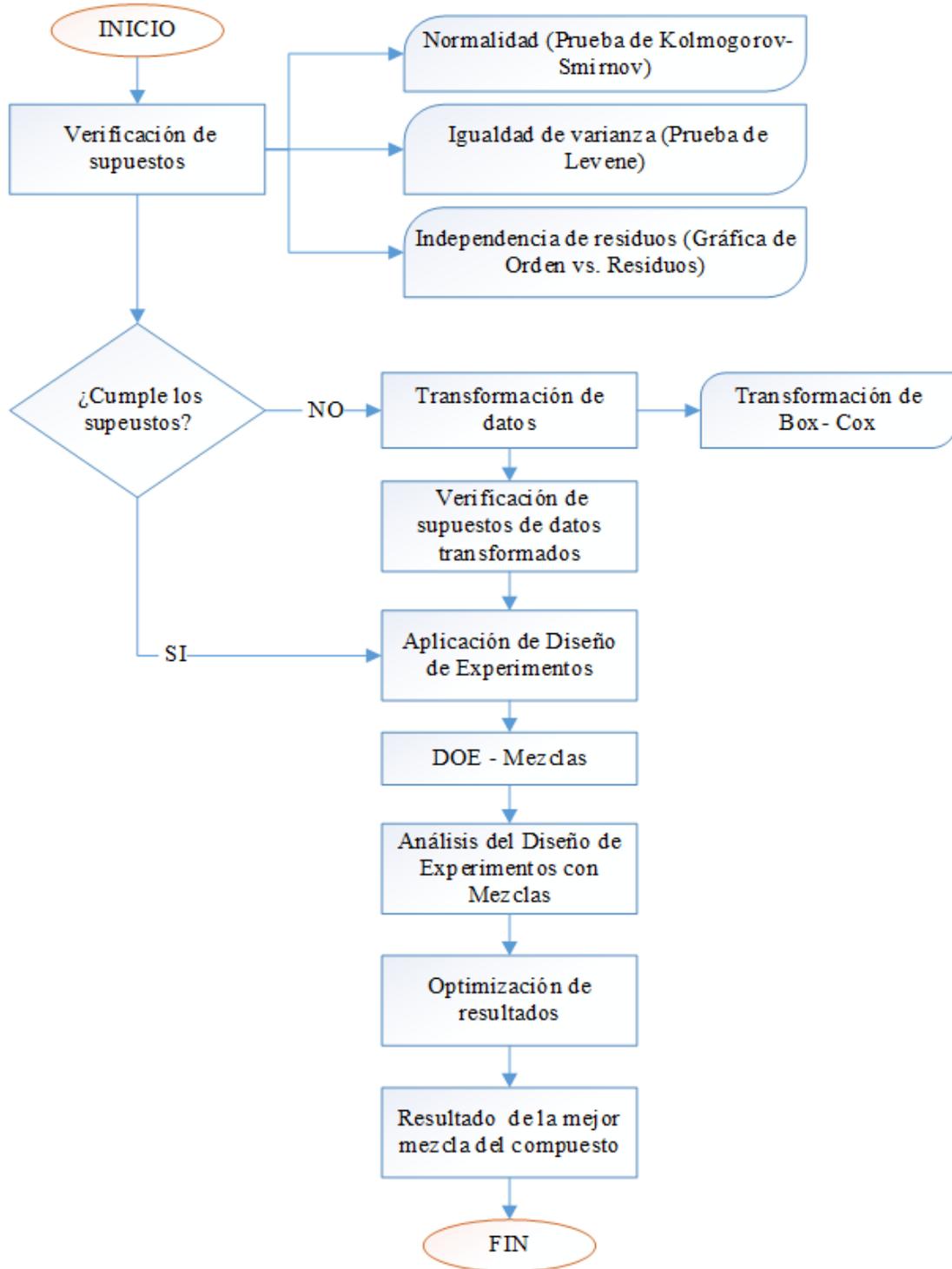


Figura 3. 7 Diagrama de flujo del proceso del método Simplex Reticular

Fuente: Autor

### 3.2.1 Verificación de Supuestos de los datos de Esfuerzo de Tracción

En la verificación de los supuestos de Normalidad de los datos, Igualdad de Varianza e Independencia de Residuos es necesario que cumpla con la significancia que se ha planteado trabajar, para que la optimización (DOE – Mezclas) tenga veracidad en los resultados obtenidos.

#### 3.2.1.1 Prueba de Normalidad

Se emplea esta prueba para verificar si los datos obtenidos del Esfuerzo de tracción siguen una distribución normal con una prueba de bondad de Kolmogorov y Smirnov, basándose en la confiabilidad del 95% por lo que se debe cumplir con lo planteado, caso contrario es necesario realizar una prueba de ajuste para que se cumpla dicho supuesto, esto se lo especifica en la tabla 3.1.

**Tabla 3. 1** Verificación de normalidad del Esfuerzo de Tracción

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos cumplen con la distribución normal		
	$H_a$ : Los datos no cumplen con la distribución normal		
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>N:</b>	50 Datos
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Kolmogorov – Smirnov	0.132	<b>Valor p = 0.036</b>

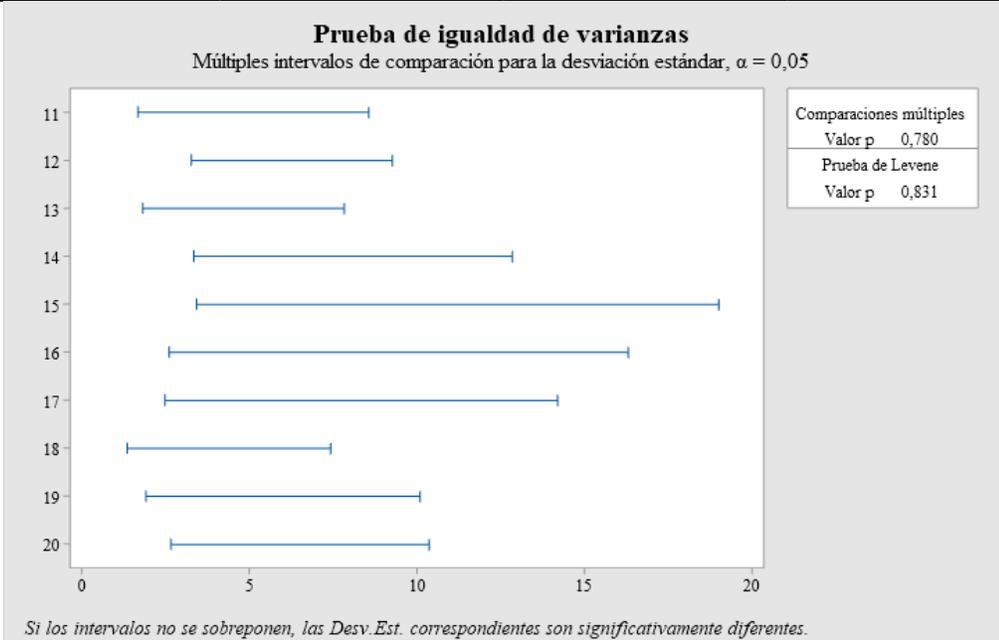
<b>Decisión:</b>	Se rechaza la ( $H_0$ ) hipótesis nula
<b>Conclusión:</b>	De acuerdo con el p valor, siendo menor que el 5% de significancia esta se rechaza.
<b>Observación:</b>	Es necesario realizar un ajuste de los datos.

Fuente: Autor

### 3.2.1.2 Prueba de Igualdad de Varianza

Para determinar si los datos tienen igual varianza se realizó mediante la prueba de Levene en donde el valor p debe superar a la significancia del 0.05.

**Tabla 3. 2** Verificación de normalidad del Esfuerzo de Tracción

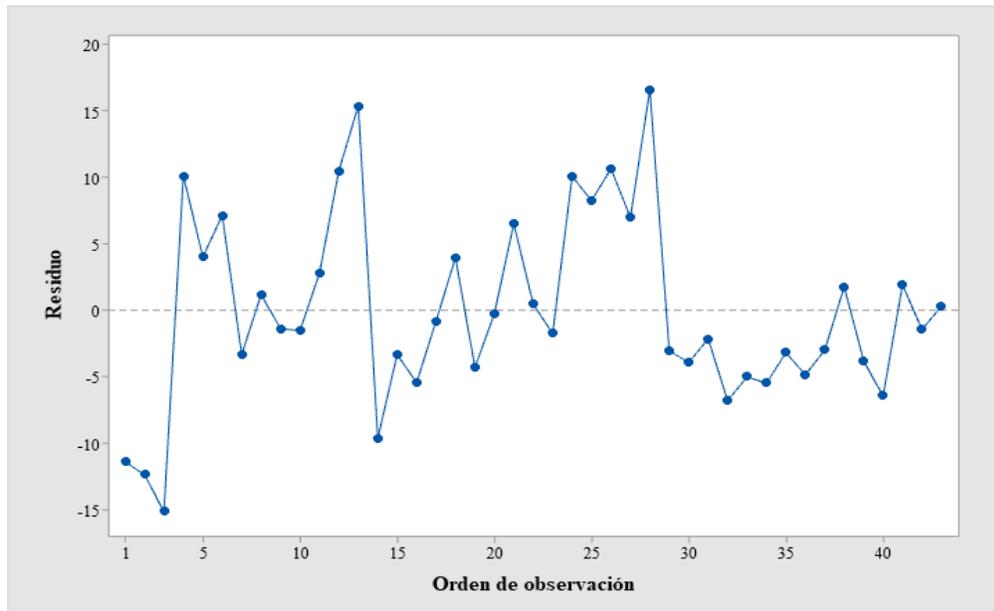
<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos cumplen con la igualdad de Varianza		
	$H_a$ : Los datos no cumplen con la igualdad de Varianza		
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>N:</b>	50 Datos
<p><b>Prueba de igualdad de varianzas</b> Múltiples intervalos de comparación para la desviación estándar, <math>\alpha = 0,05</math></p>  <p>Comparaciones múltiples Valor p 0,780 Prueba de Levene Valor p 0,831</p> <p><i>Si los intervalos no se superponen, las Desv. Est. correspondientes son significativamente diferentes.</i></p>			
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Levene	0.55	<b>Valor p = 0.831</b>
<b>Decisión:</b>	Se acepta la ( $H_0$ ) hipótesis nula		
<b>Conclusión:</b>	De acuerdo con el p valor, siendo mayor que el 5% de significancia esta se acepta.		
<b>Observación:</b>	Es necesario verificar la igual de varianza al realizar un ajuste de los datos por no cumplir con la normalidad en los mismos.		

Fuente: Autor

Tras el proceso de comprobación de igualdad de varianzas se puede comprobar que no existe diferencias significativas entre los grupos de los tratamientos, en este caso se puede rechazar la hipótesis alternativa. En la tabla 3.2 se indica que la significancia obtenida es del 0.831 en relación a la significancia de 0.05, entonces, se cumple el supuesto.

### 3.2.1.3 Independencia de Residuos

En esta prueba se analiza por observación directa, en donde se apoya en la figura 3.8 en el cual los datos del esfuerzo de tracción no tienen una uniformidad, es decir, los datos no tienen un patrón definido, con lo que se concluye que si existe independencia entre los residuos. De esta forma el supuesto se cumple.



**Figura 3. 8** Prueba de Independencia de Residuos Esf. T

**Fuente:** Software estadístico Minitab

## 3.2.2 Transformación y Verificación de Supuestos de los datos de Esfuerzo de Tracción

### 3.2.2.1 Transformación de los datos

**Tabla 3. 3** Transformación Box-Cox

Nivel de Significancia $\alpha= 0.05$	N=	50
Parámetro de comparación $\lambda = 0.5$		

**Tabla 3. 4** Datos Transformados de BOX-COX

#	Esf. Tracción								
1	4,66461	11	5,38685	21	4,66910	31	6,33821	41	4,82864
2	4,54365	12	5,77898	22	5,28858	32	6,18174	42	5,04907
3	4,21224	13	5,53931	23	5,07141	33	6,36249	43	4,86801
4	4,23226	14	5,51653	24	5,49769	34	6,05657	44	5,04161
5	4,22450	15	5,88095	25	5,90408	35	6,79461	45	5,48006
6	6,54444	16	6,49353	26	5,14561	36	5,13831	46	4,93547
7	6,05125	17	6,84966	27	5,51288	37	5,04043	47	4,64444
8	6,29325	18	6,83432	28	6,08331	38	5,20092	48	5,45905
9	6,09840	19	6,50470	29	5,55308	39	4,72035	49	5,12927
10	6,28780	20	6,45670	30	5,33788	40	4,89134	50	5,28334

Fuente: Software estadístico Minitab

**3.2.2.2 Prueba de Normalidad (Datos Transformados)**

**Tabla 3. 5** Verificación de normalidad del Esfuerzo de Tracción

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos cumplen con la distribución normal		
	$H_a$ : Los datos no cumplen con la distribución normal		
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>N:</b>	50 Datos
<p><b>Prueba de Normalidad</b></p>			
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Kolmogorov – Smirnov	0.124	<b>Valor p = 0.093</b>
<b>Decisión:</b>	Se acepta la ( $H_0$ ) hipótesis nula.		

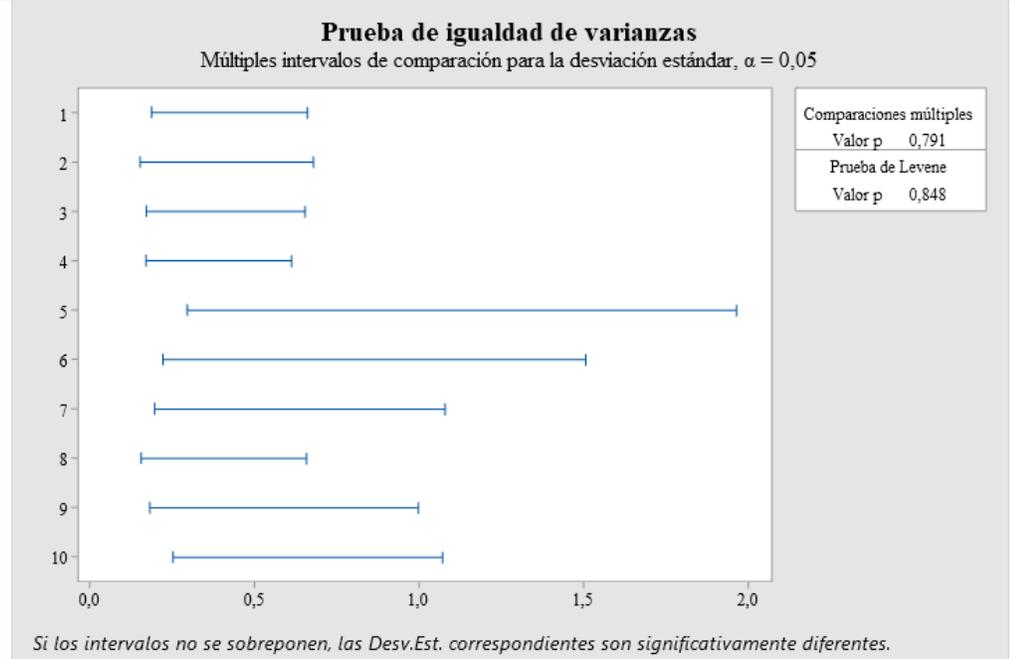
<b>Conclusión:</b>	De acuerdo con el p valor, siendo mayor que el 5% de significancia esta se acepta.
<b>Observación:</b>	-

**Fuente:** Autor

De acuerdo a la tabla 3.5 con los datos transformados, se puede apreciar que el nivel de significancia es mayor que 0.05, lo que significa que se acepta la hipótesis nula concluyendo que los datos tienen distribución normal.

### 3.2.2.1 Igualdad de Varianza (Datos Transformados)

**Tabla 3. 6** Verificación de normalidad del Esfuerzo de Tracción

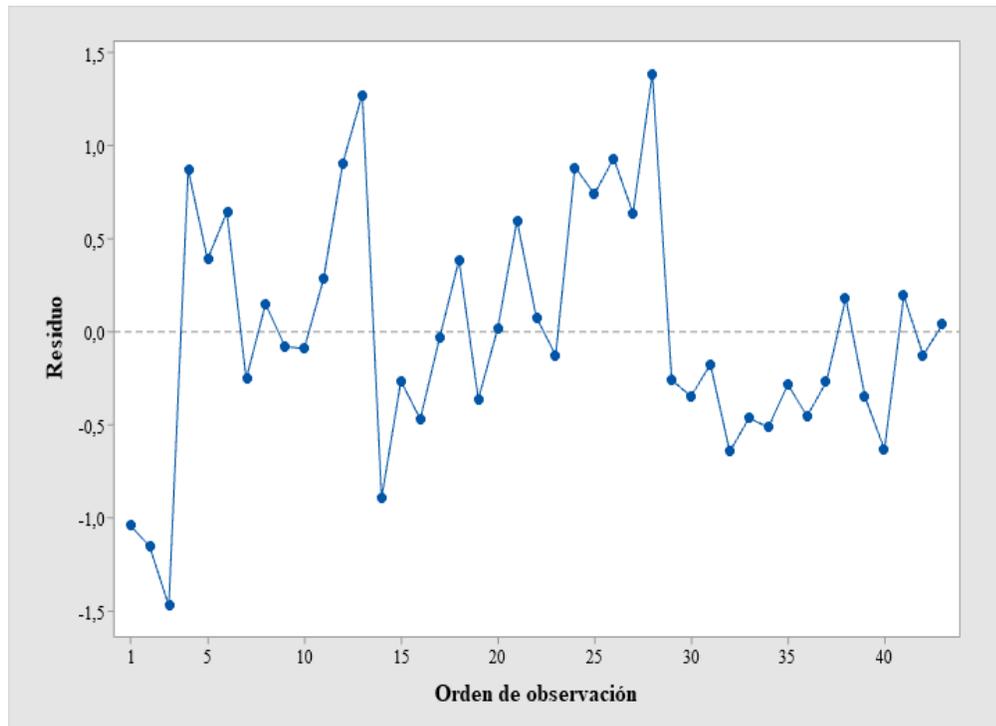
<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos cumplen con la igualdad de Varianza		
	$H_a$ : Los datos no cumplen con la igualdad de Varianza		
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>N:</b>	50 Datos
<p><b>Prueba de igualdad de varianzas</b> Múltiples intervalos de comparación para la desviación estándar, <math>\alpha = 0,05</math></p> 			
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Levene	0.52	<b>Valor p = 0.848</b>
<b>Decisión:</b>	Se acepta la ( $H_0$ ) hipótesis nula.		
<b>Conclusión:</b>	De acuerdo con el p valor, siendo mayor que el 5% de significancia esta se acepta.		
<b>Observación:</b>	-		

**Fuente:** Autor

De acuerdo con la tabla 3.6 con los datos transformados, realizando la igualdad de varianzas se establece que, si se cumple el supuesto para el esfuerzo de tracción, porque el valor p es de 0.848, siendo mayor que la significancia de 0.05. con esto se acepta la hipótesis nula  $H_0$ .

### 3.2.2.1 Independencia de Residuos (Datos Transformados)

De acuerdo a la figura 3.9 se determina que los datos no presentan un patrón predefinido, entonces se concluye que los datos transformados tienen independencia de residuo.



**Figura 3. 9** Prueba de Independencia de Residuos Esf. T (Datos Transformados)

**Fuente:** Software estadístico Minitab

## 3.2.3 Verificación de Supuestos de los datos del Módulo de Elasticidad (Tracción)

### 3.2.3.1 Prueba de Normalidad

Se emplea esta prueba para verificar si los datos obtenidos del Módulo de Elasticidad de los ensayos de tracción tienen una distribución normal con una prueba de bondad

de Kolmogorov y Smirnov, basándose en la confiabilidad del 95% por lo que se debe cumplir con lo planteado, caso contrario es necesario realizar una prueba de ajuste para que se cumpla dicho supuesto, esto se lo especifica en la tabla 3.7.

**Tabla 3. 7** Verificación de normalidad del Módulo de Tracción

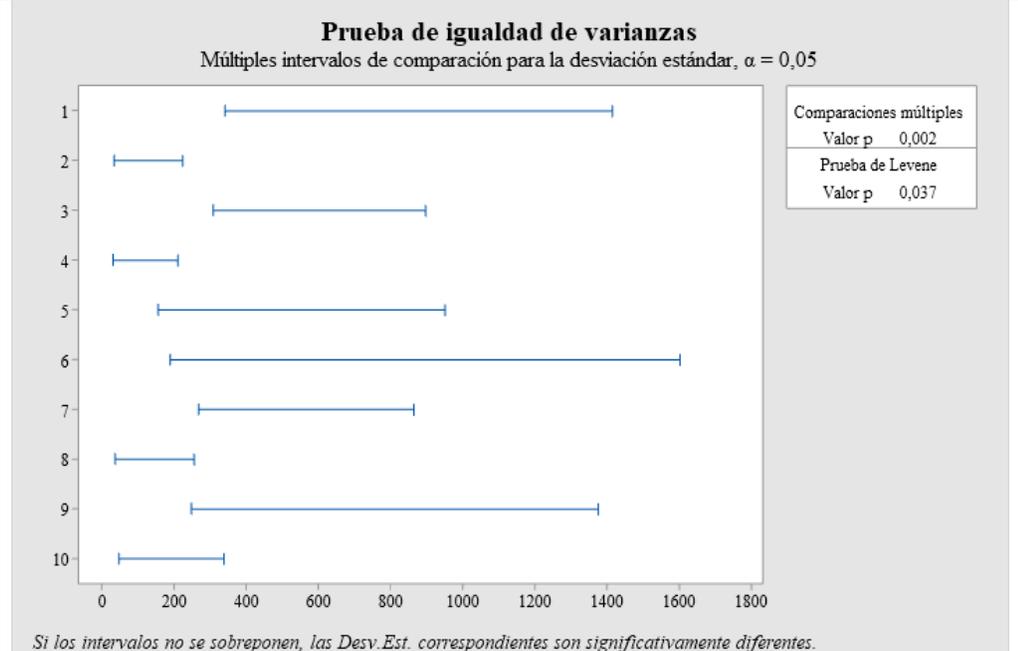
<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Los datos cumplen con la distribución normal	
		$H_a$ : Los datos no cumplen con la distribución normal	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>N:</b>	50 Datos
<b>Prueba de Normalidad</b>			
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Kolmogorov – Smirnov	0.151	<b>Valor p = 0.010</b>
<b>Decisión:</b>	Se rechaza la ( $H_0$ ) hipótesis nula		
<b>Conclusión:</b>	De acuerdo con el p valor, siendo menor que el 5% de significancia por lo que esta no se acepta.		
<b>Observación:</b>	Es necesario realizar un ajuste de los datos.		

**Fuente:** Autor

### 3.2.3.2 Prueba de Igualdad de Varianza

Para determinar si los datos tienen igual varianza se realizó mediante la prueba de Levene en donde el valor p debe superar a la significancia del 0.05.

**Tabla 3. 8** Verificación de Igualdad de Varianza del Módulo de Tracción

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos cumplen con la igualdad de Varianza		
	$H_a$ : Los datos no cumplen con la igualdad de Varianza		
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>N:</b>	50 Datos
<p><b>Prueba de igualdad de varianzas</b> Múltiples intervalos de comparación para la desviación estándar, <math>\alpha = 0,05</math></p> 			
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Levene	2.32	<b>Valor p = 0.037</b>
<b>Decisión:</b>	Se rechaza la ( $H_0$ ) hipótesis nula		
<b>Conclusión:</b>	De acuerdo con el p valor, siendo menor que el 5% de significancia esta se rechaza.		
<b>Observación:</b>	Es necesario realizar un ajuste de los datos.		

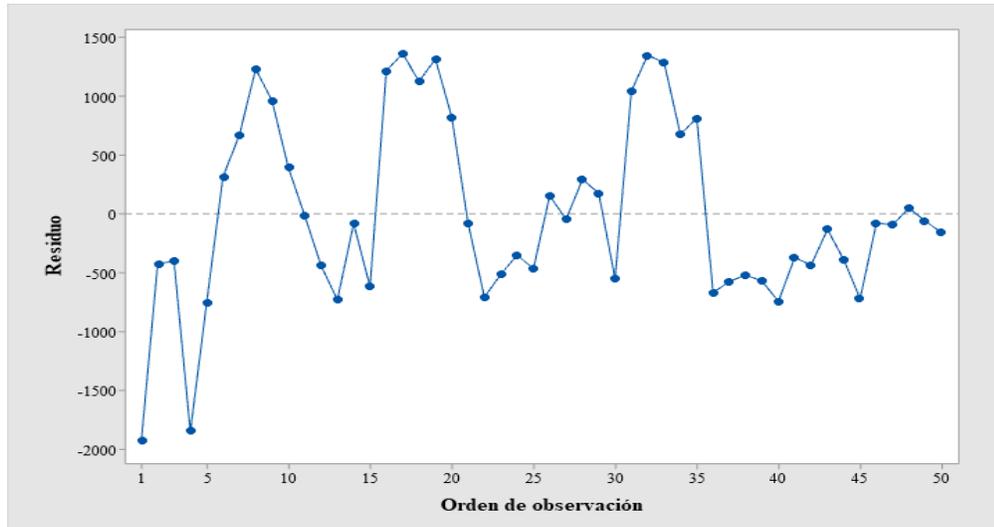
**Fuente:** Autor

Tras el proceso de comprobación de igualdad de varianzas se puede comprobar que, si existe diferencias significativas entre los grupos de los tratamientos, en este caso no se puede aceptar la hipótesis nula. En la tabla 3.8 se indica que la significancia obtenida es del 0.037 en relación a la significancia de 0.05, entonces, no se cumple el supuesto.

### 3.2.3.3 Independencia de Residuos

De acuerdo al apartado anterior, en esta prueba se analiza por observación directa, en donde se apoya en la figura 3.10 en el cual los datos del Módulo de Elasticidad de

tracción no tienen una uniformidad, es decir, los datos no tienen un patrón definido, con lo que se concluye que si existe independencia entre los residuos. De esta forma el supuesto se cumple.



**Figura 3. 10** Prueba de Independencia de Residuos E.T

**Fuente:** Software estadístico Minitab

### 3.2.4 Transformación y Verificación de Supuestos del Módulo de Elasticidad de Tracción.

#### 3.2.4.1 Transformación de los datos

**Tabla 3. 9** Transformación Box-Cox

Nivel de Significancia $\alpha= 0.05$	N=	50
Parámetro de comparación $\lambda = -1.5$		

**Tabla 3. 10** Datos Transformados de BOX-COX del E (MPa) Tracción

#	E (MPa)								
1	7,7079	11	3,8797	21	4,7129	31	3,6080	41	8,4662
2	7,3621	12	4,5807	22	6,3157	32	3,2537	42	8,8228
3	4,3756	13	5,1955	23	5,7356	33	3,3214	43	7,3523
4	7,2650	14	3,9810	24	5,3109	34	4,1354	44	8,5670
5	5,6998	15	4,9462	25	5,6063	35	3,9221	45	10,7184
6	3,2108	16	2,8501	26	4,6769	36	8,9260	46	8,0739
7	2,8742	17	3,1305	27	5,1037	37	8,4219	47	8,1343
8	3,1323	18	3,4630	28	4,4203	38	8,1261	48	7,4885
9	2,7840	19	2,8760	29	4,6354	39	8,3993	49	8,0003
10	3,3611	20	2,6546	30	6,5007	40	9,3766	50	8,4836

**Fuente:** Software estadístico Minitab

### 3.2.4.2 Prueba de Normalidad (Datos Transformados)

**Tabla 3. 11** Verificación de normalidad del Módulo de Elasticidad

<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Los datos cumplen con la distribución normal	
		$H_a$ : Los datos no cumplen con la distribución normal	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>N:</b>	50 Datos
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Kolmogorov – Smirnov	0.133	<b>Valor p = 0.053</b>
<b>Decisión:</b>	Se acepta la ( $H_0$ ) hipótesis nula		
<b>Conclusión:</b>	De acuerdo con el p valor, siendo mayor que el 5% de significancia esta se acepta.		
<b>Observación:</b>	---		

**Fuente:** Autor

De acuerdo a la tabla 3.11 con los datos transformados, se puede apreciar que el nivel de significancia es mayor que 0.05, lo que significa que no se acepta la hipótesis alternativa concluyendo que los datos tienen distribución normal.

### 3.2.4.3 Igualdad de Varianza (Datos Transformados)

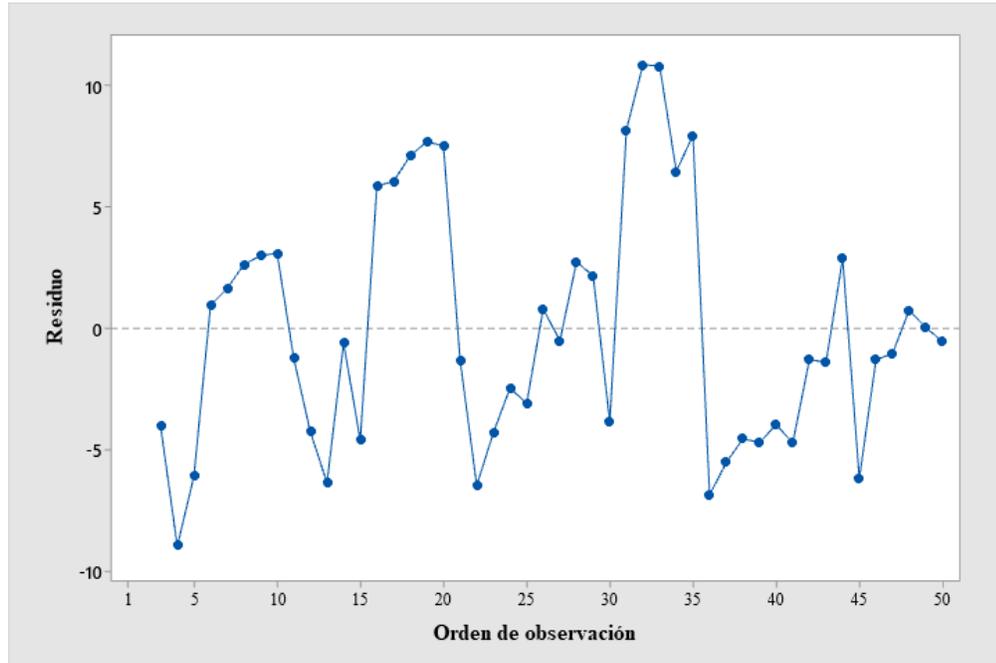
**Tabla 3. 12** Verificación de Igualdad de Varianza del Módulo de Elasticidad

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos cumplen con la igualdad de Varianza		
	$H_a$ : Los datos no cumplen con la igualdad de Varianza		
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>N:</b>	50 Datos
<p><b>Prueba de igualdad de varianzas</b> Múltiples intervalos de comparación para la desviación estándar, <math>\alpha = 0,05</math></p> <p>Si los intervalos no se superponen, las Desv. Est. correspondientes son significativamente diferentes.</p>			
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Levene	2.12	<b>Valor p = 0.05</b>
<b>Decisión:</b>	Se acepta la ( $H_0$ ) hipótesis nula		
<b>Conclusión:</b>	De acuerdo con el p valor, siendo mayor que el 5% de significancia esta se acepta.		
<b>Observación:</b>	---		

**Fuente:** Autor

De acuerdo con la tabla 3.12 con los datos transformados, realizando la igualdad de varianza se establece que, si se cumple el supuesto para el módulo de tracción, porque el valor p es de 0.05, siendo igual que la significancia de 0.05. con esto se acepta la hipótesis nula  $H_0$ .

### 3.2.4.4 Independencia de Residuos (Datos Transformados)



**Figura 3. 11** Prueba de Independencia de Residuos E.T (Datos Transformados)

**Fuente:** Software estadístico Minitab

De acuerdo a la figura 3.11 se determina que los datos no presentan un patrón predefinido, entonces se concluye que los datos transformados tienen independencia de residuo.

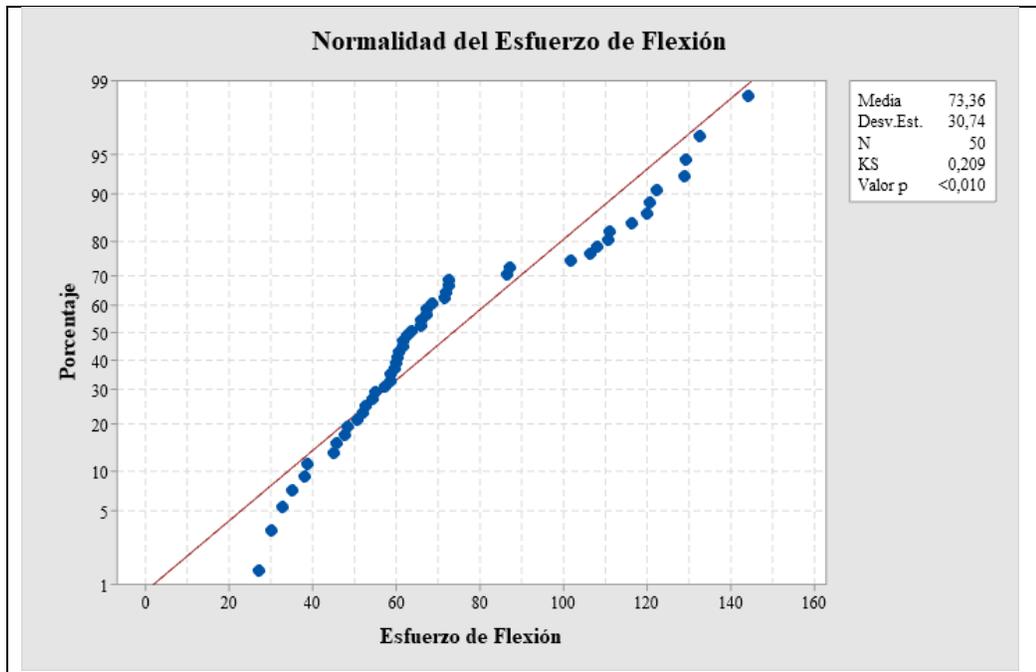
### 3.2.5 Verificación de Supuestos de los datos del Esfuerzo de Flexión

#### 3.2.5.1 Prueba de Normalidad

Se emplea esta prueba para verificar si los datos obtenidos del Esfuerzo de Flexión de los ensayos de flexión tienen una distribución normal con una prueba de bondad de Kolmogorov y Smirnov, basándose en la confiabilidad del 95% por lo que se debe cumplir con lo planteado, caso contrario es necesario realizar una prueba de ajuste para que se cumpla dicho supuesto, esto se lo especifica en la tabla 3.13.

**Tabla 3. 13** Verificación de normalidad del Esfuerzo de Flexión

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos cumplen con la distribución normal		
	$H_a$ : Los datos no cumplen con la distribución normal		
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>N:</b>	50 Datos



<b>Estadístico de Prueba:</b>	Kolmogorov – Smirnov	0.209	<b>Valor p = 0.010</b>
<b>Decisión:</b>	Se rechaza la ( $H_0$ ) hipótesis nula		
<b>Conclusión:</b>	De acuerdo con el p valor, siendo menor que el 5% de significancia esta se rechaza.		
<b>Observación:</b>	Es necesario realizar un ajuste de los datos.		

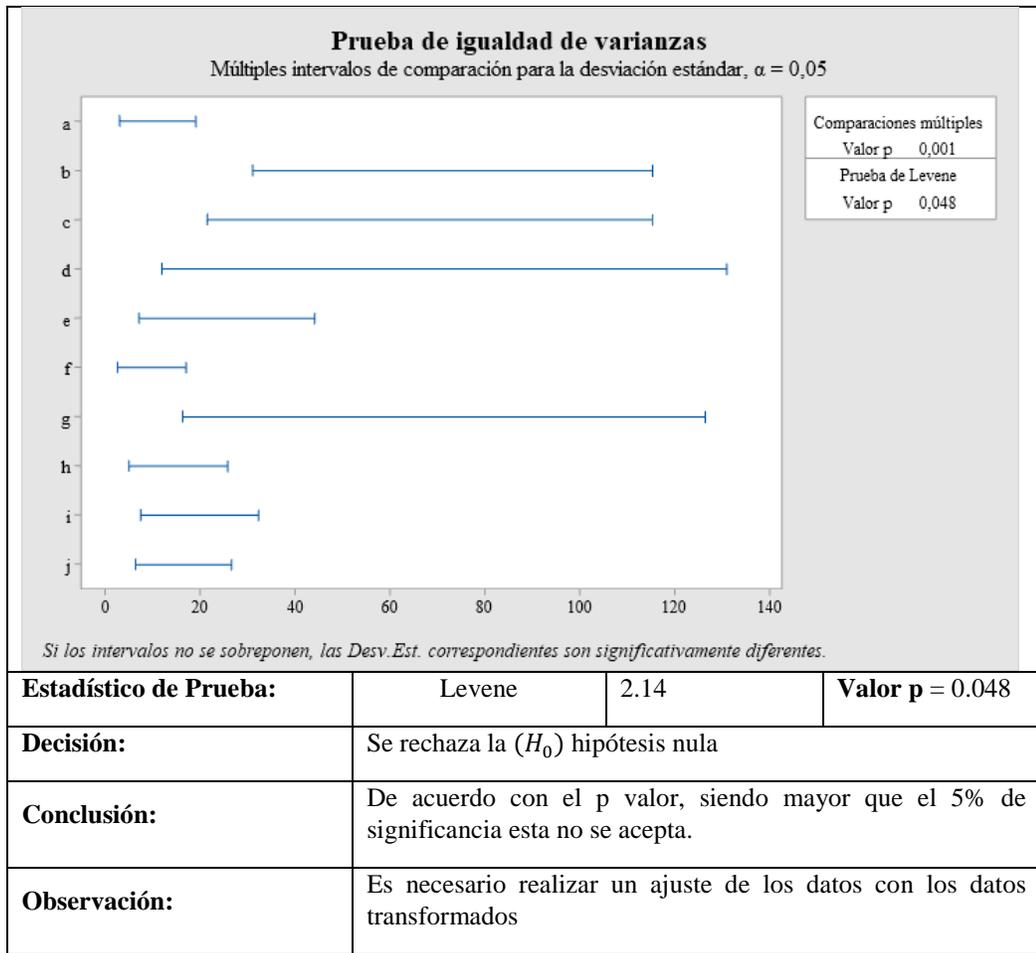
Fuente: Autor

### 3.2.5.2 Prueba de Igualdad de Varianza

Para determinar si los datos tienen igual varianza se realizó mediante la prueba de Levene en donde el valor p debe superar a la significancia del 0.05.

**Tabla 3. 14** Verificación de Igualdad de Varianza del Esfuerzo de Flexión

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos cumplen con la igualdad de Varianza		
	$H_a$ : Los datos no cumplen con la igualdad de Varianza		
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>N:</b>	50 Datos

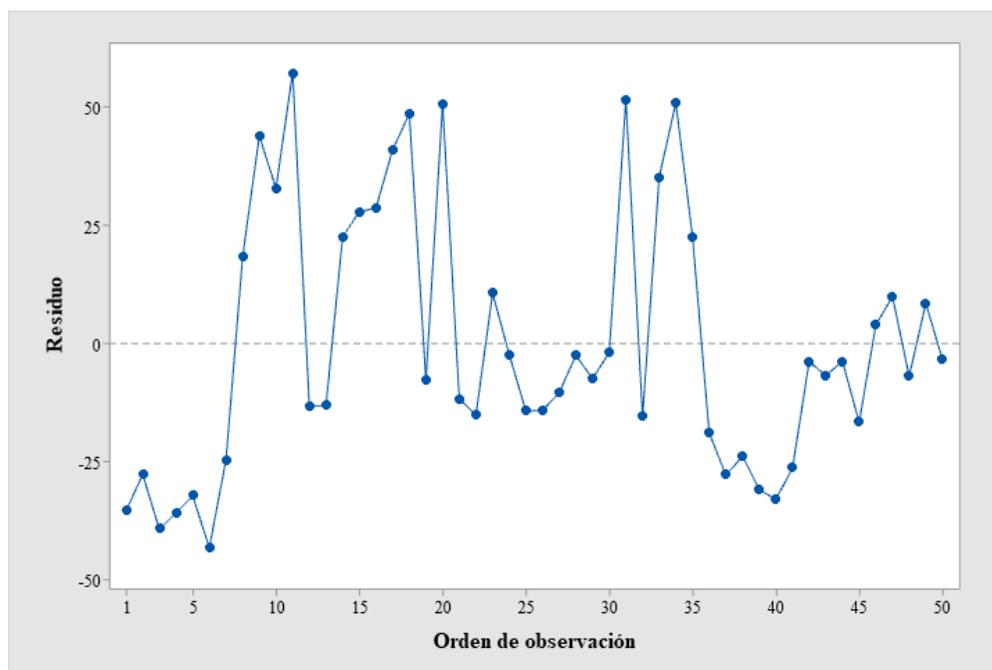


**Fuente:** Autor

Tras el proceso de comprobación de igualdad de varianzas se puede comprobar que, si existe diferencias significativas entre los grupos de los tratamientos, en este caso no se puede rechazar la hipótesis alternativa. En la tabla 3.14 se indica que la significancia obtenida es del 0.048 en relación a la significancia de 0.05, entonces, no se cumple el supuesto.

### 3.2.5.3 Independencia de Residuos

De acuerdo al apartado anterior, en esta prueba se analiza por observación directa, en donde se apoya en la figura 3.12 en el cual los datos del Esfuerzo de Flexión no tienen una uniformidad, es decir, los datos no tienen un patrón definido, con lo que se concluye que si existe independencia entre los residuos. De esta forma el supuesto se cumple.



**Figura 3. 12** Prueba de Independencia de Residuos Esf. F

Fuente: Software estadístico Minitab

### 3.2.6 Transformación y Verificación de Supuestos del Esfuerzo de Flexión

#### 3.2.6.1 Transformación de los datos

**Tabla 3. 15** Transformación Box-Cox

Nivel de Significancia $\alpha= 0.05$	N=	50
Parámetro de comparación $\lambda = 0.1$		

**Tabla 3. 16** Datos Transformados de BOX-COX del Esfuerzo de Flexión

#	Esf.	#	Esf.	#	Esf.	#	Esf.	#	Esf.
1	1,50741	11	1,644	21	1,520	31	1,614	41	1,418
2	1,49930	12	1,535	22	1,510	32	1,485	42	1,491
3	1,50615	13	1,533	23	1,562	33	1,588	43	1,480
4	1,48600	14	1,595	24	1,535	34	1,609	44	1,486
5	1,47600	15	1,602	25	1,505	35	1,563	45	1,442
6	1,47337	16	1,626	26	1,503	36	1,463	46	1,502
7	1,51999	17	1,626	27	1,510	37	1,427	47	1,515
8	1,61479	18	1,586	28	1,526	38	1,439	48	1,466
9	1,53100	19	1,581	29	1,513	39	1,406	49	1,507
10	1,54300	20	1,617	30	1,524	40	1,391	50	1,471

Fuente: Software estadístico Minitab

### 3.2.6.2 Prueba de Normalidad (Datos Transformados)

**Tabla 3. 17** Verificación de normalidad del Esfuerzo de Flexión

<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Los datos cumplen con la distribución normal	
		$H_a$ : Los datos no cumplen con la distribución normal	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>N:</b>	50 Datos
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Kolmogorov – Smirnov	0.134	<b>Valor p = 0.052</b>
<b>Decisión:</b>	Se acepta la ( $H_0$ ) hipótesis nula		
<b>Conclusión:</b>	De acuerdo con el p valor, siendo mayor que el 5% de significancia esta se acepta.		
<b>Observación:</b>	-		

**Fuente:** Autor

De acuerdo a la tabla 3.17 con los datos transformados, se puede apreciar que el nivel de significancia es mayor que 0.05, lo que significa que no se acepta la hipótesis alternativa concluyendo que los datos tienen distribución normal.

### 3.2.6.3 Igualdad de Varianza (Datos Transformados)

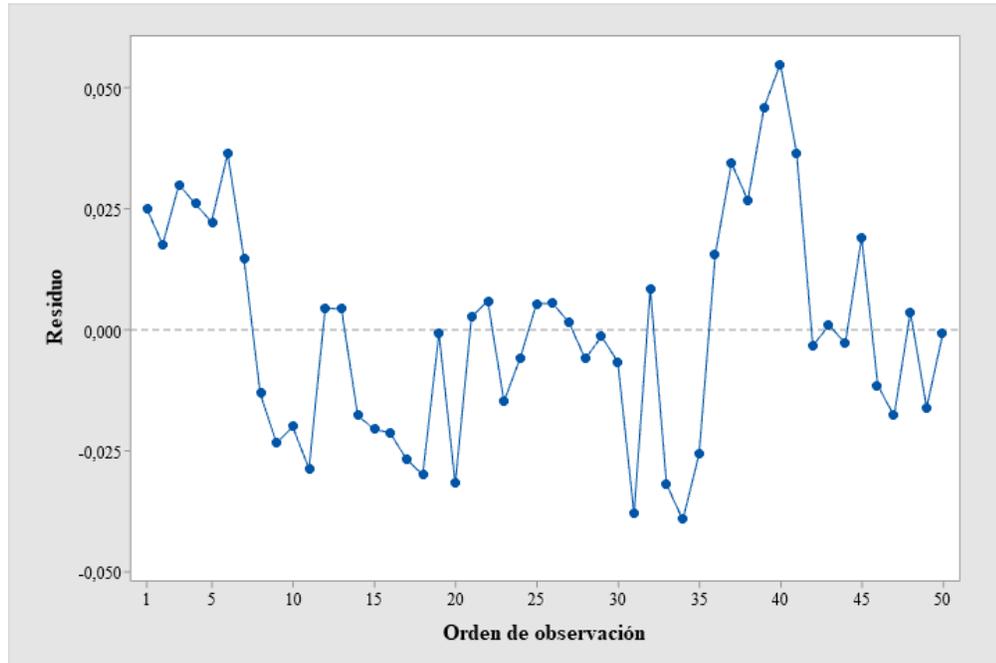
**Tabla 3. 18** Verificación de Igualdad de Varianza del Esfuerzo de Flexión

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos cumplen con la igualdad de Varianza		
	$H_a$ : Los datos no cumplen con la igualdad de Varianza		
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>N:</b>	50 Datos
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Levene	0.87	<b>Valor p = 0.526</b>
<b>Decisión:</b>	Se acepta la ( $H_0$ ) hipótesis nula		
<b>Conclusión:</b>	De acuerdo con el p valor, siendo mayor que el 5% de significancia esta se acepta.		
<b>Observación:</b>	-		

**Fuente:** Autor

De acuerdo con la tabla 3.18 con los datos transformados, realizando la igualdad de varianza se estable que, si se cumple el supuesto para el esfuerzo de flexión, porque el valor p es de 0.526, siendo mayor que la significancia de 0.05. con esto se acepta la hipótesis nula  $H_0$ .

### 3.2.6.4 Independencia de Residuos (Datos Transformados)



**Figura 3. 13** Prueba de Independencia de Residuos Esf. F (Datos Transformados)

**Fuente:** Software estadístico Minitab

De acuerdo a la figura 3.13 se determina que los datos no presentan un patrón predefinido, entonces se concluye que los datos transformados tienen independencia de residuo.

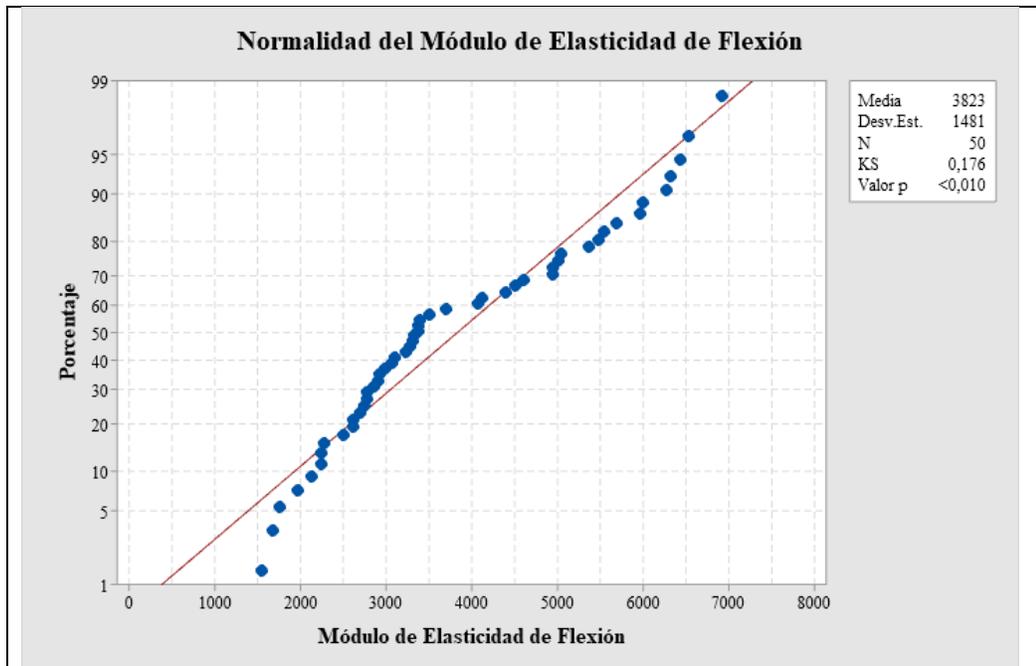
### 3.2.7 Verificación de Supuestos de los datos del Módulo de Flexión

#### 3.2.7.1 Prueba de Normalidad

Se emplea esta prueba para verificar si los datos obtenidos del Módulo de Flexión de los ensayos de flexión tienen una distribución normal con una prueba de bondad de Kolmogorov y Smirnov, basándose en la confiabilidad del 95% por lo que se debe cumplir con lo planteado, caso contrario es necesario realizar una prueba de ajuste para que se cumpla dicho supuesto, esto se lo especifica en la tabla 3.19.

**Tabla 3. 19** Verificación de normalidad del Módulo de Flexión

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos cumplen con la distribución normal		
	$H_a$ : Los datos no cumplen con la distribución normal		
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>N:</b>	50 Datos



<b>Estadístico de Prueba:</b>	Kolmogorov – Smirnov	0.176	<b>Valor p = 0.010</b>
<b>Decisión:</b>	Se rechaza la ( $H_0$ ) hipótesis nula		
<b>Conclusión:</b>	De acuerdo con el p valor, siendo menor que el 5% de significancia esta se rechaza.		
<b>Observación:</b>	Es necesario realizar un ajuste de los datos.		

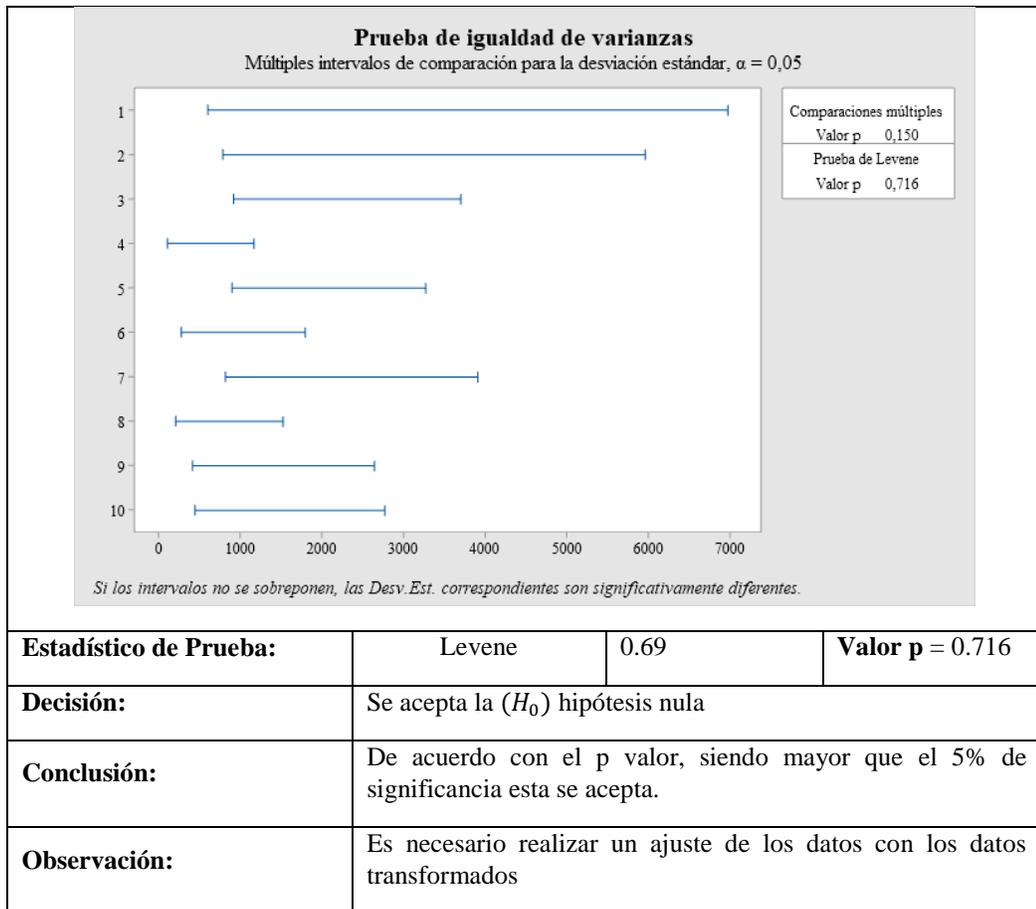
**Fuente:** Autor

### 3.2.7.2 Prueba de Igualdad de Varianza

Para determinar si los datos tienen igual varianza se realizó mediante la prueba de Levene en donde el valor p debe superar a la significancia del 0.05.

**Tabla 3. 20** Verificación de Igualdad de Varianza del Módulo de Flexión

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos cumplen con la igualdad de Varianza		
	$H_a$ : Los datos no cumplen con la igualdad de Varianza		
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>N:</b>	50 Datos

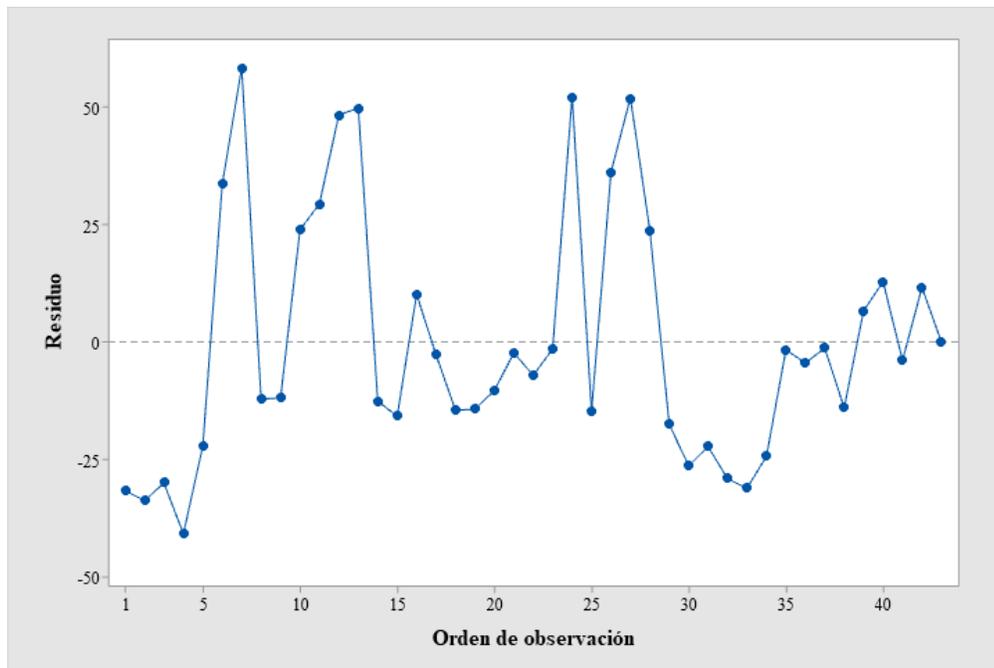


**Fuente:** Autor

Tras el proceso de comprobación de igualdad de varianzas se puede comprobar que, no existe diferencias significativas entre los grupos de los tratamientos, en este caso se puede rechazar la hipótesis alternativa. En la tabla 3.20 se indica que la significancia obtenida es del 0.716 en relación a la significancia de 0.05, entonces, se cumple el supuesto.

### 3.2.7.3 Independencia de Residuos

De acuerdo al apartado anterior, en esta prueba se analiza por observación directa, en donde se apoya en la figura 3.14 en el cual los datos del Módulo de Flexión no tienen una uniformidad, es decir, los datos no tienen un patrón definido, con lo que se concluye que si existe independencia entre los residuos. De esta forma el supuesto se cumple.



**Figura 3. 14** Prueba de Independencia de Residuos E. F  
**Fuente:** Software estadístico Minitab

### 3.2.8 Transformación y Verificación de Supuestos del Módulo de Flexión

#### 3.2.8.1 Transformación de los datos

**Tabla 3. 21** Datos Transformados BOX-COX

Nivel de Significancia $\alpha= 0.05$	N=	50
Parámetro de comparación $\lambda = 0.25$		

**Tabla 3. 22** Datos Transformados de BOX-COX del Módulo de Flexión

#	Esf.								
1	9,12226	11	8,60486	21	7,14944	31	8,98831	41	7,15173
2	8,01542	12	7,35103	22	8,41124	32	7,80200	42	7,57187
3	7,99089	13	7,62485	23	8,38527	33	8,38868	43	7,25626
4	6,21300	14	8,14142	24	8,23960	34	8,80349	44	6,26650
5	8,41800	15	7,31465	25	7,69920	35	8,62918	45	7,20728
6	6,79941	16	8,96007	26	7,54291	36	6,87848	46	6,39460
7	7,62205	17	8,91607	27	7,23953	37	7,25704	47	7,59731
8	8,68892	18	9,02800	28	7,34308	38	7,44238	48	6,91180
9	7,65000	19	8,55700	29	6,88072	39	7,38883	49	6,65598
10	6,07800	20	7,08760	30	7,58450	40	7,06681	50	6,46836

**Fuente:** Software estadístico Minitab

### 3.2.8.2 Prueba de Normalidad (Datos Transformados)

**Tabla 3. 23** Verificación de normalidad del Módulo de Flexión

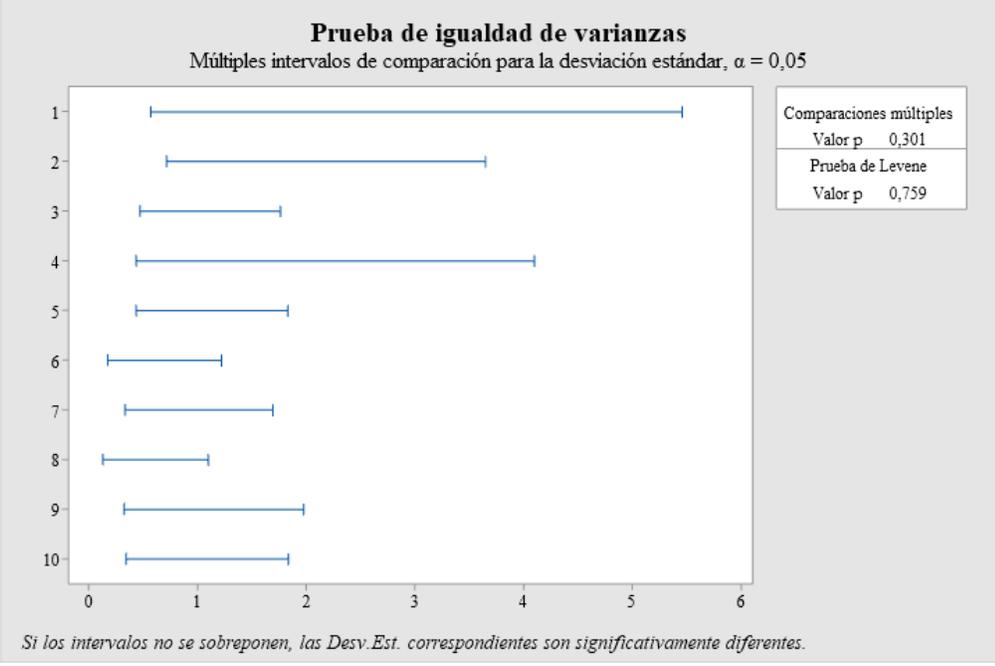
<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos cumplen con la distribución normal		
	$H_a$ : Los datos no cumplen con la distribución normal		
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>N:</b>	50 Datos
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Kolmogorov – Smirnov	0.128	<b>Valor p = 0.078</b>
<b>Decisión:</b>	Se acepta la ( $H_0$ ) hipótesis nula		
<b>Conclusión:</b>	De acuerdo con el p valor, siendo mayor que el 5% de significancia esta se acepta.		
<b>Observación:</b>	-		

**Fuente:** Autor

De acuerdo a la tabla 3.23 con los datos transformados, se puede apreciar que el nivel de significancia es mayor que 0.05, lo que significa que no se acepta la hipótesis alternativa concluyendo que los datos tienen distribución normal.

### 3.2.8.3 Igualdad de Varianza (Datos Transformados)

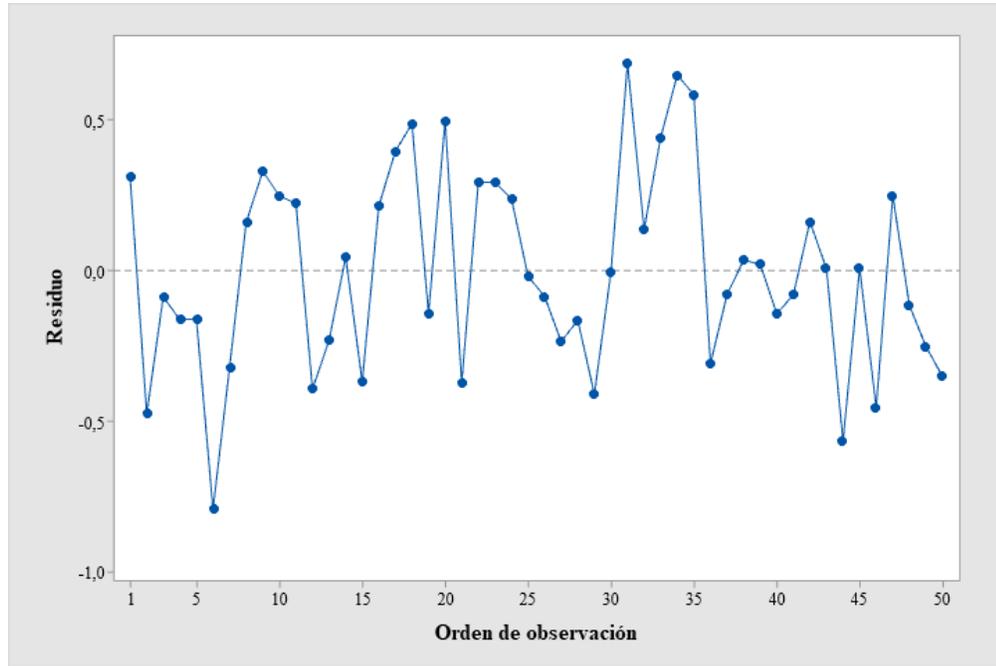
**Tabla 3. 24** Verificación de Igualdad de Varianza del Esfuerzo de Flexión

<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Los datos cumplen con la igualdad de Varianza	
		$H_a$ : Los datos no cumplen con la igualdad de Varianza	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>N:</b>	50 Datos
			
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Levene	0.6	<b>Valor p = 0.759</b>
<b>Decisión:</b>	Se acepta la ( $H_0$ ) hipótesis nula		
<b>Conclusión:</b>	De acuerdo con el p valor, siendo mayor que el 5% de significancia esta se acepta.		
<b>Observación:</b>	-		

**Fuente:** Autor

De acuerdo con la tabla 3.24 con los datos transformados, realizando la igualdad de varianza se estable que, si se cumple el supuesto para el módulo de flexión, porque el valor p es de 0.759, siendo mayor que la significancia de 0.05. con esto se acepta la hipótesis nula  $H_0$ .

### 3.2.8.4 Independencia de Residuos (Datos Transformados)



**Figura 3. 15** Prueba de Independencia de Residuos E. F (Datos Transformados)

**Fuente:** Software estadístico Minitab

De acuerdo a la figura 3.15 se determina que los datos no presentan un patrón predefinido, entonces se concluye que los datos transformados tienen independencia de residuo.

### 3.2.9 Verificación de Supuestos de los datos de la deflexión

#### 3.2.9.1 Prueba de Normalidad

Se emplea esta prueba para verificar si los datos obtenidos de la deflexión de los ensayos de flexión tienen una distribución normal con una prueba de bondad de Kolmogorov y Smirnov, basándose en la confiabilidad del 95% por lo que se debe cumplir con lo planteado, caso contrario es necesario realizar una prueba de ajuste para que se cumpla dicho supuesto, esto se lo especifica en la tabla 3.25.

**Tabla 3. 25** Verificación de normalidad de la deflexión.

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos cumplen con la distribución normal
	$H_a$ : Los datos no cumplen con la distribución normal

Nivel de Significancia	$\alpha = 0.05$	N:	50 Datos										
<b>Gráfica de Normalidad de la Deflexión</b>													
			<table border="1"> <tr><td>Media</td><td>4,073</td></tr> <tr><td>Desv.Est.</td><td>1,290</td></tr> <tr><td>N</td><td>50</td></tr> <tr><td>KS</td><td>0,120</td></tr> <tr><td>Valor p</td><td>0,071</td></tr> </table>	Media	4,073	Desv.Est.	1,290	N	50	KS	0,120	Valor p	0,071
Media	4,073												
Desv.Est.	1,290												
N	50												
KS	0,120												
Valor p	0,071												
Estadístico de Prueba:	Kolmogorov – Smirnov	0.120	Valor p = 0.071										
Decisión:	Se acepta la ( $H_0$ ) hipótesis nula												
Conclusión:	De acuerdo con el p valor, siendo mayor que el 5% de significancia esta se acepta.												
Observación:	No es necesario realizar un ajuste de los datos.												

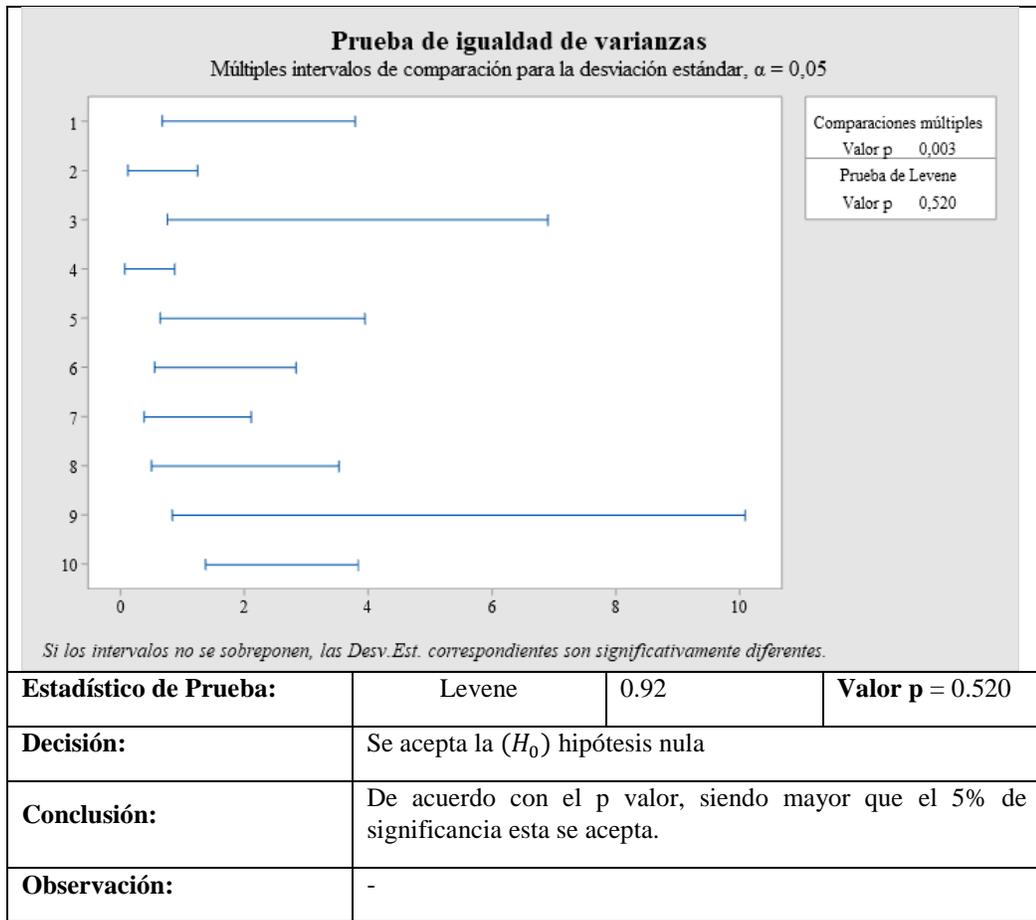
**Fuente:** Autor

### 3.2.9.2 Prueba de Igualdad de Varianza

Para determinar si los datos tienen igual varianza se realizó mediante la prueba de Levene en donde el valor p debe superar a la significancia del 0.05.

**Tabla 3. 26** Verificación de Igualdad de Varianza de la Deflexión

Hipótesis	$H_0$ : Los datos cumplen con la igualdad de Varianza		
	$H_a$ : Los datos no cumplen con la igualdad de Varianza		
Nivel de Significancia	$\alpha = 0.05$	N:	50 Datos

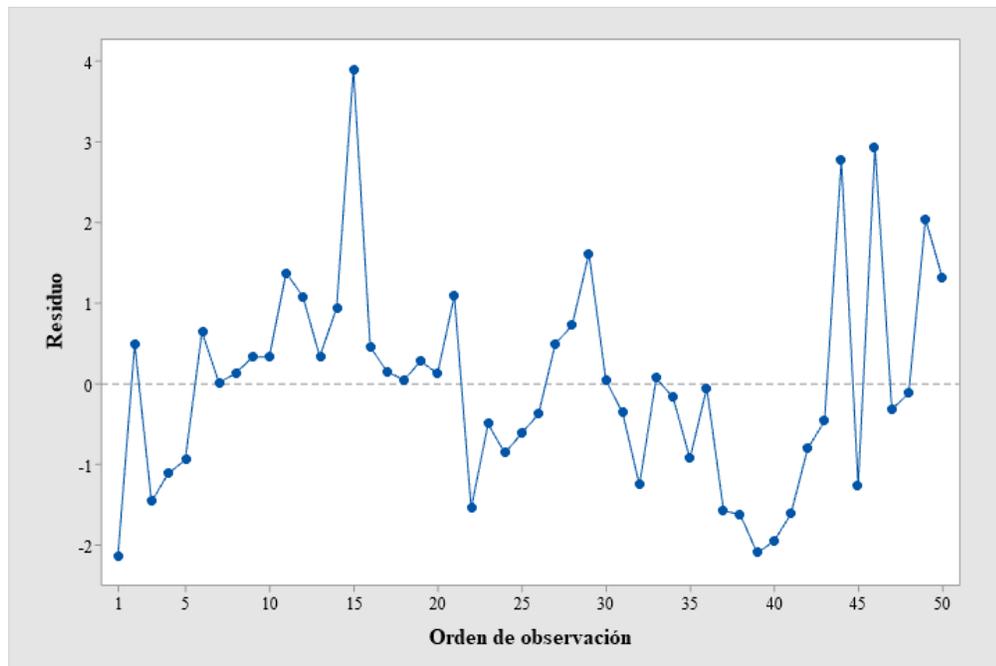


**Fuente:** Autor

Tras el proceso de comprobación de igualdad de varianzas se puede comprobar que, si existe diferencias significativas entre los grupos de los tratamientos, en este caso se puede rechazar la hipótesis alternativa. En la tabla 3.26 se indica que la significancia obtenida es del 0.520 en relación a la significancia de 0.05, entonces, se cumple el supuesto.

### 3.2.9.3 Independencia de Residuos

De acuerdo al apartado anterior, en esta prueba se analiza por observación directa, en donde se apoya en la figura 3.16 en el cual los datos de la deflexión no tienen una uniformidad, es decir, los datos no tienen un patrón definido, con lo que se concluye que si existe independencia entre los residuos. De esta forma el supuesto se cumple.



**Figura 3. 16** Prueba de Independencia de Residuos Deflexión  
**Fuente:** Software estadístico Minitab

### 3.2.9.4 Transformación y Verificación de Supuestos de la deflexión.

En los apartados siguientes no es necesario la transformación de los datos porque se cumplen todos los supuestos como son Normalidad, Igualdad de Varianza e Independencia de residuos, porque el p valor supera a la significancia del 5%.

### 3.2.10 Verificación de Supuestos de la Energía Media de Fallo

#### 3.2.10.1 Prueba de Normalidad

Se emplea esta prueba para verificar si los datos obtenidos de la Energía Media de Fallo de los ensayos de Impacto tienen una distribución normal con una prueba de bondad de Kolmogorov y Smirnov, basándose en la confiabilidad del 95% por lo que se debe cumplir con lo planteado, caso contrario es necesario realizar una prueba de ajuste para que se cumpla dicho supuesto, esto se lo especifica en la tabla 3.27.

**Tabla 3. 27** Verificación de normalidad de la EMF.

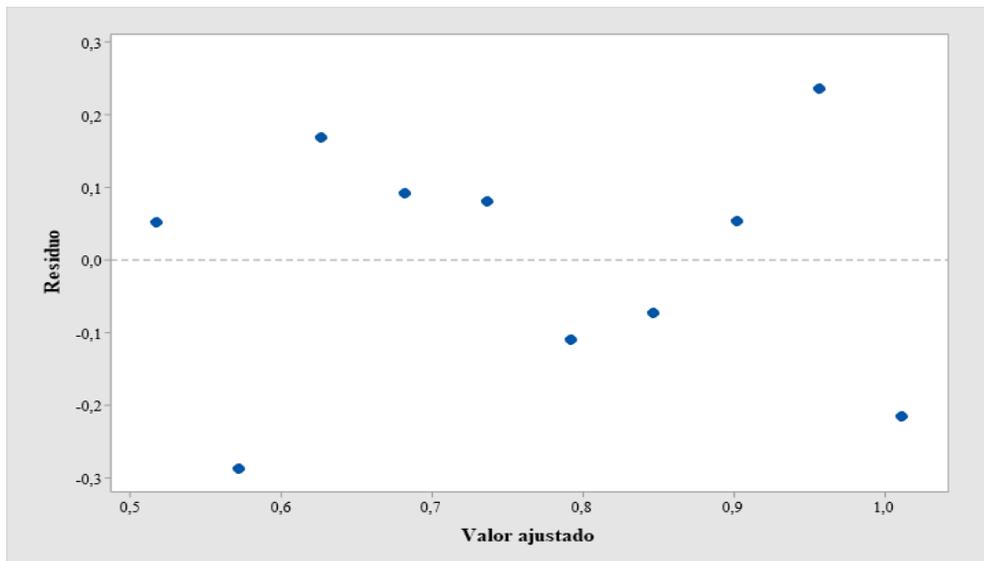
<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos cumplen con la distribución normal
	$H_a$ : Los datos no cumplen con la distribución normal

<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>N:</b>	50 Datos
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Kolmogorov – Smirnov	0.216	<b>Valor p = 0.150</b>
<b>Decisión:</b>	Se acepta la ( $H_0$ ) hipótesis nula		
<b>Conclusión:</b>	De acuerdo con el p valor, siendo mayor que el 5% de significancia esta se acepta.		
<b>Observación:</b>	No es necesario realizar un ajuste de los datos.		

**Fuente:** Autor

### 3.2.10.2 Prueba de Igualdad de Varianza

Para determinar si los datos tienen igual varianza se realizó mediante la aleatoriedad de los predichos. En esta parte se analiza los valores ajustados y su aleatoriedad en el cual no existe una secuencia definida de los datos, es decir los puntos están distribuidos indistintamente frente a los residuos, esto se lo puede apreciar en la figura 3.17 en donde se muestra lo mencionado anteriormente.

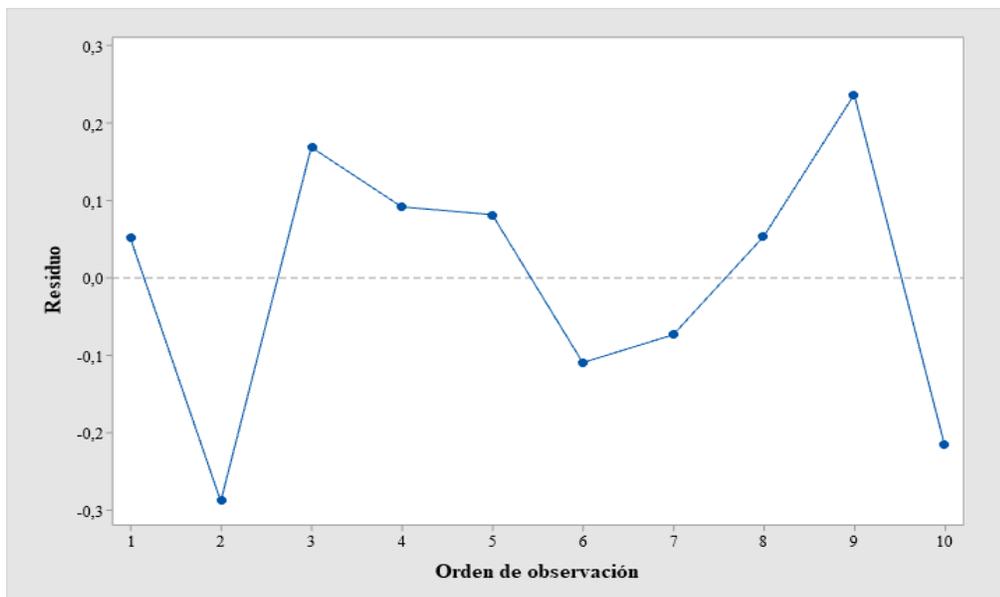


**Figura 3. 17** Predichos vs Residuos de la EMF

**Fuente:** Software estadístico Minitab

### 3.2.10.3 Independencia de Residuos

De acuerdo al apartado anterior, en esta prueba se analiza por observación directa, en donde se apoya en la figura 3.18 en el cual los datos de la energía Media de Fallo no tienen una uniformidad, es decir, los datos no tienen un patrón definido, con lo que se concluye que si existe independencia entre los residuos. De esta forma el supuesto se cumple.



**Figura 3. 18** Prueba de Independencia de Residuos EMF

**Fuente:** Software estadístico Minitab

### 3.3 Optimización de los Resultados (Doe- Mezclas)

#### 3.3.1 Resultados para la optimización

Tabla 3. 28 Resultados para la optimización.

Supuestos comprobados									
#	FV	FA	FC	Esf. (MPa) T	E (Mpa) T (10 <sup>-6</sup> )	Esf. (MPa) F	E (MPa)	Deflexión (mm)	EMF (J)
1	0,33	0,67	0,00	4,6646	7,7079	1,5074	9,1223	1,7860	0,569
2	0,33	0,67	0,00	4,5436	7,3621	1,4993	8,0154	4,4260	0,569
3	0,33	0,67	0,00	4,2122	4,3756	1,5062	7,9909	2,4800	0,569
4	0,33	0,67	0,00	4,2323	7,2650	1,4860	6,2130	2,8390	0,569
5	0,33	0,67	0,00	4,2245	5,6998	1,4760	8,4180	3,0080	0,569
6	1,00	0,00	0,00	6,5444	3,2108	1,4734	6,7994	4,6050	0,284
7	1,00	0,00	0,00	6,0512	2,8742	1,5200	7,6221	3,9820	0,284
8	1,00	0,00	0,00	6,2932	3,1323	1,6148	8,6889	4,1020	0,284
9	1,00	0,00	0,00	6,0984	2,7840	1,5310	7,6500	4,3100	0,284
10	1,00	0,00	0,00	6,2878	3,3611	1,5430	6,0780	4,3180	0,284
11	0,33	0,33	0,33	5,3869	3,8797	1,6440	8,6049	5,3690	0,796
12	0,33	0,33	0,33	5,7790	4,5807	1,5350	7,3510	5,0790	0,796
13	0,33	0,33	0,33	5,5393	5,1955	1,5330	7,6249	4,3390	0,796
14	0,33	0,33	0,33	5,5165	3,9810	1,5950	8,1414	4,9522	0,796
15	0,33	0,33	0,33	5,8810	4,9462	1,6020	7,3147	7,9170	0,796
16	0,67	0,33	0,00	6,4935	2,8501	1,6260	8,9601	4,4800	0,774
17	0,67	0,33	0,00	6,8497	3,1305	1,6260	8,9161	4,1792	0,774
18	0,67	0,33	0,00	6,8343	3,4630	1,5860	9,0280	4,0840	0,774
19	0,67	0,33	0,00	6,5047	2,8760	1,5810	8,5570	4,3200	0,774
20	0,67	0,33	0,00	6,4567	2,6546	1,6170	7,0876	4,1750	0,774
21	0,33	0,00	0,67	4,6691	4,7129	1,5200	7,1494	5,1440	0,819
22	0,33	0,00	0,67	5,2886	6,3157	1,5100	8,4112	2,5100	0,819
23	0,33	0,00	0,67	5,0714	5,7356	1,5620	8,3853	3,5690	0,819
24	0,33	0,00	0,67	5,4977	5,3109	1,5350	8,2396	3,2110	0,819
25	0,33	0,00	0,67	5,9041	5,6063	1,5050	7,6992	3,4640	0,819
26	0,00	1,00	0,00	5,1456	4,6769	1,5030	7,5429	3,7092	0,683
27	0,00	1,00	0,00	5,5129	5,1037	1,5100	7,2395	4,5850	0,683
28	0,00	1,00	0,00	6,0833	4,4203	1,5260	7,3431	4,8210	0,683
29	0,00	1,00	0,00	5,5531	4,6354	1,5130	6,8807	5,7200	0,683
30	0,00	1,00	0,00	5,3379	6,5007	1,5240	7,5845	4,1580	0,683
31	0,67	0,00	0,33	6,3382	3,6080	1,6140	8,9883	3,7550	0,774
32	0,67	0,00	0,33	6,1817	3,2537	1,4850	7,8020	2,8650	0,774
33	0,67	0,00	0,33	6,3625	3,3214	1,5880	8,3887	4,1980	0,774
34	0,67	0,00	0,33	6,0566	4,1354	1,6090	8,8035	3,9620	0,774
35	0,67	0,00	0,33	6,7946	3,9221	1,5630	8,6292	3,2120	0,774
36	0,00	0,00	1,00	5,1383	8,9260	1,4630	6,8785	4,0930	0,956
37	0,00	0,00	1,00	5,0404	8,4219	1,4270	7,2570	2,5800	0,956
38	0,00	0,00	1,00	5,2009	8,1261	1,4390	7,4424	2,5330	0,956
39	0,00	0,00	1,00	4,7203	8,3993	1,4060	7,3888	2,0640	0,956

40	0,00	0,00	1,00	4,8913	9,3766	1,3910	7,0668	2,2200	0,956
41	0,00	0,33	0,67	4,8286	8,4662	1,4180	7,1517	2,5620	1,194
42	0,00	0,33	0,67	5,0491	8,8228	1,4910	7,5719	3,3800	1,194
43	0,00	0,33	0,67	4,8680	7,3523	1,4800	7,2563	3,7250	1,194
44	0,00	0,33	0,67	5,0416	8,5670	1,4860	6,2665	6,9710	1,194
45	0,00	0,33	0,67	5,4801	10,7184	1,4420	7,2073	2,9400	1,194
46	0,00	0,67	0,33	4,9355	8,0739	1,5020	6,3946	7,1440	0,796
47	0,00	0,67	0,33	4,6444	8,1343	1,5150	7,5973	3,8980	0,796
48	0,00	0,67	0,33	5,4591	7,4885	1,4660	6,9118	4,1000	0,796
49	0,00	0,67	0,33	5,1293	8,0003	1,5070	6,6560	6,2700	0,796
50	0,00	0,67	0,33	5,2833	8,4836	1,4710	6,4684	5,5490	0,796
			Min	4,2122	2,6546	1,3910	6,0780	1,7860	0,2840
			Max	6,8497	10,7184	1,6440	9,1223	7,9170	1,1940

Fuente: Autor

### Nomenclatura:

**Esf. T** = Esfuerzo de Tracción

**E.F** = Módulo de Elasticidad de Flexión

**E.T** = Módulo de Elasticidad de Tracción

**EMF** = Energía Media De Fallo

**Esf. F** = Esfuerzo de Flexión

En la tabla 3.28 se muestra los datos de cada tratamiento una vez cumplido con todos los supuestos de Normalidad, Igualdad de Varianzas e Independencia de Residuos. Los datos de Impacto se acoplan a la matriz de la tabla del método de mezclas, esto se lo hace con el fin de seguir el procedimiento de mezclas para trabajar con todas las respuestas de salida y, de esta manera, obtener un solo valor de los porcentajes de los componentes de la mezcla del material híbrido.

### 3.3.2 Análisis del Modelo Estadístico

#### 3.3.2.1 Regresión para mezclas: Esf. T vs. FV; FA; FC

Tabla 3. 29 Coeficientes de regresión estimados para Esf. T

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
FV	6,237	0,125	*	*	2,17
FA	5,415	0,106	*	*	1,55
FC	4,929	0,106	*	*	1,55
FV*FA	-1,334	0,524	-2,55	0,015	1,91
FV*FC	1,178	0,524	2,25	0,030	1,91
FV*FA*(-)	13,35	1,26	10,60	0,000	1,09
FV*FC*(-)	4,22	1,26	3,34	0,002	1,09

Fuente: Software estadístico Minitab

**Análisis:** En la tabla 3.29 se muestra la evaluación de los términos de la ecuación en base al p-valor, en la cual consiste en que debe ser menor al 5% de la significancia propuesta. Si el valor p es mayor indica que el termino no es significativo.

**Tabla 3. 30** Coeficientes de Determinación

R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
86,61%	84,74%

**Fuente:** Software estadístico Minitab

**Análisis:** En la tabla 3.30 se manifiesta el R cuadrado, el cual indica que los datos para el análisis del modelo estadístico están ajustados a la línea de regresión, esto es debido a que si cumple con los supuestos que se realizó en el apartado 3.2.

### 3.3.2.2 Regresión para mezclas: E.T vs. FV; FA; FC

**Tabla 3. 31** Coeficientes de regresión estimados para E T

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
FV	3,190	0,415	*	*	2,17
FA	5,881	0,351	*	*	1,55
FC	9,330	0,351	*	*	1,55
FV*FA	0,12	1,74	0,07	0,047	1,91
FV*FC	-8,30	1,74	-4,77	0,000	1,91
FV*FA*(-)	-17,49	4,19	-4,18	0,000	1,09
FV*FC*(-)	1,07	4,19	0,26	0,050	1,09

**Fuente:** Software estadístico Minitab

**Análisis:** En la tabla 3.31 se muestra la evaluación de los términos de la ecuación en base al p-valor, en la cual consiste en que debe ser menor al 5% de la significancia propuesta. Si el valor p es mayor indica que el termino no es significativo.

**Tabla 3. 32** Coeficientes de Determinación

R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
84,55%	82,40%

**Fuente:** Software estadístico Minitab

**Análisis:** En la tabla 3.32 se manifiesta el R cuadrado, el cual indica que los datos para el análisis del modelo estadístico están ajustados a la línea de regresión, esto es debido a que si cumple con los supuestos que se realizó en el apartado 3.2.

### 3.3.2.3 Regresión para mezclas: Esf. F vs. FV; FA; FC

**Tabla 3. 33** Coeficientes de regresión estimados para Esf. F

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
FV	1,5310	0,0154	*	*	2,17
FA	1,5202	0,0130	*	*	1,55
FC	1,4305	0,0130	*	*	1,55
FV*FA	0,1517	0,0645	2,35	0,023	1,91
FV*FC	0,3444	0,0645	5,34	0,000	1,91
FV*FA*(-)	0,733	0,155	4,72	0,000	1,09
FV*FC*(-)	0,081	0,155	0,52	0,607	1,09

**Fuente:** Software estadístico Minitab

**Análisis:** En la tabla 3.33 se muestra la evaluación de los términos de la ecuación en base al p-valor, en la cual consiste en que debe ser menor al 5% de la significancia propuesta. Si el valor p es mayor indica que el termino no es significativo.

**Tabla 3. 34** Coeficientes de Determinación

R-cuad.	R-cuad.(ajustado)
71,84%	67,91%

**Fuente:** Software estadístico Minitab

**Análisis:** En la tabla 3.34 se manifiesta el R cuadrado, el cual indica que los datos para el análisis del modelo estadístico están ajustados a la línea de regresión, esto es debido a que si cumple con los supuestos que se realizó en el apartado 3.2.

### 3.3.2.4 Regresión para mezclas: E. F vs. FV; FA; FC

**Tabla 3. 35** Coeficientes de regresión estimados para E. F

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
FV	7,418	0,288	*	*	2,17
FA	7,100	0,243	*	*	1,55
FC	7,085	0,243	*	*	1,55
FV*FA	4,03	1,21	3,35	0,002	1,91
FV*FC	4,15	1,21	3,44	0,001	1,91
FV*FA*(-)	3,05	2,90	1,05	0,029	1,09
FV*FC*(-)	2,93	2,90	1,01	0,031	1,09

**Fuente:** Software estadístico Minitab

**Análisis:** En la tabla 3.35 se muestra la evaluación de los términos de la ecuación en base al p-valor, en la cual consiste en que debe ser menor al 5% de la significancia propuesta. Si el valor p es mayor indica que el termino no es significativo.

**Tabla 3. 36** Coeficientes de Determinación

R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
74,14%	73,34%

**Fuente:** Software estadístico Minitab

**Análisis:** En la tabla 3.36 se manifiesta el R cuadrado, el cual indica que los datos para el análisis del modelo estadístico están ajustados a la línea de regresión, esto es debido a que si cumple con los supuestos que se realizó en el apartado 3.2.

### 3.3.2.5 Regresión para mezclas: Deflexión vs. FV; FA; FC

**Tabla 3. 37** Coeficientes de regresión estimados para Deflexión

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
FV	4,008	0,538	*	*	2,17
FA	5,292	0,454	*	*	1,55
FC	3,138	0,454	*	*	1,55
FV*FA	-3,10	2,25	-1,38	0,017	1,91
FV*FC	1,79	2,25	0,80	0,031	1,91
FV*FA*(-)	11,93	5,42	2,20	0,033	1,09
FV*FC*(-)	-1,83	5,42	-0,34	0,037	1,09

**Fuente:** Software estadístico Minitab

**Análisis:** En la tabla 3.37 se muestra la evaluación de los términos de la ecuación en base al p-valor, en la cual consiste en que debe ser menor al 5% de la significancia propuesta. Si el valor p es mayor indica que el termino no es significativo.

**Tabla 3. 38** Coeficientes de Determinación

R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
72,13%	71,26%

**Fuente:** Software estadístico Minitab

**Análisis:** En la tabla 3.38 se manifiesta el R cuadrado, el cual indica que los datos para el análisis del modelo estadístico están ajustados a la línea de regresión, esto es debido a que si cumple con los supuestos que se realizó en el apartado 3.2.

### 3.3.2.6 Regresión para mezclas: EMF (J) vs. FV; FA; FC

**Tabla 3. 39** Coeficientes de regresión estimados para EMF (J)

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
FV	0,2894	0,0412	*	*	2,17
FA	0,7233	0,0348	*	*	1,55
FC	1,0884	0,0348	*	*	1,55
FV*FA	0,706	0,173	4,09	0,000	1,91
FV*FC	0,447	0,173	2,59	0,013	1,91
FV*FA*(-)	2,360	0,416	5,68	0,000	1,09
FV*FC*(-)	1,494	0,416	3,60	0,001	1,09

**Fuente:** Software estadístico Minitab

**Análisis:** En la tabla 3.39 se muestra la evaluación de los términos de la ecuación en base al p-valor, en la cual consiste en que debe ser menor al 5% de la significancia propuesta. Si el valor p es mayor indica que el termino no es significativo.

**Tabla 3. 40** Coeficientes de Determinación

R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
85,14%	83,07%

**Fuente:** Software estadístico Minitab

**Análisis:** En la tabla 3.40 se manifiesta el R cuadrado, el cual indica que los datos para el análisis del modelo estadístico están ajustados a la línea de regresión, esto es debido a que si cumple con los supuestos que se realizó en el apartado 3.2.

### 3.3.3 Optimización de Respuestas

**Tabla 3. 41** Parámetros de Optimización

	Meta	Inferior	Objetivo	Superior
Esf. T	Máximo	4,2122	6,8497	6,8497
E T	Máximo	2,6550	2,6550	10,718
Esf. F	Máximo	1,3910	1,6440	1,6440
E. F	Máximo	6,0780	9,1223	9,1223
Deflexión	Mínimo	1,7860	1,7860	7,9170
Enrg Imp (J)	Máximo	0,2840	1,1940	1,1940

**Fuente:** Software estadístico Minitab

**Análisis:** En la tabla 3.41 se muestra los parámetros de comparación con los valores máximos y mínimos de la tabla 3.28, se insertan para dar dar inicio a la optimización con las variables de entrada, en donde, la meta es

maximizar las respuestas del Esfuerzo de Tracción, Modulo de Tracción, Esfuerzo de Flexión, Módulo de Flexión y la Energía media de Fallo, mientras que la deflexión la meta es minimizar el valor.

**Tabla 3. 42** Solución global

Componentes		Porcentaje	
FV	=	0,669132	20.07%
FA	=	0,161616	4.85%
FC	=	0,169252	5.08%
RP	=	Constante	70.00%
<b>Total de la mezcla</b>		<b>100%</b>	

**Fuente:** Software estadístico Minitab

**Análisis:** En la tabla 3.42 se muestra los resultados de las fibras dando la mejor combinación del material compuesto para las propiedades indicadas en la figura 3.13. Tomando en cuenta que la Resina se mantiene constante del 70%, y transformado los datos de las fibras se tiene 20.07% para la fibra de vidrio, para la fibra de abacá es de 4.85% y para la fibra de Cabuya es 5.08%, dando como resultado una mezcla del 100% del material compuesto.

**Tabla 3. 43** Respuestas de la optimización

Respuestas	
Esf. T	= 6,84316
E T	= 2,83759E-6
Esf. F	= 1,61244
E. F	= 8,54980
Deflexión	= 4,48713
EMF (J)	= 0,83595

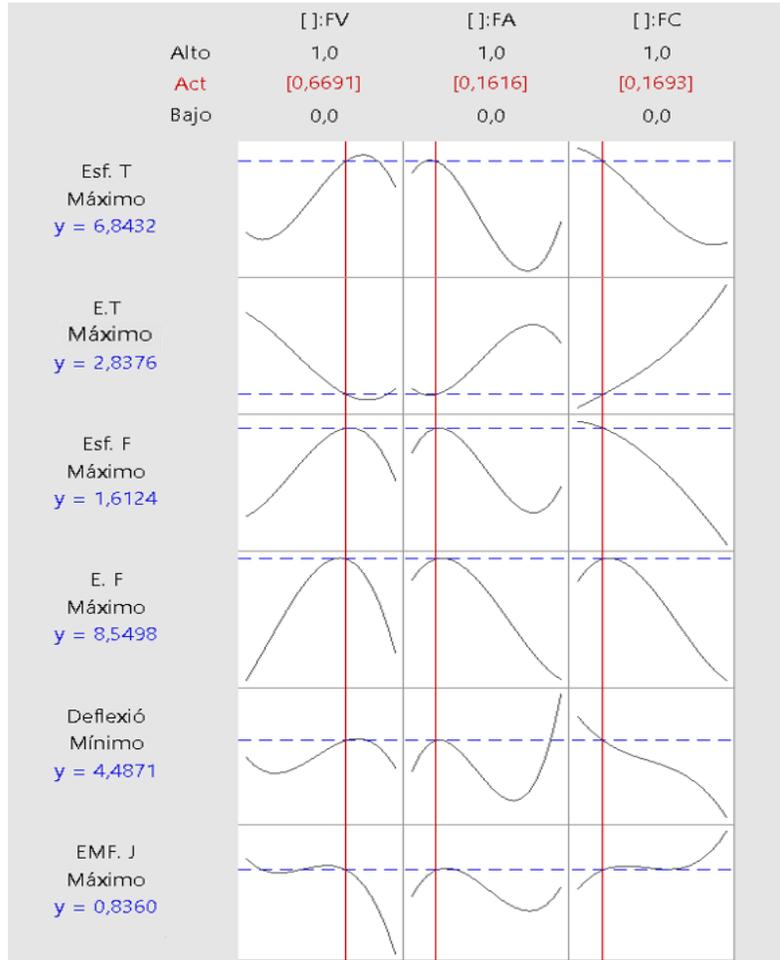
**Fuente:** Software estadístico Minitab

**Análisis:** En la tabla 3.43 se muestra los resultados con la combinación de la tabla 3.28 para el (Esf. T, E.T, Esf. F, Deflexión y EMF) siendo resultados que se obtendrá al insertar las fracciones volumétricas de las fibras en las ecuaciones posteriores. En la tabla 3.44 se encuentran los resultados transformados de la tabla 3.43, porque se trabajó con los datos transformados de ajuste Box-Cox con su respectiva lambda, de acuerdo a la teoría se debe volver a los resultados iniciales con los que se obtuvieron los resultados del ensayo de Tracción, Flexión e Impacto.

**Tabla 3. 44** Respuestas de la optimización

Datos transformados	Respuesta	$\lambda$
Esf. T	46.83 MPa	0.5
E.T	4989.23 MPa	-1.5
Esf. F	118.81 MPa	0.1
E. F	5343.48 Mpa	0.25
Deflexión	4.48 mm	-
EMF (J)	0.834 (J)	-

**Fuente:** Autor

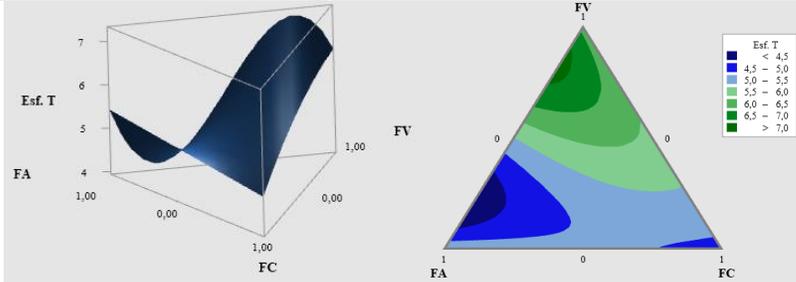
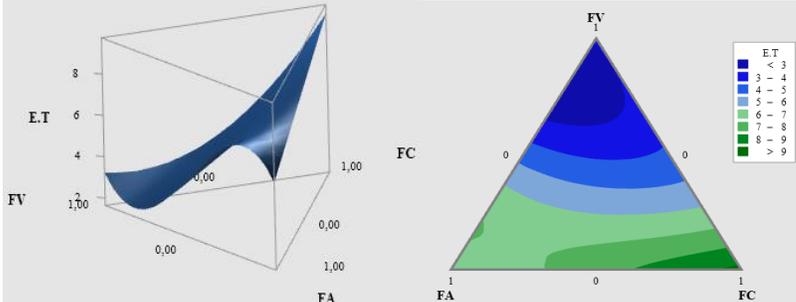
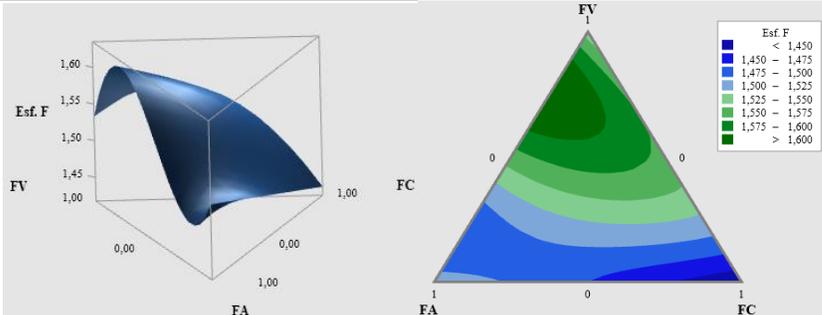


**Figura 3. 19** Optimización (DOE-Mezclas) del Material Híbrido

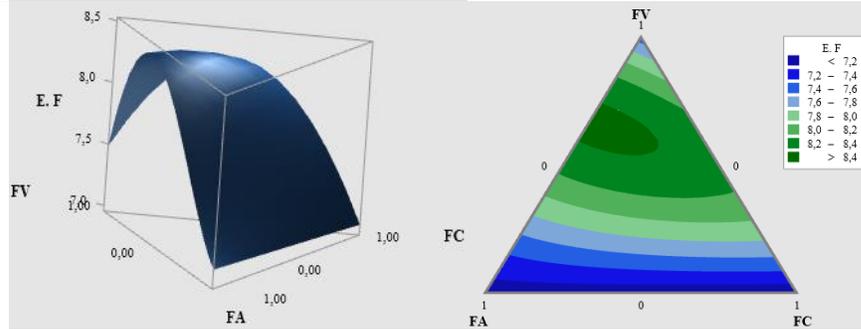
**Fuente:** Software estadístico Minitab

Las respuestas de la figura 3.19 se obtiene mediante las ecuaciones descritas en la tabla 3.45 de los datos transformados, con esto se obtiene las respuestas óptimas del material híbrido.

**Tabla 3. 45** Ecuaciones

Ecuación del Esfuerzo de Tracción	
	
<p><b>Figura 3. 20</b> Mezcla del Esf. de Tracción  <b>Fuente:</b> Software estadístico Minitab</p>	
$6.237x FV + 5.415x FA + 4.929x FC - 1.334x FAx FV + 1.78x FVx FC + 13.35x FVx FA(FV - FA) + 4.22x FVx FC(FV - FC) = \mathit{Esf. T}$	
Ecuación del Módulo de Elasticidad de Tracción	
	
<p><b>Figura 3. 21</b> Mezcla del Módulo de Elasticidad de Tracción  <b>Fuente:</b> Software estadístico Minitab</p>	
$3.19x FV + 5.881x FA + 9.33x FC + 0.12x FAx FV - 8.30x FVx FC - 17.49x FVx FA(FV - FA) + 1.07x FVx FC(FV - FC) = \mathit{E. T}$	
Ecuación del Esfuerzo de Flexión	
	
<p><b>Figura 3. 22</b> Mezcla del Esfuerzo de Flexión  <b>Fuente:</b> Software estadístico Minitab</p>	
$1.5310x FV + 1.5202x FA + 1.4305x FC + 0.1517x FAx FV + 0.3444x FVx FC + 0.733x FVx FA(FV - FA) + 0.081x FVx FC(FV - FC) = \mathit{Esf. F}$	

### Ecuación del Módulo de Elasticidad de Flexión

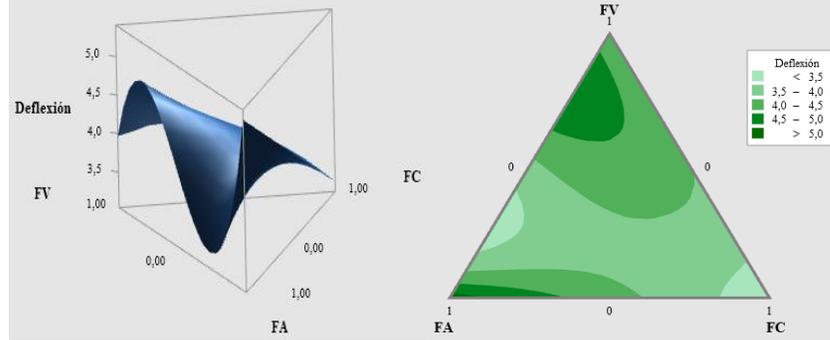


**Figura 3. 23** Mezcla del Módulo de Elasticidad de Flexión

**Fuente:** Software estadístico Minitab

$$7.418x FV + 7.1x FA + 7.085x FC + 4.03x FAx FV + 4.15x FVx FC + 3.05x FVx FA(FV - FA) + 2.93x FVx FC(FV - FC) = E.F$$

### Ecuación de la Deflexión

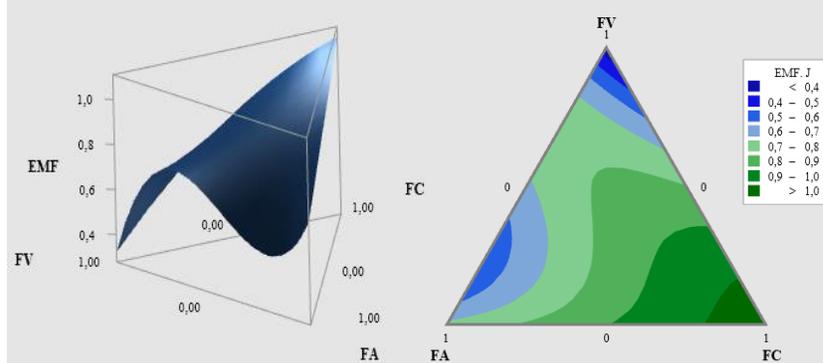


**Figura 3. 24** Superficie de la Deflexión

**Fuente:** Software estadístico Minitab

$$4.008x FV + 5.292x FA + 3.138x FC - 3.10x FAx FV + 1.79x FVx FC + 11.93x FVx FA(FV - FA) - 1.83x FVx FC(FV - FC) = E.F$$

### Energía Media de Fallo



**Figura 3. 25** Superficie de la EMF

**Fuente:** Software estadístico Minitab

$$0.2894x FV + 0.7233x FA + 1.0884x FC - 0.706x FAx FV + 0.447x FVx FC + 2.360x FVx FA(FV - FA) + 1.494x FVx FC(FV - FC) = EMF$$

**Fuente:** Software estadístico Minitab

### 3.4 Verificación de Hipótesis

H<sub>0</sub>: La aplicación del método (DOE-Mezclas) del material híbrido con refuerzos de fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio de matriz de resina poliéster de igual significancia no permitirá optimizar las propiedades mecánicas (Tracción, Flexión e Impacto).

H<sub>a</sub>: La aplicación del método (DOE-Mezclas) del material híbrido con refuerzos de fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio de matriz de resina poliéster de diferente significancia permitirá optimizar las propiedades mecánicas (Tracción, Flexión e Impacto).

Para la verificación de la hipótesis se basará en las tablas de análisis de varianza en Mezclas para Tracción, Flexión e Impacto, que obtienen del análisis de resultados del software estadístico Minitab.

**Tabla 3. 46** Análisis de varianza para Esf. T

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	6	22,1964	22,1964	3,69939	46,36	0,000
Lineal	2	11,5977	5,3179	2,65895	33,32	0,000
Cuadrático	2	0,9546	1,0771	0,53854	6,75	0,003
FV*FA	1	0,9066	0,5173	0,51727	6,48	0,015
FV*FC	1	0,0480	0,4034	0,40341	5,06	0,030
Cúbico completo	2	9,6440	9,6440	4,82201	60,43	0,000
FV*FA*(-)	1	8,7514	8,9571	8,95713	112,26	0,051
FV*FC*(-)	1	0,8926	0,8926	0,89257	11,19	0,002
Error residual	43	3,4310	3,4310	0,07979		
Falta de ajuste	3	0,3045	0,3045	0,10149	1,30	0,288
Error puro	40	3,1266	3,1266	0,07816		
Total	49	25,6274				

**Fuente:** Software estadístico Minitab

En la tabla 3.46 se puede apreciar que los p-valores del modelo lineal cuadrático y cúbico completo son diferentes. Para el modelo cúbico completo se tiene un p-valor de 0.051 del termino (FV\*FA\*(-)) siendo mayor que la significancia del 5%, mientras que, para el modelo lineal y cuadrático se identifica que los p-valores son menores que la significancia.

En base a lo especificado se puede decir que existen diferencias significativas en los datos, por lo que los valores tendrán un máximo y un mínimo permitiendo la optimización en los mismos, en este caso se rechaza la hipótesis ( $H_0$ ) nula y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ).

Además, el p-valor de la regresión del análisis de varianza es de 0.000 siendo menor que la significancia del 5%, demostrando que el modelo cúbico completo es ideal para analizar los resultados con las variables de entrada.

**Tabla 3. 47** Análisis de varianza para E. T

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	6	207,023	207,023	34,5038	39,23	0,000
Lineal	2	175,088	113,173	56,5864	64,33	0,000
Cuadrático	2	16,426	20,568	10,2842	11,69	0,000
FV*FA	1	0,469	0,004	0,0040	0,00	0,947
FV*FC	1	15,957	20,043	20,0431	22,79	0,000
Cúbico completo	2	15,509	15,509	7,7546	8,82	0,001
FV*FA*(-)	1	15,452	15,355	15,3551	17,46	0,000
FV*FC*(-)	1	0,057	0,057	0,0573	0,07	0,800
Error residual	43	37,822	37,822	0,8796		
Falta de ajuste	3	15,706	15,706	5,2353	9,47	0,000
Error puro	40	22,116	22,116	0,5529		
Total	49	244,845				

**Fuente:** Software estadístico Minitab

En la tabla 3.47 se puede apreciar que los p-valores del modelo lineal, cuadrático y cúbico completo son diferentes. Para el modelo lineal y cúbico completo se tiene un p-valor de 0.947 del termino (FV\*FA) y un p-valor de 0.8 para el termino (FV\*FC\*(-)) respectivamente siendo mayor que la significancia del 5%, mientras que, para el modelo cuadrático se identifica que el p-valor es menor que la significancia.

En base a lo especificado se puede decir que existen diferencias significativas en los datos, por lo que los valores tendrán un máximo y un mínimo permitiendo la optimización en los mismos, en este caso se rechaza la hipótesis ( $H_0$ ) nula y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ).

Además, el p-valor de la regresión del análisis de varianza es de 0.000 siendo menor que la significancia del 5%, demostrando que el modelo cúbico completo es ideal para analizar los resultados con las variables de entrada.

**Tabla 3. 48** Análisis de varianza para Esf. F

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	6	0,132850	0,132850	0,022142	18,28	0,000
Lineal	2	0,075589	0,035030	0,017515	14,46	0,000
Cuadrático	2	0,030121	0,037554	0,018777	15,50	0,000
FV*FA	1	0,002910	0,006690	0,006690	5,52	0,023
FV*FC	1	0,027211	0,034501	0,034501	28,49	0,000
Cúbico completo	2	0,027140	0,027140	0,013570	11,20	0,000
FV*FA*(-)	1	0,026814	0,027004	0,027004	22,30	0,000
FV*FC*(-)	1	0,000325	0,000325	0,000325	0,27	0,607
Error residual	43	0,052076	0,052076	0,001211		
Falta de ajuste	3	0,007194	0,007194	0,002398	2,14	0,111
Error puro	40	0,044882	0,044882	0,001122		
Total	49	0,184926				

**Fuente:** Software estadístico Minitab

En la tabla 3.48 se puede apreciar que los p-valores del modelo lineal, cuadrático y cúbico completo son diferentes. Para el modelo cúbico completo se tiene un p-valor de 0.607 del termino (FV\*FC\*(-)) siendo mayor que la significancia del 5%, mientras que, para el modelo lineal y cuadrático se identifica que los p-valores son menores que la significancia.

En base a lo especificado se puede decir que existen diferencias significativas en los datos, por lo que los valores tendrán un máximo y un mínimo permitiendo la optimización en los mismos, en este caso se rechaza la hipótesis ( $H_0$ ) nula y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ).

Además, el p-valor de la regresión del análisis de varianza es de 0.000 siendo menor que la significancia del 5%, demostrando que el modelo cúbico completo es ideal para analizar los resultados con las variables de entrada.

**Tabla 3. 49** Análisis de varianza para E. F

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	6	14,3568	14,3568	2,3928	5,66	0,000
Lineal	2	5,5987	0,4361	0,2181	0,52	0,601
Cuadrático	2	7,8929	8,4964	4,2482	10,05	0,000

FV*FA	1	3,2532	4,7281	4,7281	11,19	0,002
FV*FC	1	4,6397	5,0085	5,0085	11,85	0,001
Cúbico completo	2	0,8652	0,8652	0,4326	1,02	0,368
FV*FA*(-)	1	0,4334	0,4671	0,4671	1,11	0,299
FV*FC*(-)	1	0,4318	0,4318	0,4318	1,02	0,318
Error residual	43	18,1700	18,1700	0,4226		
Falta de ajuste	3	1,3168	1,3168	0,4389	1,04	0,385
Error puro	40	16,8531	16,8531	0,4213		
Total	49	32,5268				

**Fuente:** Software estadístico Minitab

En la tabla 3.49 se puede apreciar que los p-valores del modelo lineal, cuadrático y cúbico completo son diferentes. Para el modelo cuadrático se tiene un p-valor de los términos [(FV\*FC) - (FV\*FA)] menores que la significancia del 5%, mientras que, para el modelo lineal y cúbico se identifica que los p-valores son mayores que la significancia.

En base a lo especificado se puede decir que existen diferencias significativas en los datos, por lo que los valores tendrán un máximo y un mínimo permitiendo la optimización en los mismos, en este caso se rechaza la hipótesis ( $H_0$ ) nula y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ).

Además, el p-valor de la regresión del análisis de varianza es de 0.000 siendo menor que la significancia del 5%, demostrando que el modelo cúbico completo es ideal para analizar los resultados con las variables de entrada.

**Tabla 3. 50** Análisis de varianza para Deflexión

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	6	18,0509	18,0509	3,0085	2,04	0,008
Lineal	2	7,0342	13,0583	6,5291	4,42	0,018
Cuadrático	2	3,6020	4,3000	2,1500	1,46	0,024
FV*FA	1	3,2137	2,8004	2,8004	1,90	0,017
FV*FC	1	0,3884	0,9352	0,9352	0,63	0,043
Cúbico completo	2	7,4147	7,4147	3,7073	2,51	0,093
FV*FA*(-)	1	7,2463	7,1495	7,1495	4,84	0,033
FV*FC*(-)	1	0,1684	0,1684	0,1684	0,11	0,737
Error residual	43	63,5338	63,5338	1,4775		
Falta de ajuste	3	21,7070	21,7070	7,2357	6,92	0,001
Error puro	40	41,8268	41,8268	1,0457		
Total	49	81,5847				

**Fuente:** Software estadístico Minitab

En la tabla 3.50 se puede apreciar que los p-valores del modelo lineal, cuadrático y cúbico completo son diferentes. Para el modelo lineal y cuadrático se tiene un p-valor de los términos [(FV\*FC) - (FV\*FA)] menores que la significancia del 5%, mientras que, para el modelo cúbico completo se identifica que el p-valor son mayores que la significancia.

En base a lo especificado se puede decir que existen diferencias significativas en los datos, por lo que los valores tendrán un máximo y un mínimo permitiendo la optimización en los mismos, en este caso se rechaza la hipótesis ( $H_0$ ) nula y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ).

Además, el p-valor de la regresión del análisis de varianza es de 0.008 siendo menor que la significancia del 5%, demostrando que el modelo cúbico completo es ideal para analizar los resultados con las variables de entrada.

**Tabla 3. 51** Análisis de varianza para EMF (J)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	6	2,13722	2,13722	0,356203	41,08	0,000
Lineal	2	1,63593	1,93259	0,966293	111,43	0,000
Cuadrático	2	0,12269	0,18031	0,090155	10,40	0,000
FV*FA	1	0,09523	0,14510	0,145101	16,73	0,000
FV*FC	1	0,02745	0,05821	0,058206	6,71	0,053
Cúbico completo	2	0,37860	0,37860	0,189298	21,83	0,000
FV*FA*(-)	1	0,26650	0,27972	0,279721	32,26	0,000
FV*FC*(-)	1	0,11210	0,11210	0,112098	12,93	0,001
Error residual	43	0,37289	0,37289	0,008672		
Falta de ajuste	3	0,37289	0,37289	0,124295	*	*
Error puro	40	0,00000	0,00000	0,000000		
Total	49	2,51010				

**Fuente:** Software estadístico Minitab

En la tabla 3.51 se puede apreciar que los p-valores del modelo lineal, cuadrático y cúbico completo son diferentes. Para el modelo cuadrático se tiene un p-valor del término [(FV\*FC)] de 0.053 siendo mayor que la significancia del 5%, mientras que, para el lineal y cúbico completo se identifica que el p-valor son menores que la significancia.

En base a lo especificado se puede decir que existen diferencias significativas en los datos, por lo que los valores tendrán un máximo y un mínimo permitiendo la

optimización en los mismos, en este caso se rechaza la hipótesis ( $H_0$ ) nula y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ).

Además, el p-valor de la regresión del análisis de varianza es de 0.000 siendo menor que la significancia del 5%, demostrando que el modelo cúbico completo es ideal para analizar los resultados con las variables de entrada.

## CAPÍTULO 4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- ✚ En el presente trabajo experimental realizado se aplicó el método Simplex Reticular, generando 10 tratamientos que cumplen el 100% de la mezcla para el material compuesto, que consta de 3 retículos (FV - FA - FC) basados en la forma geométrica triangular constando de sus vértices las mezclas puras.
- ✚ Con los ensayos de Tracción, Flexión e Impacto, se obtuvo las propiedades mecánicas, mediante la aplicación de las normas ASTM D3039/D3039M, ASTM 7264/D7264M y la ASTM D5628 respectivamente, obteniendo en total 50 resultados individuales por los 10 tratamientos generados para realizar la optimización (DOE-Mezclas) según el apartado 3.1-3.2 y 3,3.
- ✚ Mediante las propiedades del Esfuerzo de Tracción y Flexión, Módulo de Elasticidad de Tracción y Flexión, Deflexión y la Energía Media de Fallo, se evaluaron los supuestos de Normalidad, Igualdad de Varianza e Independencia de Residuos dando cumplimiento con la condición del p-valor que sea mayor de la significancia del 5%, en este caso el Esfuerzo de Tracción y Flexión, Módulo de Elasticidad de Tracción y Flexión no cumplió, puesto que se utilizó la transformación de ajuste Box-Cox para dar cumplimiento a los supuestos mencionados.
- ✚ Se concluye que, con la optimización realizada la fibra de Vidrio tiene mayor incidencia en la respuesta del material compuesto, dando como porcentaje volumétrico del 20.07 %, mientras que las fibras naturales tiene menor incidencia dando como resultado de la fibra de abacá de 4.85% y de cabuya del 5.08%, con estas fracciones volumétricas obtenidas se tiene un Esfuerzo Tracción de 46.83 MPa con un Módulo de Elasticidad de 4989.23 MPa, para el Esfuerzo de Flexión se obtuvo 118.81 MPa con un Módulo de Elasticidad de 5343.48 MPa y una deflexión de 4.48 mm mientras que la Energía Media de Fallo se tiene un resultado de 0.834 J.

## 4.2 Recomendaciones

- ✚ Se recomienda realizar posteriores investigaciones utilizando la Técnica DOE-Mezclas con otros materiales compuestos, para optimizar las propiedades Mecánicas.
- ✚ Realizar el diseño de experimentos con mezclas, utilizando métodos tales como el método simplex con centroide, o mixto, permitiendo generar más tratamientos para desarrollar una investigación más minuciosa del material.
- ✚ Es recomendable verificar los recursos con los cuales se va a desarrollar la investigación tanto materiales como económicas, permitiendo que el investigador pueda completar el trabajo experimental.
- ✚ Para tener una mejor uniformidad en las probetas se debe considerar el diseño de un molde metálico con el espesor mayor o igual de 4mm para la elaboración de los mismos, caso contrario se genera un pandeo del molde por el calor generado al reaccionar químicamente la resina.
- ✚ Identificar el mejor modelo estadístico para trabajar con la optimización, tomando en cuenta el p-valor siendo menor a la significancia.
- ✚ Se recomienda revisar el catálogo de la resina para calcular correctamente el catalizador MEK y posteriormente para ser mezclado con la resina poliéster, de esta manera, evitar el secado rápido y desperdicio del material.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] U. Iztapalapa, M. Cruz-Salgado, J. ; Alonso-Romero, S. ; Estrada-Monje, and A. ; Zitzumbo-Guzman, “Optimización de propiedades mecánicas de un compuesto de Pet/Madera mediante diseño de experimentos para mezclas,” *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 15, no. 2, pp. 643–654, 2016.
- [2] P. E. Salvatori, G. R. Sánchez, A. G. Lombardi, E. J. Nicocia, and C. E. Boschetti, “Estrategia para la optimización de un compuesto de caucho con aceite de soja utilizando diseños de experimentos,” *Matéria (Rio Janeiro)*, vol. 23, no. 2, Jul. 2018.
- [3] J. . Somer, “Engineered rubber products: Introduction to design, manufacture and testing,” 2008. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/287339037\\_Engineered\\_rubber\\_products\\_Introduction\\_to\\_design\\_manufacture\\_and\\_testing](https://www.researchgate.net/publication/287339037_Engineered_rubber_products_Introduction_to_design_manufacture_and_testing). [Accessed: 23-Jun-2019].
- [4] O. Akalin, K. U. Akay, B. Sennaroglu, and M. Tez, “Optimization of chemical admixture for concrete on mortar performance tests using mixture experiments,” *Chemom. Intell. Lab. Syst.*, vol. 104, no. 2, pp. 233–242, 2010.
- [5] C. J. Shieh, C. C. Akoh, and P. E. Koehler, “Formulation and optimization of sucrose polyester physical properties by mixture response surface methodology,” *JAACS, J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 73, no. 4, pp. 455–460, 1996.
- [6] J. Esteban and T. Enk, “Caracterización De Materiales Compuestos Mediante El Método De Diseño De Experimentos,” Trabajo fin de Grado, Universidad EAFIT, Medellin, 2006.
- [7] M. R. Juárez Sánchez, “Universidad de Valladolid - PDF,” 2016. [Online]. Available: <https://docplayer.es/5349098-Universidad-de-valladolid.html>. [Accessed: 23-Jun-2019].
- [8] J. Poveda, “Metodología de diseño de materiales compuestos de matriz poliolefínica reforzados con fibras discontinuas para aplicaciones en transporte,” Tesis Doctoral, Universidad de Valladolid, Valladolid, 2012.

- [9] J. Dávila *et al.*, “Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales,” Primera Ed., no. December, P. D. Víctor Hugo Guerrero, Ed. Quito, 2011, pp. 11–39.
- [10] S. S. Garud, I. A. Karimi, and M. Kraft, “Design of computer experiments: A review,” *Comput. Chem. Eng.*, vol. 106, pp. 71–95, 2017.
- [11] K. Robert O., “Diseños con superficie de Respuesta,” in *Diseño de Experimentos*, Segunda Ed., R. Pedro, Ed. México: International Thomson Editores, S.A. de C.V., 2001, pp. 423–467.
- [12] H. Gutiérrez and R. V. Salazar, “Diseño de experimentos con mezclas,” in *Análisis y diseño de experimentos*, 2da Ed., S. A. de C. V. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, Ed. México, 2008, pp. 481–507.
- [13] V. Guerrero, G. Villavicencio, and L. Andrade, “Elaboración de Materiales de Matriz Polimérica Reforzados con Fibra de Vidrio Mediante el Método de Aspersión,” *Rev. Politécnica*, vol. 32, no. 1, pp. 37–42, 2013.
- [14] P. D. Mazón Ortiz, “Caracterización mecánica del material híbrido de matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales,” Trabajo de fin de grado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2018.
- [15] F. Oviedo, *Modelo y conformación de plásticos y materiales compuestos*, 1er ed. Mexico, 2013.
- [16] C. William and R. David, *Materials Science and engineering*, 9na ed. Reverté S.A, 2011.
- [17] A. Donald, “Materiales Compuestos: trabajo en equipo y sinergia en materiales,” in *Ciencia e ingeniería de materiales.*, Sexta., S. . D.R2012 por Cengage LEarning Editores, Ed. México, 2011, p. 953.
- [18] Gere James M., *Resistencia de Materiales*, 5ta ed. España: Copyright 2002

International, 2006.

- [19] H. D. Erazo Sánchez, “Análisis estadístico de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido con fibra de vidrio y abacá en matriz polimérica de resina poliéster, para determinar la mejor configuración,” Trabajo fin de grado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2019.
- [20] A. International and indexed, “Designation: D 3039/D 3039M – 00 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials 1,” vol. 15, 2002.
- [21] American Society for Testing and Materials, “Standard test method for flexural properties of polymer matrix composite materials,” *Annu. B. ASTM Stand.*, vol. 7, p. 11, 2007.
- [22] “Ensayo Impacto | Material compuesto | Nylon,” 2015. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/259527695/Ensayo-Impacto>. [Accessed: 23-Jun-2019].
- [23] ASTM, “Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimen by Means of a Striker Impacted by a Falling Weight (Gardner Impact).,” *ASTM Int.*, vol. i, no. Reapproved, pp. 1–8, 2001.
- [24] M. Napoleón and A. Tamayo Duque, “Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación proyecto previo a la obtención del título de ingeniero,” Proyecto fin de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2012.
- [25] L. Hora, “Proceso para obtener la fibra de abacá : Noticias Santo Domingo,” 2016. [Online]. Available: <https://lahora.com.ec/noticia/1101999542/proceso-para-obtener-la-fibra-de-abac->. [Accessed: 14-Jul-2019].
- [26] “Cabuya una versión del futuro textil,” Trabajo de fin de grado, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2016.
- [27] D. Luo *et al.*, “The performance of asphalt mixtures modified with lignin fiber and

glass fiber: A review,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 209, pp. 377–387, 2019.

- [28] D. Wang *et al.*, “Study on the long-term behaviour of glass fibre in the tensile stress field,” *Ceram. Int.*, vol. 45, no. 9, pp. 11578–11583, Jun. 2019.
- [29] C. Higgins, J. Cahill, R. Jolanki, and R. Nixon, “Polyester Resins,” in *Kanerva’s Occupational Dermatology*, Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 1–15.
- [30] J. S. Paredes, “Estudio de polímeros 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,” Trabajo fin de Maestría, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2012.

## ANEXOS

### ANEXO 1 Ficha de la Resina Poliéster

# POL® 33000

Resina poliéster Ortoftálica de propósito general

#### APLICACIONES

- Sistemas reforzados de mediana exigencia mecánica y química.
- Diseñada para la producción de mármol sintético, tanto para piezas moldeadas como para placas planas.
- Laminación manual, vaciados con carga y aplicaciones de propósito general.

#### RECOMENDACIONES DE USO

Para curado a temperatura ambiente entre 20 y 25°C (no se recomienda trabajar por debajo de 15°C) se sugiere la siguiente formulación:

Partes en peso	
POL® 33000	100
Estireno <sup>(1)</sup>	-
Octoato de Cobalto (12% Co)	0.1 a 0.3
MEK Peróxido (9 % oxígeno activo)	1.0 a 2.5

(1) La cantidad exacta de Estireno depende de la viscosidad final deseada según la aplicación, sin embargo no se recomienda que sea mayor a 25 partes.

En la siguiente tabla se presentan las variaciones del tiempo de gel a partir de diferentes porcentajes de cobalto en el sistema de catalización y a diferentes temperaturas.

Octoato de Co al 12% (partes en peso)	TIEMPO DE GEL (min)		
	Temperatura °C		
	15 °C	25 °C	35 °C
0,10%	33	15	7
0,15%	23	10	5
0,25%	16	8	4

(1) El sistema de catalización utilizado para la determinación de los tiempos de gel fue: la variación de % de Cobalto registrada en la tabla con 1 g de MEK Peróxido por 100 g de resina.

La temperatura ambiente, la cantidad de Octoato de Cobalto y de catalizador controlan el tiempo de gel de la resina POL® 33000. El curado debe realizarse a temperaturas superiores a 15°C, que es la temperatura mínima de activación de la reacción de reticulación. Catalizaciones por debajo de ésta temperatura afectan notablemente las propiedades mecánicas de los laminados.

Con el curado a temperatura ambiente se obtienen laminados satisfactorios para muchas aplicaciones, aunque la resistencia mecánica final se logra unos días después de fabricado el producto.

Cuando se requieren óptimas propiedades y buen desempeño a largo plazo, el laminado se debe poscurar durante un período de tres (3) horas a 80°C o por más tiempo a menor temperatura.

#### FORMA DE APLICACIÓN DEL PRODUCTO

La resina POL® 33000 es apropiada para la laminación manual, o moldeo a máquina, y para la aplicación de sistemas cargados y encapsulados. Los laminados obtenidos tienen mediana resistencia mecánica.

La resina se suministra al 70% en sólidos y puede ser modificada por el usuario con la adición de Estireno monómero hasta un 25% máximo, según su aplicación particular.

Las propiedades físicas y de funcionalidad de los productos terminados están influenciados por variables que dependen directamente del transformador de la resina como son: tipo de carga y relación de resina/carga, nivel de catalización, tiempos de gel y velocidades de curado, condiciones de ambiente de trabajo, tiempos y sistemas para desmolde, espesor y área de las placas, espesor y configuración de piezas, etc.

A la resina POL® 33000 se le puede agregar un agente tixotrópico para ser aplicada en superficies verticales. El empleo de estos y sus cantidades deben ser consultados con el personal técnico de andercol s.a.

## ESPECIFICACIONES DE LA RESINA LÍQUIDA

Propiedad	Unidad	Valor		Método
		MIN	MAX	
Apariencia	Verdosa transparente			ASTM D2090
Viscosidad Brookfield <sup>(1)</sup>	cP @ 25°C	1500	2500	ASTM D2196
Sólidos	% nvm	68	72	ASTM D1259
Tiempo de gel <sup>(2)</sup>	min @ 25°C	7	10	ASTM D2471
Tiempo de máxima exotermia <sup>(2)</sup>	min @ 25°C	15	25	ASTM D2471
Temperatura de máxima exotermia <sup>(2)</sup>	°C	130	150	ASTM D2471
Estabilidad	meses		6	

- (1) La medida de viscosidad fue realizada con viscosímetro RVF, aguja 3, 10 rpm, 1 min  
 (2) Sistema de catalización a 25°C, 100 g de POL 33000, más 0.25 mL de Octoato Cobalto al 12%, más 1.0 mL de MEK-P.

## PROPIEDADES DE LA RESINA CURADA (Sin reforzar)<sup>(1)</sup>

Propiedad	Método	Sistema Internacional		Sistema Ingles	
		Unidad	Valor	Unidad	Valor
<b>Tensión</b>					
Esfuerzo de tensión	ASTM D638	Mpa	45	psi	6526.70
Módulo	ASTM D638	Gpa	3.60	Kpsi	522.13
Deformación	ASTM D638	%	2.40	%	2.40
<b>Flexión</b>					
Esfuerzo de flexión	ASTM D790	Mpa	113	psi	16389.26
Módulo	ASTM D790	Gpa	3.77	Kpsi	546.80
Deformación	ASTM D790	%	3.52	%	3.52
<b>Otras propiedades</b>					
Contracción volumétrica		%	5.46	%	5.46
HDT	ASTM D648	°C	60	°F	140
Dureza	ASTM D2583	Barcol	42	Barcol	42
Absorción de agua	ASTM D570	%	0.10	%	0.10

- (1) Ciclo de curado: 24 horas a 25°C, 3 horas a 80°C.

## PROPIEDADES DE LA RESINA CURADA (Reforzada)<sup>(1, 2, 3)</sup>

Propiedad	Método	Sistema Internacional		Sistema Ingles	
		Unidad	Valor	Unidad	Valor
<b>Tensión</b>					
Esfuerzo de tensión	ASTM D638	MPa	63	psi	9,137.37
Módulo	ASTM D638	GPa	9.13	Kpsi	1,324.95
Deformación	ASTM D638	%	1.33	%	1.33
<b>Flexión</b>					
Esfuerzo de flexión	ASTM D790	MPa	165	Psi	23,931.23
Módulo	ASTM D790	GPa	8.54	Psi	1,238.62
Deformación	ASTM D790	%	2.38	%	2.38

- (1) Ciclo de curado: 24 horas a 25°C, 3 horas a 80°C.  
 (2) Estructura de refuerzo: 2 capas de Mat 450 g/m<sup>2</sup>.  
 (3) Contenido de fibra de vidrio: 23.7%

## SEGURIDAD Y MANEJO

La información detallada para el manejo seguro de este material se encuentra en la respectiva Hoja de Seguridad de Materiales.

La resina POL@ 33000 está clasificada como "líquido inflamable" según código NFPA 30 (división 3.3.25.2), por tener un punto de inflamación de 31°C en crisol cerrado. Debe mantenerse alejado de llamas abiertas.

La resina POL@ 33000 tiene un tiempo de vida equivalente a seis meses desde el momento de su fabricación, siempre y cuando el producto esté almacenado a condiciones de temperatura y humedad adecuadas. Se recomienda almacenarlo en un lugar fresco a una temperatura menor de 25°C para obtener la máxima estabilidad. Esta resina se suministra en tambores metálicos de 230 kg.

## CERTIFICACIONES

andercol s.a. esta certificado bajo los requisitos de las normas ISO 9001 e ISO 14001, en el diseño, fabricación, venta y servicio técnico para resinas de poliéster insaturado en la planta de Medellín.

andercol s.a. hace parte del programa de Responsabilidad Integral@ contribuyendo al desarrollo sostenible a través de su compromiso social y ambiental, así lo certifica Responsabilidad Integral@ Colombia.

## ANEXO 2 Norma del Ensayo a Tracción



Designation: D 3039/D 3039M – 00<sup>e1</sup>

### Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials<sup>1</sup>

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

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

<sup>e1</sup> Norm—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 Displacement<sup>2</sup>
- D 883 Terminology Relating to Plastics<sup>2</sup>
- D 2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins<sup>3</sup>
- D 2734 Test Method for Void Content of Reinforced Plastics<sup>3</sup>
- D 3171 Test Methods for Constituent Content of Composites Materials<sup>4</sup>
- D 3878 Terminology for Composite Materials<sup>4</sup>
- D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption

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

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

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.03.

Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials<sup>4</sup>

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>5</sup>

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing<sup>5</sup>

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers<sup>5</sup>

E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus<sup>5</sup>

E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process<sup>6</sup>

E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature<sup>5</sup>

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods<sup>6</sup>

E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages<sup>5</sup>

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics<sup>6</sup>

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>6</sup>

E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading<sup>5</sup>

E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages<sup>5</sup>

#### 3. Terminology

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

##### 3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

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

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

<sup>6</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

# ANEXO 3 Norma del Ensayo a Flexión



Designation: D 7264/D 7264M – 07

## Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials<sup>1</sup>

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 ( $\epsilon$ ) 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:*<sup>2</sup>

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 Metric<sup>3</sup>

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

### 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.

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

Current edition approved April 1, 2007. Published April 2007. Originally approved in 2006. Last previous edition approved in 2006 as D 7264/D 7264M – 06.

<sup>2</sup>For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard’s Document Summary page on the ASTM website.

<sup>3</sup>Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

# ANEXO 4 Norma de Ensayo de Impacto



Designation: D 5628 – 96 (Reapproved 2001)<sup>e1</sup>

## Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass)<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 5628; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

<sup>e1</sup> Note—Editorial changes were made throughout in November 2001.

### 1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the relative ranking of materials according to the energy required to crack or break flat, rigid plastic specimens under various specified conditions of impact of a free-falling dart (tup).

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific hazard statements are given in Section 8.

NOTE 1—This test method and ISO 6603-1-1985 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry FE and the Bruceton Staircase method of calculation are used.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

- D 374 Test Methods for Thickness of Solid Electrical Insulation<sup>2</sup>
- D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing<sup>3</sup>
- D 883 Terminology Relating to Plastics<sup>2</sup>
- D 1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics<sup>2</sup>
- D 1709 Test Method for Impact Resistance of Plastic Film by the Free Falling Dart Method<sup>2</sup>
- D 1898 Practice for Sampling of Plastics<sup>4</sup>
- D 2444 Test Method for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a

#### Tup Falling Weight<sup>5</sup>

- D 3763 Test Method for High-Speed Puncture Properties of Plastics Using Load and Displacement Sensors<sup>6</sup>
  - D 4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials PA<sup>6</sup>
  - E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods<sup>7</sup>
  - E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>7</sup>
- #### 2.2 ISO Standards:
- ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing<sup>8</sup>
  - ISO 6603-1 Plastics-Determination of Multiaxial Impact Behavior of Rigid Plastics—Part 1: Falling Dart Method<sup>8</sup>

### 3. Terminology

#### 3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of plastic terms used in this test method, see Terminologies D 883 and D 1600.

#### 3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *failure (of test specimen)*—the presence of any crack or split, created by the impact of the falling tup, that can be seen by the naked eye under normal laboratory lighting conditions.

3.2.2 *mean-failure energy (mean-impact resistance)*—the energy required to produce 50 % failures, equal to the product of the constant drop height and the mean-failure mass or the product of the constant mass and mean-failure height.

3.2.3 *mean-failure height (impact-failure height)*—the height at which a standard mass, when dropped on test specimens, will cause 50 % failures.

NOTE 2—Cracks usually start at the surface opposite the one that is struck. Occasionally incipient cracking in glass-reinforced products, for

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties. Current edition approved March 10, 1996. Published July 1996. Originally published as D 5628 – 94. Last previous edition D 5628 – 95.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 10.01.

<sup>4</sup> Discontinued; see 1998 Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.04.

<sup>6</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

<sup>7</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

<sup>8</sup> Available from American National Standards Institute, 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

## ANEXO 5 Licencia del software

Resumen de pedido	Información del pedido
Número de pedido: 100674615388	Nombre: Juan Paredes
Fecha del pedido: 2020-02-05 10:36 Hora estándar del Este	Correo electrónico: jgparedes@uta.edu.ec
	Tarjeta de crédito: Visa *****9264 Esta transacción puede reflejarse como "estore.onthehub.com" en su estado de su cuenta.
<hr/>	
Dirección de facturación	
Juan Paredes Av. Chasquis y Guayllabamba Camino real y león febres cordero Ambato Ecuador	

## ANEXO 6 Resultados de los Ensayos