



**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 EPÓXICA Y SU INCIDENCIA SOBRE LAS  
PROPIEDADES MECÁNICAS A FLEXIÓN, TRACCIÓN E IMPACTO”**

---

**Autor: Torres Mesias David Esteban**

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

**Ambato - Ecuador**

**2020**

## CERTIFICACIÓN

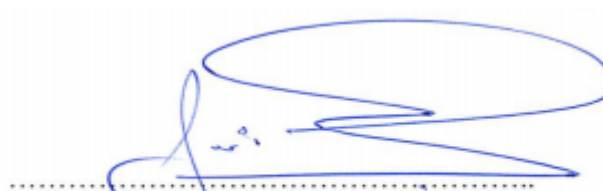
En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema **“OPTIMIZACIÓN (DOE-MEZCLAS) DEL MATERIAL HÍBRIDO CON REFUERZOS DE FIBRA DE ABACÁ, FIBRA DE CABUYA Y FIBRA DE VIDRIO DE MATRIZ DE RESINA EPÓXICA Y SU INCIDENCIA SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A FLEXIÓN, TRACCIÓN E IMPACTO”**, elaborado por el Sr. Torres Mesias David Esteban, portador de la cédula de ciudadanía: 1804836664, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico que:

- El presente Trabajo Investigativo es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad

Por lo tanto, autorizo la presentación de este documento ante el organismo pertinente, para que sea sometido a evaluación por los profesores calificadores designados por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad

Ambato, Agosto de 2020



.....  
Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

TUTOR

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Torres Mesias David Esteban, con CI. 180483666-4 muestro que las ideas plasmadas en el siguiente trabajo experimental: “OPTIMIZACIÓN (DOE-MEZCLAS) DEL MATERIAL HÍBRIDO CON REFUERZOS DE FIBRA DE ABACÁ, FIBRA DE CABUYA Y FIBRA DE VIDRIO DE MATRIZ DE RESINA EPÓXICA Y SU INCIDENCIA SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A FLEXIÓN, TRACCIÓN E IMPACTO” así también como los ensayos, análisis, conclusiones y recomendaciones son responsabilidad del autor a excepción de las referencias bibliográficas utilizadas en el trabajo experimental

Ambato, Agosto de 2020



---

Torres Mesias David Esteban

C.I. 1804836664

**Autor**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga este Proyecto Experimental o parte de él, un documento para su lectura consulta y proceso de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi Proyecto Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento 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 de 2020



---

Torres Mesias David Esteban

C.I. 1804836664

**Autor**



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el Trabajo Experimental 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 EPOXI Y SU INCIDENCIA SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A FLEXIÓN, TRACCIÓN E IMPACTO”**, elaborado por David Esteban Torres Mesias, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Agosto de 2020

Para constancia firman:



.....  
Ing. Mg. Cristian Pérez



.....  
Ing. Mg. María Belén Paredes

## DEDICATORIA

*Este trabajo va dedicado a Dios por ser pilar fundamental y fuente de vida para poder alcanzar este anhelo de vida.*

*A mis padres Danilo y Wilma que a pesar de las adversidades siempre fueron pilar de enseñanza y que con sus sabias palabras y consejos me ayudaron a salir de todas las luchas.*

*A mis hermanos Sebas, Carol y María por brindarme su cariño y acompañarme en toda circunstancia personal.*

*A mi novia Evelyn quien sin importar el tiempo o el lugar nunca dejó de brindarme consejos y prestarme su hombro en momentos difíciles.*

## AGRADECIMIENTO

*Agradecer en primer lugar a Dios por brindarme salud, vida y sabiduría para luchar día a día por el objetivo que un día me propuse.*

*Agradezco a mi familia, abuelos, tíos, primos que de alguna manera me brindaron apoyo incondicional en los momentos que necesitaba del trajín universitario.*

*A mis compañeros de carrera Erick, Edíson, Jairo, Alex, Marcel, Carlos, Elvis y Willian un Dios le pague por su paciencia y amistad durante el desarrollo de este largo camino.*

*Al Ing. Juan Paredes tutor del trabajo quien supo ayudarme y guiarme para lograr complementar la culminación de la investigación.*

## ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
RESUMEN EJECUTIVO .....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO .....	19
1.1 TEMA .....	19
1.2 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	19
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	23
1.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	25
1.4.1 Análisis y diseño de experimentos.....	25
1.4.2 Diseño de Experimentos con Mezclas .....	28
1.4.3 Optimización DOE mezclas mediante fibra de vidrio, fibra de abacá y fibra de cabuya con resina epoxi .....	30
1.4.4 Resistencia de materiales .....	31
1.4.4.1 Material compuesto.....	31
1.4.4.2 Matriz .....	33
1.4.4.3 Refuerzo .....	35
1.4.4.4 Fibras Vegetales.....	38
1.4.4.5 Proceso de fabricación de materiales compuestos .....	40

1.4.4 Ensayos para análisis de la caracterización del material compuesto .....	41
1.4.4.1 Ensayo a tracción .....	41
1.4.4.2 Ensayo de flexión.....	41
1.4.4.3 Ensayo de impacto .....	42
1.4.5 Propiedades mecánicas de los materiales compuestos.....	42
1.4.6 Supuestos Paramétricos.....	42
1.4.6.1 Normalidad.....	43
1.4.6.2 Igualdad de varianza .....	43
1.4.6.3 Independencia de residuos .....	43
1.4.6.4 Transformación de datos .....	44
1.5 OBJETIVOS .....	44
1.5.1. Objetivo General .....	44
1.5.2. Objetivos Específicos.....	44
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA .....	46
2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	46
2.2 MATERIALES .....	46
2.3 MÉTODO.....	47
2.3.1 Diseño de experimentos .....	47
2.4 HIPÓTESIS.....	48
2.5 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS .....	48
2.5.1 Variable independiente.....	48
2.5.2 Variable dependiente.....	48
2.5.3 Terminó de relación .....	48
2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	48
2.6.1 Variable Independiente .....	48
2.6.2 Variable dependiente.....	49

2.7 PROCEDIMIENTO .....	49
2.7.1 Determinación de la densidad de las fibras y resina .....	49
2.7.2 Estratificación de probetas .....	51
2.7.2.1 Cálculo de fracción volumétrica para cada tratamiento. ....	52
2.7.2.2 Cálculo para determinar la densidad teórica del compuesto .....	52
2.7.2.3 Determinación de las combinaciones para la mezcla.....	53
2.7.2.4 Cálculo volumétrico.....	53
2.7.2.5 Cálculo de masa de las fibras de las diferentes combinaciones .....	54
2.7.2.6 Preparación de las fibras cortas (15 mm) de vidrio, abacá y cabuya .....	58
2.7.2.7 Fabricación de probeta basado en cada tratamiento.....	59
2.7.3 Diagrama de flujo del procedimiento del trabajo experimental .....	62
2.8 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	63
CAPÍTULO III.....	64
3.1 RECOPIACIÓN DE DATOS .....	64
3.1.1. Resultados de los ensayos de Tracción .....	64
3.1.2. Resultados de los ensayos de Flexión .....	84
3.1.3. Resultados de los ensayos de Impacto .....	104
3.1.4 Resumen de los tratamientos a Tracción, Flexión e Impacto.....	107
3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	110
3.2.1 Verificación de supuestos de los datos de esfuerzo a tracción.....	111
3.2.2 Verificación de supuestos de los datos Módulo de Elasticidad a tracción.....	113
3.2.3 Verificación de supuestos de los datos de Esfuerzo a Flexión.....	116
3.2.4 Verificación de supuestos de los datos de Módulo de elasticidad a Flexión. .	118
3.2.4.1 Transformación de datos .....	120
3.2.5 Verificación de supuestos de los datos transformados.....	121
3.2.6 Verificación de supuestos de los datos de deflexión a Flexión.....	123

3.2.6.1 Transformación de datos .....	126
3.2.6.2 Verificación de supuestos de los datos transformados.....	126
3.2.7 Verificación de supuestos de los datos de la Energía de Impacto.....	128
3.3 OPTIMIZACIÓN DE LOS RESULTADOS (DOE -MEZCLAS) .....	131
3.3.1 Resultados para la optimización.....	131
3.3.2 Análisis del modelo estadístico .....	132
3.3.2.1 Regresión para mezclas en esfuerzo de tracción vs FV; FA; FC .....	132
3.2.2 Regresión para mezclas del Módulo de elasticidad a tracción vs FV; FA; FC	133
3.2.3 Regresión para mezclas en esfuerzo de flexión vs FV; FA; FC .....	134
3.2.4 Regresión para mezclas de módulo de elasticidad a flexión vs FV; FA; FC ..	134
3.2.5 Regresión para mezclas de Deflexión vs FV; FA; FC .....	135
3.2.6 Regresión para mezclas de Energía media de fallo vs FV; FA; FC .....	136
3.3.3 Optimización de respuestas .....	136
3.3.3.1 Ecuaciones de optimización.....	138
3.4 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS .....	140
CAPÍTULO IV .....	145
4.1 CONCLUSIONES .....	145
4.2 RECOMENDACIONES .....	145
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147
ANEXOS.....	150

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Categorías fundamentales .....	25
Figura 1. 2 Diseño de experimentos con mezclas .....	27
Figura 1. 3 Ejemplos de diseños simplex reticular .....	29
Figura 1. 4 Combinación entre FV+FA+FC .....	31
Figura 1. 5 Configuración de un material compuesto .....	31
Figura 1. 6 Conformación de un material híbrido .....	32
Figura 1. 7 Familias de un material híbrido .....	32
Figura 1. 8 Sectores de aplicación de materiales compuestos .....	33
Figura 1. 9 Clasificación de materiales compuestos por su refuerzo .....	35
Figura 1. 10 Clasificación de fibras .....	36
Figura 1. 11 Clasificación de refuerzos por fibras .....	37
Figura 1. 12 Influencia de los componentes químicos sobre las características mecánicas .....	38
Figura 1. 13 Fibra y planta de abacá .....	40
Figura 2. 1 Gravimetría para densidad de resina epoxi .....	51
Figura 2. 2 Gravimetría para densidad de fibra de vidrio .....	51
Figura 2. 3 Gravimetría para densidad de fibra de abacá .....	51
Figura 2. 4 Gravimetría para densidad de fibra de cabuya .....	51
Figura 2. 5 Composición porcentual del compuesto .....	52
Figura 2. 6 Molde para probetas .....	53
Figura 2. 7 Plano de corte para las probetas según normativa establecida .....	54
Figura 2. 8 Diagrama de flujo del procedimiento del trabajo experimental .....	62
Figura 3. 1 Tratamientos de esfuerzo a tracción .....	108
Figura 3. 2 Tratamientos de esfuerzo a tracción .....	108
Figura 3. 3 Tratamientos de esfuerzo a flexión .....	108
Figura 3. 4 Tratamientos de módulo de elasticidad a flexión .....	109
Figura 3. 5 Tratamientos de deflexión .....	109
Figura 3. 6 Tratamientos de energía media de fallo .....	109
Figura 3. 7 Diagrama de flujo del procedimiento del análisis de datos .....	110



Figura 3. 8 Orden de observación vs Residuos del esfuerzo de tracción.....	113
Figura 3. 9 Orden de observación vs Residuos del módulo de elasticidad a tracción .....	115
Figura 3. 10 Orden de observación vs Residuos del esfuerzo a flexión .....	118
Figura 3. 11 Orden de observación vs Residuos del módulo de elasticidad a flexión .....	120
Figura 3. 12 Orden de observación vs Residuos del módulo de elasticidad a flexión con datos transformados.....	123
Figura 3. 13 Orden de observación vs Residuos de la deflexión .....	125
Figura 3. 14 Orden de observación vs Residuos de la deflexión con datos transformados.....	128
Figura 3. 15 Grafica de predichos vs Residuos de la energía de impacto.....	130
Figura 3. 16 Orden de observación vs Residuos de la Energía de Impacto .....	130
Figura 3. 17 Optimización DOE – Mezclas de las respuestas .....	138
Figura 3. 18 Mezcla en esfuerzo a tracción.....	138
Figura 3. 19 mezcla en módulo de elasticidad a tracción .....	139
Figura 3. 20 Mezcla en esfuerzo a flexión .....	139
Figura 3. 21 Mezcla en módulo de elasticidad a flexión.....	139
Figura 3. 22 Mezcla en deflexión.....	140
Figura 3. 23 Mezcla en energía media de fallo .....	140

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Crecimiento mundial en el consumo de materiales compuestos desde 1985 hasta el año 2000 .	33
Tabla 1. 2 Características resina epoxi	35
Tabla 1. 3 Ubicación de la fibra en la planta.	37
Tabla 1. 4 Composición química de las fibras naturales.	37
Tabla 1. 5 Comparación de fibras artificiales vs fibras naturales.	38
Tabla 1. 6 Propiedades mecánicas de fibra de vidrio.	39
Tabla 1. 7 Propiedades mecánicas de fibra de abacá	40
Tabla 1. 8 Propiedades mecánicas de fibra de cabuya.	40
Tabla 2. 1 Listado de materiales	46
Tabla 2. 2 Combinaciones DOE - mezclas	48
Tabla 2. 3 Variable independiente.	48
Tabla 2. 4 Variable dependiente.	49
Tabla 2. 5 Determinación de la densidad de la resina epoxi	50
Tabla 2. 6 Determinación de la densidad de la fibra de vidrio	50
Tabla 2. 7 Determinación de la densidad de la fibra de abacá.	50
Tabla 2. 8 Determinación de la densidad de la fibra de cabuya.	50
Tabla 2. 9 Valores en porcentaje de las combinaciones del refuerzo	53
Tabla 2. 10 Volumen total de probetas	54
Tabla 2. 11 Determinación de composición para tratamiento # 1	55
Tabla 2. 12 Cálculo de la masa de fibras	56
Tabla 2. 13 Masa total de fibras	57
Tabla 2. 14 Volumen total de resina epoxi	57
Tabla 2. 15 Volumen total de endurecedor	58
Tabla 2. 16 Corte de fibras	58
Tabla 2. 17 Fabricación de probeta basado en cada tratamiento.	59
Tabla 2. 18 Recolección de información.	63
Tabla 3. 1 Verificación de normalidad del esfuerzo de tracción.	111
Tabla 3. 2 Verificación de igualdad de varianza del esfuerzo de tracción.	112

Tabla 3. 3 Verificación de normalidad del Módulo de elasticidad a tracción.....	113
Tabla 3. 4 Verificación de igualdad de varianza del módulo de elasticidad a tracción .....	114
Tabla 3. 5 Verificación de normalidad del esfuerzo a flexión .....	116
Tabla 3. 6 Verificación de igualdad de varianza el esfuerzo de flexión .....	117
Tabla 3. 7 Verificación de normalidad del Módulo de elasticidad a flexión .....	118
Tabla 3. 8 Verificación de igualdad de varianza el esfuerzo de flexión .....	119
Tabla 3. 9 Transformación de datos Box –Cox del módulo de elasticidad a flexión .....	121
Tabla 3. 10 Transformación de datos Box –Cox.....	121
Tabla 3. 11 Verificación de normalidad del Módulo de elasticidad a flexión con datos transformados .....	121
Tabla 3. 12 Verificación de igualdad de varianza del módulo de elasticidad a flexión .....	122
Tabla 3. 13 Verificación de normalidad de la deflexión.....	124
Tabla 3. 14 Verificación de igualdad de varianza de la deflexión.....	124
Tabla 3. 15 Transformación de datos Box –Cox de la deflexión.....	126
Tabla 3. 16 Transformación de datos Box –Cox .....	126
Tabla 3. 17 Verificación de normalidad de deflexión con los datos transformados	126
Tabla 3. 18 Verificación de igualdad de varianza de la deflexión .....	127
Tabla 3. 19 Verificación de normalidad de la energía de impacto.....	129
Tabla 3. 20 Resultados para la optimización .....	131
Tabla 3. 21 Coeficiente de regresión para esfuerzo a tracción . .....	132
Tabla 3. 22 Coeficientes de determinación . .....	133
Tabla 3. 23 Coeficiente de regresión para módulo de elasticidad a tracción [24]. ..	133
Tabla 3. 24 Coeficientes de determinación.....	133
Tabla 3. 25 Coeficientes de regresión para el esfuerzo a flexión.....	134
Tabla 3. 26 Coeficientes de determinación.....	134
Tabla 3. 27 Coeficientes de regresión para el módulo de elasticidad a flexión.....	134
Tabla 3. 28 Coeficientes de determinación.....	135
Tabla 3. 29 Coeficientes de regresión para la deflexión a flexión.....	135
Tabla 3. 30 Coeficientes de determinación .....	135
Tabla 3. 31 Coeficientes de regresión para la energía media de fallo.....	136

Tabla 3. 32 Coeficientes de determinación.....	136
Tabla 3. 33 Parámetros de optimización .....	136
Tabla 3. 34 Composición volumétrica del refuerzo.....	137
Tabla 3. 35 Valores por característica .....	137
Tabla 3. 36 Valores tratados.....	137
Tabla 3. 37 Esfuerzo de tracción .....	141
Tabla 3. 38 Modulo de elasticidad a tracción . .....	141
Tabla 3. 39 Esfuerzo a flexión. ....	142
Tabla 3. 40 Módulo de elasticidad a flexión . .....	142
Tabla 3. 41 Deflexión .....	143
Tabla 3. 42 Energía media de fallo. ....	143

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

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

**AUTOR:** David Esteban Torres Mesias

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

**RESUMEN EJECUTIVO**

El siguiente trabajo experimental tuvo la finalidad de buscar nuevas combinaciones de materiales compuestos conformados por fibra de vidrio (FV), fibra de abacá (FA) y fibra de cabuya (FC) con matriz epoxi. Se utilizó distintas mezclas volumétricas de refuerzos, que fueron considerados como parámetros de entrada en el análisis estadístico de mezclas para optimizar las propiedades mecánicas de los resultados de los diferentes tratamientos.

Se elaboró probetas mediante estratificación por compresión para obtener datos generados por los ensayos a Tracción (ASTM D3039/D3039M-08), Flexión (ASTM D7264/D7264M-07), e Impacto (ASTM D5628-10, geometría FE), y así tratarlos bajo supuestos paramétricos desarrollando un análisis fiable. Establecido los datos se los analizó mediante el diseño de mezclas; a partir del cual, se verificó la significancia del  $p$  – valor ubicada en la tabla de regresión de mezclas, misma que infirió para la generación de la optimización de las respuestas de las mezclas utilizando el software minitab.

El trabajo experimental permitió establecer las fracciones volumétricas que generaron las mejores propiedades mecánicas, donde participaron; fibra de vidrio un 0,261 por ciento, fibra de abacá 0,003 por ciento, fibra de cabuya 0,036 por ciento y matriz epoxi 0,7 por ciento, cumpliendo el fundamento de una mezcla de siempre ser igual a uno.

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

**TOPIC:** "OPTIMIZATION (DOE-MIXTURES) OF THE HYBRID MATERIAL WITH REINFORCEMENTS OF FIBER OF ABACÁ, FIBER OF CABUYA AND FIBER OF GLASS OF MATRIX OF EPOXY RESIN AND ITS INCIDENCE ON THE MECHANICAL PROPERTIES TO FLEXION, TENSILE AND IMPACT"

**AUTHOR:** David Esteban Torres Mesias

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

**ABSTRACT**

The following experimental work was aimed at finding new combinations of composite materials conformed of fiberglass (VF), abaca fiber (FA) and cabuya fiber (FC) with epoxy matrix. For this it was used different volumetric mixtures of reinforcements, the same ones that were considered as input parameters in the statistical analysis of mixtures to optimize the mechanical properties of the results of the different treatments.

Specimens were made by compression stratification to then test them and obtain data generated by the Tensile tests (ASTM D3039 / D3039M-08), Flexural (ASTM D7264 / D7264M-07), and Impact (ASTM D5628-10, FE geometry), and thus treat them under parametric assumptions developing a reliable analysis. Once the data was established, it was analyzed by means of the design of mixtures; from which, the significance of the p - value located in the mixture regression table was verified, which was inferred for the generation of the optimization of the responses of the mixtures using the minitab software.

In experimental work it was possible to establish the volumetric fractions that generated the best mechanical properties of the mixture; fiberglass 0.261 percent, abaca fiber 0.003 percent, cabuya fiber 0.036 percent and epoxy matrix 0.7 percent, fulfilling the foundation of a mixture of always being equal to one.

## **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 EPÓXICA Y SU INCIDENCIA SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A FLEXIÓN, TRACCIÓN E IMPACTO”

### **1.2 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

Se desarrolla el presente trabajo experimental donde se describe previas investigaciones que aportará información necesaria, que será utilizada como guía para trabajo.

De acuerdo a [1], menciona que un diseño de experimentos DOE es una técnica estadística utilizada para optimizar de forma eficiente cualquier tipo de proceso, considerando que el punto primordial es encontrar una formulación ideal a través de un diseño de mezclas, esta industria se impone recurrir a los factores de dos niveles, donde estos diseños consisten en combinar niveles altos y bajos donde su principal componente son solventes, para el mismo realizan cuatro replicas recomendado para obtener una medida de error, considerando que cuando se habla de mezclas esto siempre tratara de mezclar componentes con resultados desde cero hasta uno y combinaciones intermedias pero nunca mayor que uno, este estudio ocupa el método simple reticular en dos dimensiones utilizando como referencia un equilátero el mismo que representa tres elementos de mezcla donde en su diseño se modela dos variables, dependiente; la cual sería el resultado de la variable independiente o matemáticamente dicho del cero al cien por ciento de sus componentes principales, donde dichas respuestas serán reflejadas mediante la ayuda de un software, pero para que los datos sean más correctos siempre recomienda trabajar con restricciones dando como resultado de la investigación un trabajo excelente.

En el estudio realizado por [2], donde concluye que en el estudio de las propiedades mecánicas del poliéster reforzado con fibra de vidrio en el rango elástico lineal se realizaron pruebas tanto en probetas como en los modelos, donde las pruebas de tracción se obtuvieron mayores valores módulos de elasticidad para valores altos de fracción volumétrica de fibras, lo cual era de esperarse debido a la dependencia de las

propiedades del compuesto final de la magnitud de las propiedades del refuerzo, como lo expresan los autores consultados en sus modelos micromecánicos siendo las variables Presión de Inyección y Porcentaje de Catalizador quienes generan efecto sobre las variables de respuesta donde el análisis de todos esto se realizó en el comportamiento del material híbrido.

Mediante el trabajo establecido por [3], concluye que el trabajo describe un diseño de experimentos para mezclas D'óptimo, el cual es empleado para determinar la formulación óptima de un compuesto de PET-madera conformado por: polietileno tereftalato (PET) como matriz polimérica, madera en polvo como relleno y un agente de acoplamiento. La formulación se desarrolló en función de tres variables de respuesta: resistencia a la flexión, tensión y compresión. Se ajustaron 3 modelos matemáticos con los cuales se describió la relación existente entre los porcentajes de los componentes del compuesto y sus propiedades mecánicas. Mediante un análisis de la varianza se determinaron los componentes con mayor efecto sobre las variables de respuesta. A través de la función de deseabilidad se determinó la formulación que optimiza de manera simultánea las propiedades mecánicas del compuesto.

De acuerdo a la investigación realizada por [4], donde menciona que para este trabajo se utilizó un método de Diseño de Experimento de Mezcla (DOE) óptimo para determinar la formulación óptima de la fase acuosa de una microemulsión. Basado en el software Design Expert, se estableció un modelo cuadrático en función de las fracciones del componente de microemulsión. El modelo fue validado experimentalmente utilizando una tabla ANOVA. Los diagnósticos del modelo también se investigaron mediante el uso de la gráfica normal de residuos y Box – Cox Plot. Además, también se estudiaron los efectos de las fracciones del componente de microemulsión en la variación de IFT. Finalmente, el modelo se optimizó para predecir las condiciones óptimas que producirían el mínimo SI T. Se observó que los valores de IFT predichos y experimentales en la condición óptima concuerdan bien con un error de alrededor del 1.5%. Los autores concluyeron que la mezcla óptima de DOE es confiable. y podría utilizarse para optimizar la composición de un sistema de microemulsión como la recuperación mejorada de aceite mediante el proceso (EOR). En la investigación establecida por [5], concluye que desde el punto de vista del experimentador utilizando un diseño de experimentos de mezclas logre generar un indicativo desde una perspectiva teórica elaborada. Se pone mucho énfasis. sobre



"cómo pensar" al definir un problema de mezcla, y al analizar los datos resultantes. Además, se propone una estrategia de trabajo para la experimentación de mezclas. Esta estrategia se basa en gran medida en importantes contribuciones del campo de investigación de quimiometría, notablemente el impacto de la filosofía de "modelado" quimiométrico y sus herramientas analíticas de datos multivariados. Con el fin de ilustrar la estrategia de trabajo introducida, se describen las aplicaciones de dos mezclas que permiten entender cómo se optimiza dichos elementos.

Mediante el trabajo realizado por [6], determina que el enfoque de diseño de la mezcla se adoptó en este informe para formular la correlación entre los componentes del material cementoso y las propiedades reológicas del material (esfuerzo de rendimiento estático, rendimiento dinámico, estrés) e identificar la composición óptima del material para obtener un equilibrio entre el material de alta cementación esfuerzo de rendimiento estático y bajo rendimiento de esfuerzo dinámico. El cemento, la arena, las cenizas volantes, el agua y el humo de sílice se mezclaron para formar los materiales de prueba de acuerdo con el diseño de la mezcla y las respuestas (tensión de rendimiento estática, el estrés de rendimiento dinámico) fue registrado por el Viskomat. Dos modelos matemáticos no lineales para respuestas se validaron experimentalmente en base al análisis ANOVA (Análisis de varianza). Los resultados indicados que el reemplazo óptimo de los materiales de cemento suplementarios se puede determinar de acuerdo con el esfuerzo de rendimiento estático y el esfuerzo de rendimiento dinámico basado en los componentes ternarios. El Enfoque de diseño de mezclas se ha demostrado que es un método eficaz para optimizar los materiales de cemento utilizados en la aplicación de impresión de materiales de cemento en 3D (3DCMP).

De acuerdo al estudio realizado por [7], concluye que el trabajo aborda la preparación de mezclas de betún utilizando residuos asfálticos, residuos de vacío y tres extractos aromáticos (subproductos) del proceso de refinación de aceites de base. Un diseño de mezcla restringida fue adoptado para guiar la formulación del betún. Las respuestas medidas se ajustaron a los modelos polinomiales de Scheffé, a saber, un modelo cuadrático para el valor de penetración y un modelo lineal para el punto de reblandecimiento. Ambos modelos fueron validados utilizando ANOVA. En una segunda etapa se utilizó el modelo cuadrático para diseñar formulaciones. Con un valor de penetración preciso. Las respuestas pronosticadas y medidas demuestran la

precisión de ambos modelos con desviaciones promedio de solo 4.67% y 1.53% para penetración y punto de reblandecimiento, respectivamente. En general, se ha demostrado que el diseño de mezclas es una herramienta exitosa y esencial para la formulación de betún, especialmente si las mezclas involucran un gran número de componentes.

Mediante la investigación realizada por [8], donde determina sobre un estudio de RP-HPLC-UV-DAD de los efectos de cuatro solventes y sus mezclas en las actividades de extracción y antioxidantes de tres catequinas principales, la epicatequina (EC), el galato de epigallocatequina. (EGCG) y epigallocatechin (EGC) de *Camellia sinensis* L. hojas para dos cosechas. La eficiencia de extracción y el solvente se midió por las áreas pico cromatográficas. Los resultados mostraron que la abundancia relativa de las catequinas en la segunda cosecha es algo mayor que en la primera, aunque hay diferencia significativa al nivel del 95%. La abundancia relativa encontrada para EGCG es mayor que para EGC que es mayor que EC para todas las mezclas de solventes. De acuerdo con los modelos de mezcla, los valores máximos de abundancia relativa de EGCG, EGC y EC se pueden obtener con un etanol: acetato de etilo (70:30 v / v) La mezcla binaria y las actividades antioxidantes con etanol generando mezcla ternaria dando como resultado que la optimización es un método eficaz.

De acuerdo a la investigación establecida por [9], donde menciona que el enfoque de diseño de la mezcla se utilizó para estudiar los efectos de las interacciones entre el trigo, el trigo sarraceno y el arroz. Harinas de pegado y propiedades de textura de un sistema modelo acuoso. Cada tipo de harina tuvo un efecto marcado en estas propiedades, pero sus efectos de interacción fueron más notables en las propiedades de pegado, además de revertir la forma de los efectos lineales en las propiedades de textura. Los resultados de este estudio revelaron que se utilicen harinas de alforfón y arroz como una combinación en las formulaciones para hornear cuando se soliciten valores de viscosidad de descomposición más bajos. También se encontró que el uso de harina de arroz con harina de trigo sarraceno como combinación incrementaba la viscosidad de la mezcla de harina, pero disminuía la retrogradación y la sinéresis tarifa. Por otro lado, el uso de harina de trigo en combinación con harina de trigo sarraceno resultó en una menor dureza, gomosidad, masticabilidad y resiliencia en la mezcla de harina. Estos resultados revelan la interacción. los efectos deberían sugerir hallazgos muy ventajosos para la industria panadera, ya que tendrían la oportunidad de tener una

mano libre para controlar estos parámetros de análisis del perfil de textura (TPA) de acuerdo con sus propósitos al considerar estos resultados de interacción.

En función al estudio realizado por [10], concluye que las formulaciones de microemulsión representan un interesante vehículo de administración de fármacos lipofílicos, lo que permite mejorar sus propiedades de solubilidad y disolución. Este trabajo desarrolló formulaciones efectivas de microemulsión usando gliburida (un agente hipoglucemiante muy poco soluble en agua) como un fármaco modelo. Primero él se identificó el área de las formaciones de microemulsión estable (ME) utilizando un nuevo enfoque basado en métodos de experimentos de mezcla. Se realizó un diseño de mezcla de 13 carreras en una región experimental definida por restricciones. en tres componentes: acuoso, aceite y surfactante / cosurfactante. El porcentaje de transmitancia. (a 550 nm) de las formulaciones de ME (indicativo de su transparencia y, por lo tanto, de su estabilidad) se eligió como la variable de respuesta. Los resultados obtenidos utilizando el enfoque del experimento de mezcla correspondieron bien con los obtenidos utilizando el enfoque tradicional basado en diagramas de fase pseudoternarios. Sin embargo, el enfoque del experimento de mezcla requirió mucho menos esfuerzo experimental que el enfoque tradicional, posteriormente se realizó un experimento de mezcla de 13 ejecuciones, en la región de ME estable, para identificar la formulación óptima (es decir, que tiene las mejores propiedades de disolución de gliburida). Porcentaje de droga disuelta y la eficiencia de disolución se seleccionó como las respuestas a maximizar. La formulación ME optimizada a través del enfoque del experimento de la mezcla consistió en 78% de surfactante / cosurfactante (una mezcla de Tween 20 y Transcutol, 1: 1, v / v), 5% de aceite (Labrafac Hydro) y 17% de fase acuosa (agua). La región estable de ME se identificó usando métodos de experimentos de mezcla por primera vez.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Mediante el siguiente trabajo experimental se orienta a la optimización de elaboración de un nuevo material híbrido, investigando la mejor garantía que englobe las propiedades mecánicas del material compuesto mediante ensayos de flexión y tracción. Donde el material alternativo está conformado por fibra de cabuya, fibra de vidrio y fibra de abacá, combinado con una matriz de resina epoxi.

Hoy en día, el medio ambiente es un punto de partida como base para toda investigación debido a su acelerada destrucción, generando implementar nuevos elementos que aporten con la tecnología limpia con la finalidad de minimizar el impacto ambiental. Por lo tanto, encontramos dentro de este ranquin a los materiales compuestos reforzados con fibras naturales, materiales híbridos y todo aquel material que sea degradable con el tiempo. El especialista dedicado a la ingeniería de materiales cuando procede a generar un nuevo híbrido se ve obligado a establecer un proceso previo de fabricación, implantando parámetros desde la materia a ser utilizada, el proceso de fabricación y transformación hasta inferir el periodo de uso que tendrá el nuevo material [11].

Partiendo de estas consideraciones tomadas como iniciativas de innovación y cuidado con el medio ambiente, un material compuesto por fibras naturales forma un rol protagonista en la creación de materiales amigables al medio generando que una fibra natural se impulse en el campo de ingeniería, pero como todo lo positivo tiene un lado contrario se difiere a que una fibra debe tomar una determinada forma y geometría para ser considerada como apropiada para el trabajo establecido. Además, a esto se suma que el acabado del elemento realizado no sea el esperado, es por eso que se adopta la formación de un material híbrido el mismo que contiene fibras naturales y sistémicas dispuestas en capas alternadas logrando establecer un material con nuevas propiedades mecánicas mejorando la reducción del costo y disminuyendo el peso del elemento en producción [11].

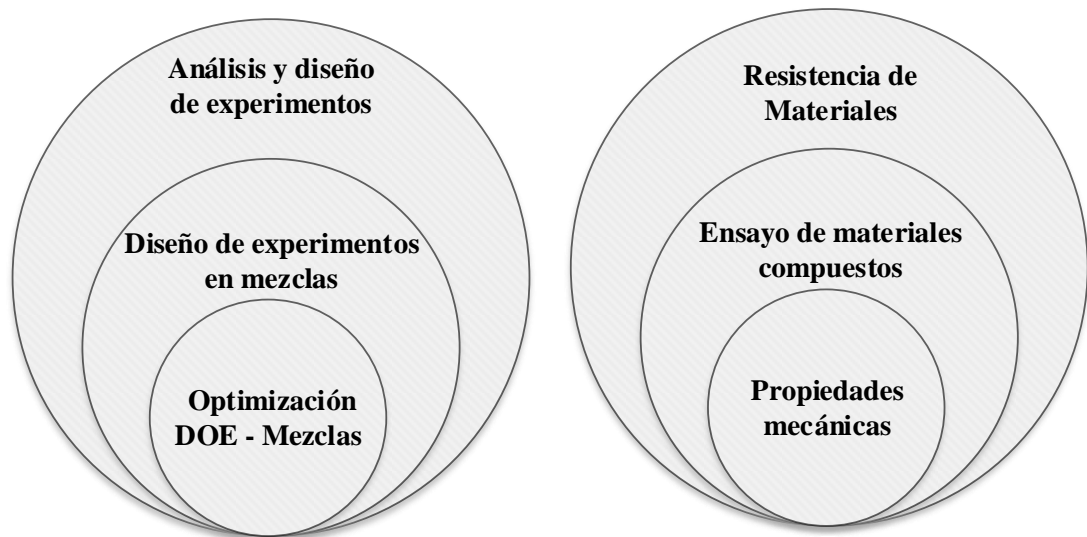
La industria aeronáutica se ve con una gran inquietud debido a que cuando la vida útil de sus transportes finaliza genera abundantes desechos, entre el año 2004 y 2023 desechará alrededor de cuatro mil unidades, lo que ocasiona que este campo se vea muy interesado en la implementación de materiales compuestos con menor impacto ambiental, ya que los que utilizan son muy dañinos para el medio, es así que Europa también se ve atraído por llevar a cabo la elaboración de productos mediante fibras naturales en su sector automotriz y sector de generación de energía fotovoltaica se utiliza alrededor de ocho mil toneladas anuales con el fin de combinar lo natural con la manufactura [12].

Apoyado en referencias bibliográficas Ecuador posee escasa información basados en procesos de diseño de experimentos con mezclas de materiales compuestos que engloben el campo de ingeniería mecánica. Sin embargo, en otros países se ha

orientado este proceso más a las industrias alimenticia, química, civil, hidrocarburífera entre otras. Por lo tanto, nace la inquietud de estudiar un proceso adecuado de optimización de materiales híbridos en mezclas.

Investigaciones establecen combinaciones entre distintos materiales con el fin de lograr caracterizaciones que impliquen mejorar las propiedades mecánicas del material. Para generar un nuevo material se procede a implementar metodologías como; el Diseño de Experimentos basado en mezclas, centrado en un modelo estadístico con nivel de confiabilidad elevado, lejos de una simple ponderación subjetiva.

#### 1.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA



*Figura 1. 1 Categorías fundamentales*

##### 1.4.1 Análisis y diseño de experimentos.

El diseño de experimentos en la industria es frecuente su uso para generar pruebas con la intención de resolver problemas o planteamientos de hipótesis, siempre y cuando con la intención de mejorar o eliminar dificultades [13].

Es común que dichos ensayos se hagan sobre el trabajo realizado estableciendo pruebas y errores, trabajando mediante base de sus experiencias e intuiciones laborales, desconociendo planes experimentales adecuados que garantice respuestas a las dudas establecidas [13].

El diseño estadístico de experimentos es el camino más idóneo de realizar pruebas de manera que para obtener datos estadísticamente para responder inciertos se procede por el camino de diseño y análisis de experimentos, realizando cambios deliberados

en un proceso base para provocar resultados útiles, comprendiendo un conjunto de técnicas activas donde el que necesita la información manipula las variables requeridas donde el resultado facilita proponer mejoras en el proceso donde otra persona no ve nada [13].

Fisher a través de su libro *The Design of Experiments* publicado en el año 1935, establece que la teoría, modelos, hipótesis y supuestos pueden ser transformados a realidad, hechos fenómenos o base de datos mediante la aplicación del DOE mediante el proceso interactivo de la experimentación. Pero, los japoneses en el año de 1980 impulsan la aplicación de diseño de experimentos trabajando en el uso de la estadística en calidad, donde el diseño de experimentos demostró su utilidad tanto para resolver problemas de fondo como para diseñar mejor los productos y los procesos, ocasionando que en los últimos años las universidades de ingenierías impartan como módulo de aprobación el diseño de experimentos [13].

Dentro del diseño de experimentos encontramos la *unidad experimental* donde se la conoce como la pieza o muestra para generar un valor representativo del resultado del experimento. También se establece a la *variable o factor* ya que estas pueden ser las de entrada o salida, así también encontramos los *niveles y tratamientos* donde los valores que se da a cada factor se denomina nivel y una combinación de niveles se llama tratamiento [13].

Para todo esto necesitamos trabajar sobre las etapas del diseño de experimentos donde se divide en:

#### *Planeación y realización*

- Entender y delimitar el problema u objeto de estudio
- Elegir la(s) variable(s) de respuesta que será medida en cada punto del diseño y verificar que se mide de manera confiable.
- Determinar cuáles factores deben estudiarse o investigarse, de acuerdo a la supuesta influencia que tienen sobre la respuesta
- Seleccionar los niveles de cada factor, así como el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento.
- Planear y organizar el trabajo experimental
- Realizar el experimento

*Análisis*

- Observaciones de las muestras mediante métodos estadísticos.

*Interpretación*

- Analizar con detalle lo que a pasado en el experimento, elegir el tratamiento mejor basado en los resultados estadísticos.

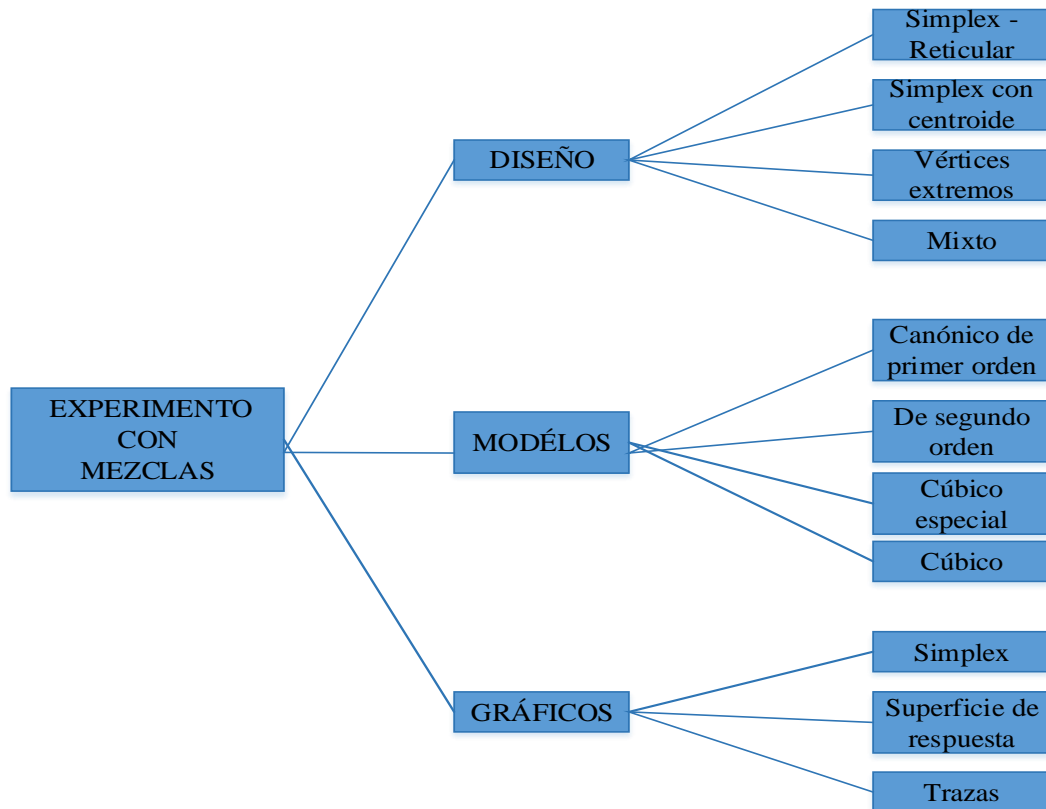
*Control y conclusiones finales*

- Decidir qué medidas implementar para generalizar el estudio y garantizar que las mejoras se mantengan.

*El diseño de experimentos se clasifica en:*

1. Diseños para comparar dos o más tratamientos.
2. Diseños para estudiar el efecto de varios factores sobre la(s) respuesta(s).
3. Diseños para determinar el punto óptimo de operación del proceso.
4. Diseños para la optimización de una mezcla.
5. Diseños para hacer el producto o proceso insensible a factores no controlables.

Donde estableciendo los distintos tipos de DOE nuestro trabajo se basará en el Diseño de Experimentos con Mezclas.



**Figura 1. 2** *Diseño de experimentos con mezclas*

**Fuente:** [13]

### 1.4.2 Diseño de Experimentos con Mezclas

Los diseños de experimentos con mezclas están determinados especialmente por sus componentes determinados como factores que pertenecerán a la mezcla establecida, los niveles de estos componentes se vinculan directamente como dependientes. Es así que, la variable de respuesta dependerá de la cantidad con que se involucre los componentes de la mezcla [13].

Los objetivos principales de experimentos con mezcla engloban a;

- Determinar cuál ingrediente de la mezcla y la combinación entre ellos aporta mayor influencia sobre las respuestas de interés [13].
- Modelar la respuesta basados en las proporciones de los componentes de la mezcla [13].
- Basarse en los modelos para establecer las cantidades idóneas de participación de cada componente para establecer las propiedades anheladas [13].

Al establecer un problema en la combinación de varios ingredientes o componentes el diseño de experimento con mezclas es el más capaz de solucionar dicha problemática, es por eso que se parte de trabajar desde el problema relacionado con un objetivo para así generar respuestas deseadas [13].

Al iniciar a trabajar con experimentos de mezclas se desconoce las (n) variables que pueda contener dicha mezcla es por eso que se debe cumplir dos limitaciones:

1. Las proporciones de todos los componentes debe ser entre cero y uno.
2. Sin importar la cantidad de ingredientes siempre debe sumar uno.

Es así que, se concluye que un diseño de experimentos de mezclas sirve para cuantificar la acción que posee los distintos componentes sobre la respuesta, ya sea de forma grupal o individual [13].

Mediante lo dicho se establece que para dos componentes la región experimental es un segmento de recta, en tres componentes se utiliza un triángulo, con cuatro componentes se utiliza a un tetraedro y para más de cuatro componentes se trabaja con un hipertetraedro [13].

Los métodos más óptimos para analizar una mezcla mediante diseño de experimentos es el método Simplex Reticular y Simplex con Centroide [13].

#### Diseño Simplex Reticular

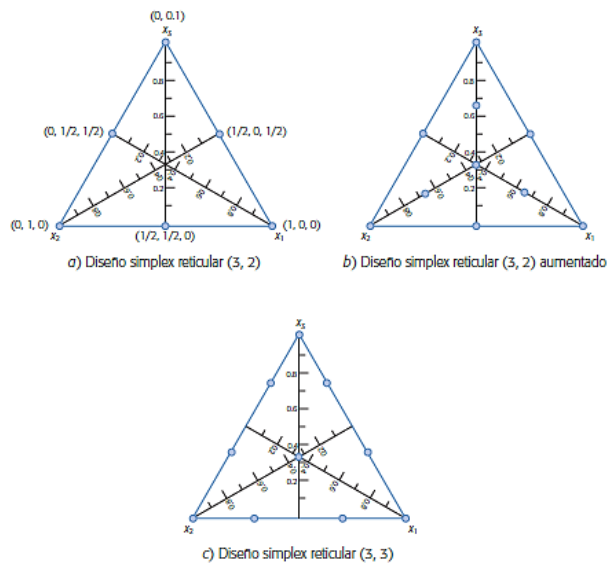
El diseño simplex reticular  $\{q, m\}$  considera (q) componentes y permite ajustar un modelo estadístico de orden (m). Los puntos del diseño consisten en todas las posibles



combinaciones de componentes se forman al considerar que las proporciones pueden tomar los  $m + 1$  valores entre cero y uno dados por [13]:

$$x_i = 0, 1/m, 2/m, \dots, m/m$$

Además, incluye básicamente puntos en la frontera, pero si el experimentador desea hacer predicciones en el interior es recomendable agregar corridas que estén en el interior. En particular se recomienda agregar el Centroide global y las mezclas localizadas entre el Centroide y los vértices [13].



**Figura 1. 3** Ejemplos de diseños simplex reticular

**Fuente:** [13]

### Modelo cúbico

Se establece un modelo cúbico cuando el modelo cuadrático no puede ajustarse a la a los tres componentes que se está analizando dada por la ecuación:

$$E(y) = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3 + \delta_{12} x_1 x_2 (x_1 - x_2) + \delta_{13} x_1 x_3 (x_1 - x_3) + \delta_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3)$$

Ec 1.1

Donde para los componentes está dado por:

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j}^q \sum_{j=2}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j}^q \sum_{j=2}^q \delta_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) + \sum_{i < j}^q \sum_{j < k}^q \sum_{k=3}^q \beta_{ijk} x_i x_j x_k$$

Ec 1.2

Los términos como  $x_i$  y  $x_j$  ( $x_i - x_j$ ) dentro del modelo cúbico permite que las mezclas tanto con sinergia como con antagonismo a lo largo del lado ( $x_i - x_j$ ). El término cúbico

especial  $x_1x_2x_3$  mide el efecto de la mezcla de tres componentes en el interior del simplex [13].

En un término cúbico tal como  $b_{123} x_1x_2x_3$  contribuye al modelo en cada punto, en el cual  $x_1 > 0$ ,  $x_2 > 0$  y  $x_3 > 0$ , la contribución más elevada es de magnitud que se da en el punto  $x_1 = x_2 = x_3 =$  al tercio de la unidad. Es por eso que solo se puede comparar coeficientes lineales con lineales, cuadráticos con cuadráticos y así pero solo con los de su mismo orden [13].

#### **1.4.3 Optimización DOE mezclas mediante fibra de vidrio, fibra de abacá y fibra de cabuya con resina epoxi**

Mediante mezclas de geometrías diferentes de las fibras las distintas configuraciones que establece al compuesto de material híbrido de tipo I donde pertenece cuatro metodologías para la conformación del material entre estos se encuentran en dirección Unidireccional, Laminadas, Fibra corta y Partículas.

Considerando la conformación del material, el método y los materiales a intervenir se establece que se generará un material híbrido conformado por fibra corta de vidrio, abacá y cabuya embebido en resina epoxi, los mismos que se establecen en combinaciones del 70 por ciento de resina y 30 por ciento en combinaciones de las fibras naturales, obteniendo como resultado final 10 combinaciones que se procederá a trabajar mediante la optimización de mezclas DOE.

DOE mezclas establece que un material híbrido siempre tendrá como base de trabajo la conformación total del material sobre el 100% sin importar el número de componentes o elementos que intervengan. Es así que para establecer un nuevo material se considera como punto de análisis al valor de resultado, el mismo que servirá como indicador para la optimización del mismo material con la finalidad de encontrar el mejor material caracterizado [13].

$$\sum_{i=1}^q x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1$$

Ec 1.3

La sumatoria de todos los elementos participantes siempre será igual a 1.

Es así que, mediante el software estadístico se identifica el número de combinaciones que se obtendrá en los tratamientos a ser estudiados dando como resultado con tres

componentes y un grado de retículo tres 10 combinaciones de los elementos establecidos.

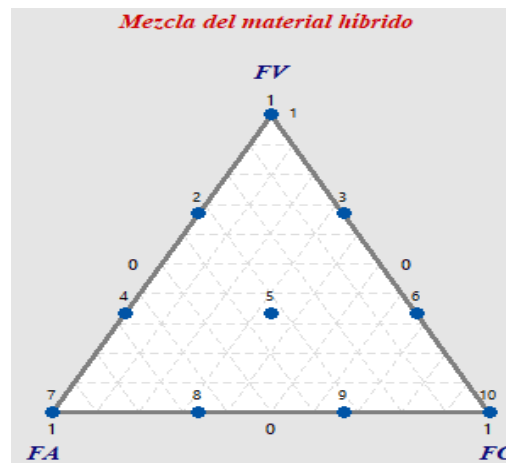


Figura 1. 4 Combinación entre FV+FA+FC

#### 1.4.4 Resistencia de materiales

##### 1.4.4.1 Material compuesto

Se establece como un material compuesto a una combinación de dos o más materiales diferentes en composición forma y función unidos con un fin, establecer un nuevo material con propiedades únicas [11].

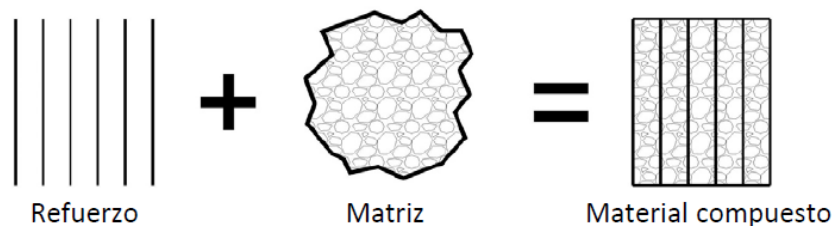
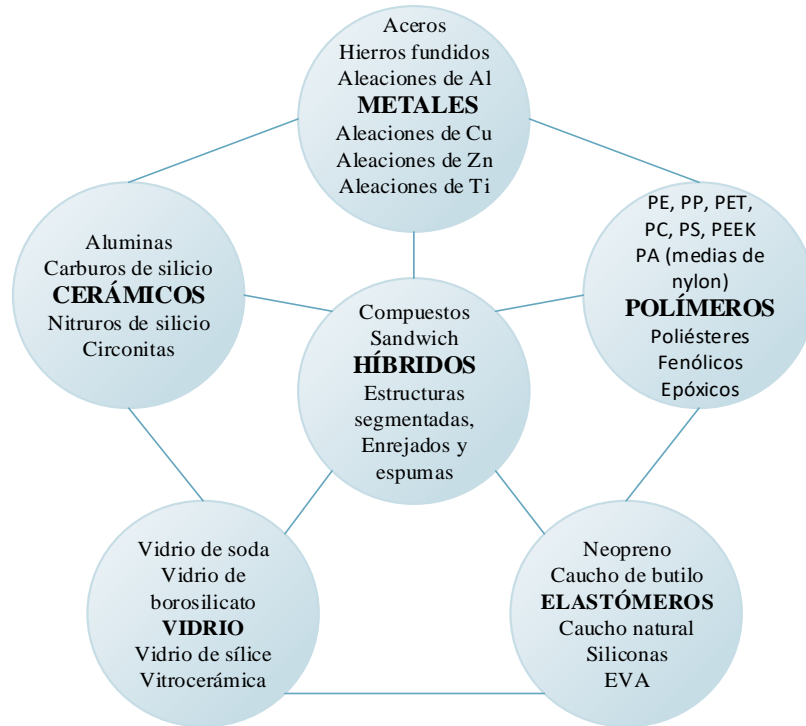


Figura 1. 5 Configuración de un material compuesto

Fuente: [11]

Los más frecuentes en la actualidad son aquellos formados por dos fases moleculares que pueden ser separados por procesos mecánicos, comprendidos por refuerzo y matriz. Sin embargo, este nuevo material debe cumplir especificaciones donde establece que debe constar de dos o más materiales diferentes, estar unidos de manera homogénea y que la unión genere propiedades superiores a la de la forma individual. Otra denominación para este tipo de material es el nombre de material híbrido, conocido por la unión de más de un tipo de material de refuerzo con una escala y configuración predeterminada [11].

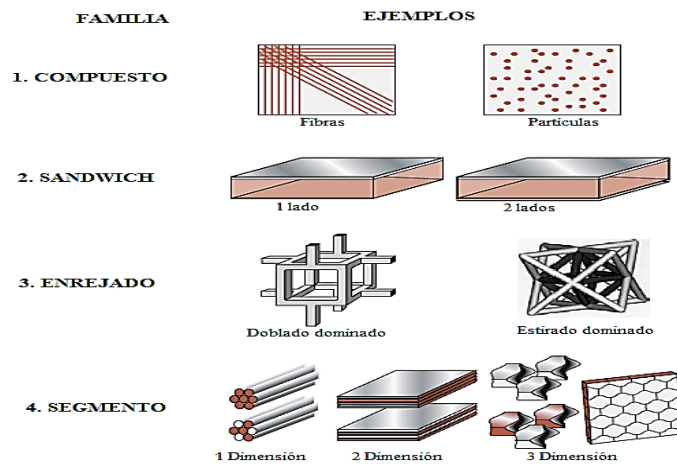
Sin embargo, este tipo de material no solo puede generar características buenas si no también lo contrario, esto va a depender de la fracción volumétrica, descendencia del elemento y orientaciones que presente en el material a ser conformado, en la imagen siguiente se muestra las combinaciones que pueden generar un material híbrido.



**Figura 1. 6** Conformación de un material híbrido

Fuente: [14]

Existen distintos tipos de diseño que puede adoptar para la conformación de un material híbrido, dentro de los cuales encontramos 5 familias distintas [14].



**Figura 1. 7** Familias de un material híbrido

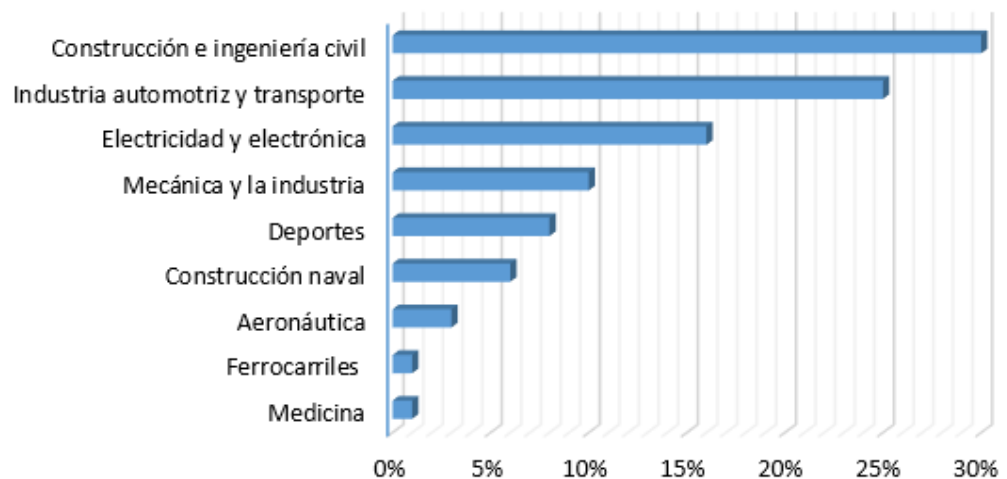
Fuente: [14]

En la actualidad los compuestos lignocelulósicos conformados por matriz polimérica y reforzada con fibras naturales de origen vegetal, donde el sector carroceros es el que más investigaciones y aplicaciones está realizando con el fin de disminuir la contaminación ambiental y mejorar propiedades de los metales en pesos y costos [11].

**Tabla 1. 1** Crecimiento mundial en el consumo de materiales compuestos desde 1985 hasta el año 2000 [11].

AÑO	COMPUESTOS	PLÁSTICOS	ALUMINIO	ACERO
1985	100	100	100	100
1990	150	135	112	107
1995	160	179	118	104
2000	190	216	141	115

Mediante la tabla se identifica el crecimiento del uso de los materiales compuestos con el transcurso del tiempo. Así también, se puede mostrar en la figura 3.1 la aplicación que se le ha dado a los materiales compuestos e híbridos.



**Figura 1. 8** Sectores de aplicación de materiales compuestos  
Fuente: [11]

#### 1.4.4.2 Matriz

Es conocida como fase continua que engloba y sostiene los elementos de refuerzo, dándole consistencia y homogeneidad al material. La principal característica de la matriz es:

- Juntar los refuerzos.
- Disipar las cargas aplicadas sobre la matriz hacia los refuerzos.
- Prevenir la superficie de los refuerzos de la abrasión mecánica.
- Generar una barrera contra la humedad y radiación.

- Si el material esté reforzado con fibras, la matriz debe proveer soporte lateral contra la posibilidad de pandeo de las mismas bajo cargas de compresión.

La matriz está directamente relacionada con las propiedades físicas y mecánicas del compuesto nuevo ya sea ductilidad, resistencia a la tracción, condiciones eléctricas y resistencia al ambiente [11].

**a) Matriz Cerámica**

Materiales con mejor resistencia y mayor tenacidad a la fractura comparados con los materiales de la misma naturaleza sin matriz, logrando generar propiedades tales como resistencia a temperaturas muy altas con una menor densidad considerable. Por lo tanto, se considera un sustituto parcial de una matriz metálica por su forma de comportante ante la corrosión [11].

**b) Matriz Metálica**

Materiales compuestos por fibras metálicas y de cerámica, su característica principal es a la resistencia a altas temperaturas, pero su desventaja es la complejidad del proceso de elaboración implicando costos elevados en manufactura. Además, poseen características mecánicas como módulo de elasticidad alto, rigidez, resistencia mecánica elevado y una muy buena dureza recalando que se compone por partículas generando un elemento isotrópico [11].

Entre los materiales de esta generación encontramos al níquel, magnesio, aluminio, cobre y algunas aleaciones que se ven reconocidas y aplicas en alta categoría en el sector automotriz y aeroespacial [11].

**c) Matriz Polimérica**

Son una de las matrices más diversas debido a que tienen tendencias de fibras sintéticas y fibras naturales reforzadas con matriz de carácter termoplástico, termoestable o elastomérica, dentro de las ventajas más favorables de esta matriz encontramos la baja densidad, costos bajos y propiedades a temperatura ambiente muy similar a un metálico [11].

**Resina Epoxi**

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

adhesión a otros materiales, buena resistencia química y al medio ambiente, buenas propiedades como aislantes eléctricos y buenas propiedades mecánicas [15].

**Tabla 1. 2** Características resina epoxi [11].

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

#### 1.4.4.3 Refuerzo

Conocido también como fase discontinua, siendo un componente principal en un material compuesto, brindando soporte a las cargas y propiedades al material generado, estos se clasifican en:



**Figura 1. 9** Clasificación de materiales compuestos por su refuerzo

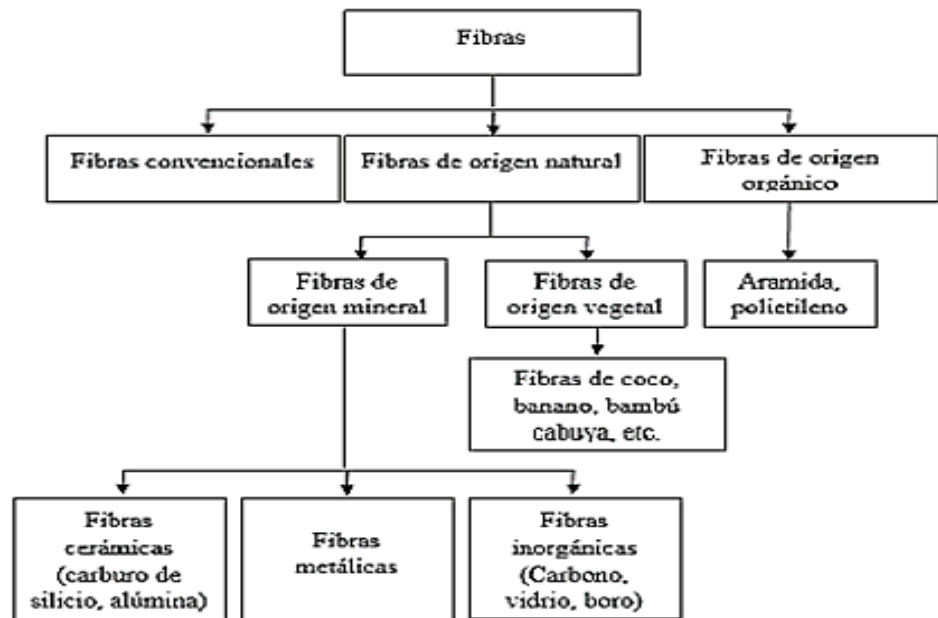
Fuente: [16]

a) Refuerzo con partículas

Son combinaciones de matriz – partícula donde encontramos a los refuerzos por partículas grandes y a los consolidados por dispersión, esto sirve dependiendo de la aplicación que se le dé debido a que la matriz reparte los esfuerzos sobre las partículas, en la consolidación por dispersión encontramos partículas de 10 a 100  $\mu\text{m}$  siendo más pequeñas en comparación con dimensiones de partículas grandes [16].

b) Estructurales

Este material está compuesto por materiales compuestos por partes homogéneas y sus propiedades no solo dependen de sus partes que lo conforman sino también, de la forma y geometría del diseño que tome el elemento a ser formado, los más comunes dentro de estructurales encontramos a los laminares y sándwich [16].



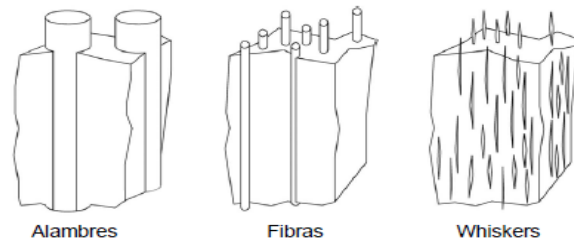
*Figura 1. 10 Clasificación de fibras*

**Fuente:**[17]

c) Refuerzos con Fibras

Cuando la fase dispersa está formada por fibras se considera más importante debido a que estos compuestos mejoran propiedades como fatiga, rigidez, fatiga unidas en una matriz más blanda y dúctil. Por lo tanto, estas fibras se dividen en: alambres, fibras y whiskers [11] [16].





**Figura 1. 11** Clasificación de refuerzos por fibras

Fuente: [11]

Basado en investigaciones establecen que las fibras naturales poseen bajo peso, poco costo y buenas características de resistencia mecánica produciendo que sean consideradas en el campo industrial, Ecuador por su desconocimiento está limitado en su aplicabilidad [11].

Sin embargo, cabe destacar que la procedencia de las distintas fibras no poseen la misma ubicación dentro de la conformación de la planta es así que se los clasifica como muestra la siguiente tabla [11].

**Tabla 1. 3** Ubicación de la fibra en la planta [11].

Fibra Blanda	Fibra Dura	Fibra Superficie	Otras	
Tallo	Hojas	Semillas	Fruto	Caña
Caña	Abacá	Algodón	Palma Aceitera	Esparto
Ramio	sisal	Kapok	Coco	Bejuco
Lino	Cuarúa	Algodoncillo		Bambú
Kenaf	Formio			Bagazo
Yute				

Dependiendo de la procedencia de la fibra existen longitudes hasta de 1 metro, con grosores de 0,001 metros o menos [11].

Dentro de este ámbito la composición química comprende un campo fundamental debido a que la procedencia de la fibra representa a la familia lignocelulósica, pero esto depende directamente de la naturaleza de la especie, clima de desarrollo y años de vida de la planta, en la siguiente tabla se muestra la composición química de las fibras naturales [11].

**Tabla 1. 4** Composición química de las fibras naturales [11].

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

Mediante las distintas composiciones químicas de cada fibra se proyecta condiciones sobre las propiedades mecánicas que será característica de cada fibra [11].

Resistencia	↑	Celulosa cristalina Celulosa no cristalina Hemicelulosa + Lignina Lignina
Degradación térmica celulosa	↑	Hemicelulosa Lignina
Degradación biológica	↑	Hemicelulosa Celulosa no cristalina Celulosa cristalina Lignina
Absorción de humedad	↑	Hemicelulosa Celulosa no cristalina Lignina Celulosa cristalina
Degradación UV	↑	Lignina Hemicelulosa Celulosa no cristalina Celulosa cristalina

**Figura 1. 12** Influencia de los componentes químicos sobre las características mecánicas  
Fuente: [11]

Cabe destacar que la participación de fibras artificiales en combinación con fibras naturales ayuda a mejorar las propiedades mecánicas del nuevo material debido a que el material sintético posee mejores características mecánicas en comparación a las provenientes de fibras orgánicas [11].

**Tabla 1. 5** Comparación de fibras artificiales vs fibras naturales[11].

Fibras	Densidad (gr /cm <sup>3</sup> )	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Elongación Fractura (%)	Absorción de humedad (%)
Vidrio - S	2,5	2000-3500	70	2,5	---
Vidrio - E	2,5	4570	86	2,8	---
Aramida	1,4	3000-3150	63-67	3,3-3,7	---
Carbón	1,4	4000	230-240	1,4-1,8	---
Cáñamo	1,4	690	35	1,6	8
Yute	1,3	393-773	26,5	1,5-1,8	12
Ramio	1,5	400-928	61,4-128	3,6-3,8	12-17
Coco	1,2	175-220	4-6	15-30	10
Sisal	1,5	511-635	9,4-22	2-2,5	11
Abacá	1,3	400-1289	45	2,7	8-10
Lino	1,5	345-1035	27,6	2,7-3,2	7
Algodón	1,5	393-773	26,5	7-8	8-25

#### 1.4.4.4 Fibras Vegetales

Dentro de las fibras que se puede utilizar para conformar un material compuesto se describirá su clasificación y su origen involucrando en la actualidad las de origen vegetal debido a su aspecto amigable con el ambiente [11].

Al ser un nuevo material debe poseer estudios enfocados en su materia prima, uso y desecho, involucrando directamente el factor económico donde establezca su utilidad representando el sector o la zona a la que se dirige el material compuesto, ya que los

mismos al estar compuestos por fibras ligno-celulósicas aportarán una imagen ecológica a la industria manufacturera [11].

Ecuador posee una diversidad de fibras vegetales, pero cabe recalcar que aún no han sido explotadas como requiere el medio por falta de valor agregado, entre las fibras más representativas encontramos a la fibra de abacá y fibra de cabuya. Además, existe partes fibrosas naturales tales como el residuo sólido del coco que no tiene un aprovechamiento debido al desconocimiento de su utilidad [11].

#### Fibra de Vidrio

La fibra de vidrio es una estructura de red aleatoria compuesta por tetraedros [SiO<sub>4</sub>][18]. Actualmente son las más utilizadas en la industria por sus excelentes propiedades, además, es de fácil fabricación [11].

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 [11].

El tipo de fibra de vidrio más utilizada es el tipo E (eléctrico) por su alta resistencia mecánica, eléctrica y rigidez[15]. Entre sus características se tiene la resistencia a la tracción 4570 Mpa, su módulo de elasticidad esta en los 86 GPa, la elongación a la fractura varia en 3.3 a 3.7 % y carece de absorción a la humedad [11].

**Tabla 1. 6 Propiedades mecánicas de fibra de vidrio [19].**

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

#### Fibra de Abacá

Se la conoce como cáñamo de manila pertenece a la familia musácea, su origen filipines se desarrolla en zonas trópicas húmedas, su fibra se extrae de la vaina de la hoja que pertenecen al pseudotallo compuestas por células largas y muy finas [11].



**Figura 1.13** Fibra y planta de abacá

Fuente: [11]

Posee propiedades de resistencia mecánica, flotabilidad, resistencia al daño por agua con sal y fibras que alcanzan longitudes que superen a 3 metros, lo que para su industrialización y aplicación se le ha dividido en cinco tipos [11].

Ecuador en el año 2007 produjo alrededor de 10000 toneladas de abacá [11].

**Tabla 1.7** Propiedades mecánicas de fibra de abacá [11].

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

Fibra de Cabuya

Planta nativa de la sierra ecuatoriana, se caracteriza por poseer hojas grandes las mismas que facilitan la extracción de la fibra basadas en procesos posteriores.

Dentro de las fibras vegetales está presente la de cabuya la misma que tiene una densidad de  $1.3 \text{ g/cm}^3$ , una de las mayores influencias de esta fibra es por ser muy liviana en función a la resistencia a la tracción [20].

**Tabla 1.8** Propiedades mecánicas de fibra de cabuya [18].

Fibra	Densidad ( $\frac{g}{cm^3}$ )	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	---

#### 1.4.4.5 Proceso de fabricación de materiales compuestos

a) Estratificación por compresión

Este tipo de proceso se basa en emplear moldes macho y hembra de tal manera que sirva para comprimir el modelo ya sean materiales termoestables o termoplásticos [21].

- Dentro de este proceso existen tres etapas; precalentamiento, moldeo y enfriamiento, lo que se controla en este aspecto es la presión, temperatura y tiempo.
- En el precalentamiento se establece las fibras y la matriz en la orientación establecida sobre el molde fabricado antes ya aplicado cera desmoldante, la cantidad del material depositado está en función del espesor establecido para el trabajo antes ya calculado.
- Para la parte del moldeo se procede a colocar la tapa del molde la misma que será cerrada con cierta presión conocida como presión de moldeo, donde la finalidad es que la parte líquida (matriz) cubra todo el material (refuerzo) aplicado.
- La fase del enfriamiento dependerá directamente del tipo de matriz que se utilizará donde el tiempo será el factor primordial de este proceso, donde la característica funcional de esta parte será que la presión se mantenga.
- A final el elemento será retirado del molde para continuar con el proceso deseado, cabe destacar que el molde debe estar conformado por un material rígido que permita mantener la forma del molde sin modificar su geometría con las reacciones químicas presentes dentro de la conformación del compuesto.

#### **1.4.4 Ensayos para análisis de la caracterización del material compuesto**

##### **1.4.4.1 Ensayo a tracción**

El ensayo de tracción es uno de los ensayos mecánicos más comúnmente realizado. El material ensayado se deforma hasta la rotura de la probeta, mediante la aplicación de una fuerza uniaxial a lo largo del eje principal, y que aumenta de manera gradual. En cuanto a materiales compuestos reforzados con fibras, el ensayo de tracción se lleva a cabo bajo las regulaciones de la norma D3039/D3039M-08 y se lo realiza utilizando una máquina universal de ensayos [11].

##### **1.4.4.2 Ensayo de flexión**

Este ensayo generalmente se lo realiza mediante la norma D7264/D7264M-07, este método determina la rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un compuesto de matriz polimérica. El procedimiento de este tipo de ensayo corresponde a un sistema

de carga en tres puntos utilizando una carga central en una viga con apoyos simples [11].

Para realización de este ensayo, se requieren al menos 5 probetas por cada condición de ensayo, a menos que se puedan obtener resultados válidos mediante el ensayo de menos probetas, como en el caso de un diseño experimental. Las dimensiones de las probetas requeridas para los ensayos se encuentran indicadas en la norma ASTM, y de igual manera, las respectivas ecuaciones que permiten calcular valores para las propiedades a flexión analizadas [11].

#### **1.4.4.3 Ensayo de impacto**

Para realizar el ensayo de impacto se guía de acuerdo a la norma ASTM D5628-10 (geometría FE), la cual es prevista para materiales compuestos. 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 [11].

#### **1.4.5 Propiedades mecánicas de los materiales compuestos**

Cada propiedad mecánica está en función al material establecido, y se establece dichas características realizando pruebas y 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 [11].

Además, existen normas que designan el número de probetas a ensayar para determinar las propiedades mecánicas de cierto material [11].

La entidad denominada Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ha establecido indistintamente normas para ensayo de materiales, en la cual está inmerso las requeridas para materiales compuestos [11].

#### **1.4.6 Supuestos Paramétricos**

La necesidad de emplear dichos supuestos concierne para validar los resultados obtenidos en el proceso estadístico, esto es que la respuesta debe estar basado en una distribución normal, generando la misma varianza en cada tratamiento donde cada medida es independiente [22].

Cuando se enfatiza cada supuesto existen maneras graficas de comprobar el cumplimiento de las pruebas paramétricas, siempre y cuando la gráfica tenga más de

dos valores que contrastar si se presenta valores atípicos estos deben volver a ser analizados [22].

#### **1.4.6.1 Normalidad**

Basado en un procedimiento gráfico con valores en las ordenadas y abscisas para constatar si se cumple o no dicho supuesto, donde se grafica los residuos de normalidad donde presenta una escala representando a los residuos en una forma lineal de no ser así o no estar alineados el supuesto no se cumple [22].

Esta distribución debe satisfacer que los datos procesados sean trabajados mediante una hipótesis y así aceptar o rechazar dicha afirmación [13].

$H_0$  : *Los valores muestran una distribución normal*

$H_a$  : *Los valores no muestran una distribución normal*

El resultado generado se basa en la significancia del  $p$  - valor para que cualquier hipótesis llegue a ser aceptada o rechazada [23].

#### **1.4.6.2 Igualdad de varianza**

El análisis de este supuesto trabaja en que los valores continuos posean una varianza constante, de tal forma que para obtener una gráfica se utiliza cantidades de los residuos en función de los valores predichos cada uno respectivamente en las ordenadas y abscisas, si dicha grafica muestra una banda horizontal sin ningún patrón a seguir cumple con la igualdad de varianza, pero si dicha gráfica muestra forma de corneta el supuesto se incumple [22].

Por otro lado, existe la prueba de Levene la misma que trabaja sobre las desviaciones totales de la observación de la mediana de todos los tratamientos, este caso califica si el promedio de las desviaciones son las mismas o no en todos los tratamientos, es así que si presentan igualdad la varianza se cumple el supuesto a eso se le debe considerar que también se trabaja con la significancia del  $p$ - valor donde si es mayor se acepta la hipótesis nula[23].

#### **1.4.6.3 Independencia de residuos**

Este supuesto se comprueba graficando los datos en contra de sus residuos respectivos, de esta manera al graficarlos se presencia de un patrón aleatorio basado en una línea horizontal sin que ningún valor dependa o este igual a otro el supuesto se cumplirá [22].

#### 1.4.6.4 Transformación de datos

Debido a que los valores de los supuestos paramétricos no cumplen ninguna funcionalidad se tiende a la necesidad de transformar datos para cumplir con los requisitos de los supuestos establecidos y a partir de dichos datos analizarlos sin inconvenientes [23].

Generalmente se transforma dichos valores utilizando Box – Cox, donde un valor Y se transformara en un valor W [23].

$$W_i = \begin{cases} Y_i^\lambda & ,si \lambda \neq 0 \\ Ln(Y_i) & ,si \lambda = 0 \end{cases} \quad \text{Ec. 1.1}$$

De esta manera  $Y_i$  representa a los valores originales y  $\lambda$  es el valor de transformación que va desde -5 a 5 [23].

### 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 en matriz de resina epoxi 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 el cumplimiento del objetivo se establecerá la metodología DOE- MEZCLAS basado en el diseño Simplex reticular, donde entrará tres componentes que estarán sujetos a cada esquina de un triángulo correspondiente a la intervención pura de cada elemento, es así que se contará con tres retículos y tres elementos que dividirá a la figura geométrica, en el cual se generará 10 tratamientos con distintas fracciones volumétricas.

*Determinar las propiedades mecánicas a Tracción, Flexión e Impacto del material híbrido de matriz de resina epoxi reforzada con fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio.*

Para cumplir el objetivo se elaborará las probetas mediante estratificación por compresión utilizando fibra corta. Así también, se procederá a determinar las propiedades mecánicas del material híbrido mediante ensayos de flexión, tracción e impacto basados en la normativa ASTM.



*Evaluar los resultados de los ensayos de tracción, flexión e impacto, donde se han determinado sus propiedades mecánicas para optimizar dichas respuestas.*

Para cumplir el objetivo se recolectará los valores de los resultados de los ensayos realizados, a partir de esto se procederá a la elaboración de las fichas técnicas de cada tratamiento, los mismos que servirán para visualizar el comportamiento en cada combinación. Además, se identificará los valores máximos y mínimos de cada propiedad, que posteriormente serán utilizados para la generación de la optimización.

*Determinar cuál de los componentes del material compuesto establece mayor influencia sobre las respuestas de interés.*

Para satisfacer el objetivo se procederá a someter los datos en el software minitab, el mismo que permitirá identificar que componente o componentes en el proceso de la optimización establecerán las mejores características mecánicas al material compuesto.

## CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

### 2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

#### *Investigación teórica*

Se aplica este tipo de investigación ya que se encuentra basada en contenidos tales como artículos científicos, artículos técnicos, normas, papers y libros referidos en el ámbito del Diseño de experimentos con mezclas y cumplimiento de ensayos para la generación de respuestas deseadas.

#### *Investigación descriptiva*

Este tipo de investigación se efectúa basado en el principio de diseño de experimento con mezclas, necesario para el análisis de las variables de salida en función a los materiales de entrada.

#### *Investigación explorativa*

Esta investigación se basa en el trabajo de la optimización del mejor compuesto híbrido basado en las combinaciones establecidas en el software para establecer el mejor material compuesto basado en su la figura geométrica triangular.


#### *Investigación Cuantitativa*






Se emplea la investigación cuantitativa con el fin de manipular los datos generados en el trabajo para encaminar hacia las mejores propiedades mecánicas del material compuesto optimizado generado mediante la conformación de fibra de vidrio, fibra de abacá y fibra de cabuya embebida en resina epoxi.

### 2.2 MATERIALES

La lista de materiales presentes en la tabla 2.1 son los que se utilizarán la elaboración y conformación de las probetas establecidas mediante normativa ASTM.

*Tabla 2. 1 Listado de materiales*

Materiales		Descripción
Fibra de vidrio		La fibra de vidrio tipo E fue obtenida en el cantón Ambato en el sector de Huachi Chico , utilizado para la conformación del material híbrido

Fibra de Abacá		La fibra de Abacá es una fibra de grado 1, considerada así por su calidad alta y sobre todo su color claro y limpio. Su procedencia es de la provincia de Santo Domingo – Ecuador.
Fibra de Cabuya		La fibra de cabuya se obtuvo en la parroquia de Salasaca de la provincia de Tungurahua. Su procedencia es originaria del norte de Ecuador del valle del Chota.
Resina Epoxi		Polímero termoestable con alta resistencia en propiedades mecánicas, utilizado en gran variedad de conformación de materiales compuestos. Su valor es 15 veces más costoso que la resina poliéster .
Catalizador de resina epoxi		Aditivo que se emplea con la resina Epoxi con la finalidad de generar una reacción química que genera la aceleración del secado de la resina endureciéndola.
Cera desmoldante		Utilizado con el fin de generar una capa entre el molde y el material compuesto permitiendo una facilidad de extracción del material realizado.

## 2.3 MÉTODO

### 2.3.1 Diseño de experimentos

La aplicación del diseño de experimentos se empleará para la comprobación de la hipótesis planteada, se utilizará el diseño de experimentos en mezclas el mismo que estará sostenido bajo el diseño simplex reticular, que se trabajará sobre el modelo cúbico completo.

Para el diseño simplex reticular se desarrollará con tres ingredientes o elementos los mismos que servirán como variable de ingreso; a partir de esto, se aplicará la

utilización de tres retículos en el modelo lo que permitirá generar el número de tratamientos con sus respectivas fracciones volumétricas.

Se aplicará el modelo cúbico completo debido a que, por la utilización de los tres retículos, es el modelo que más se ajusta al valor de la significancia establecida, lo que permitirá determinar el propósito de la optimización.

**Tabla 2. 2 Combinaciones DOE - mezclas**

<b>Variables del Diseño</b>				
Componentes =3	Fibra de Abacá: FV	Fibra de Cabuya: FA	Fibra de Vidrio: FC	
Número de Orden Estadístico: 3 retículos			Puntos del diseño: 10	
1	0,67	0,00	0,33	FV+FC
2	0,00	0,00	1,00	FC
3	0,33	0,33	0,33	FV+FA+FC
4	0,33	0,00	0,67	FV+FC
5	0,00	0,67	0,33	FA+FC
6	1,00	0,00	0,00	FV
7	0,00	0,33	0,67	FA+FC
8	0,00	1,00	0,00	FA
9	0,33	0,67	0,00	FV+FA
10	0,67	0,33	0,00	FV+FA

## 2.4 HIPÓTESIS

La aplicación del método (DOE-Mezclas) en el material híbrido de matriz epoxi reforzada con fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio permitirá optimizar las propiedades mecánicas a tracción flexión e impacto.

## 2.5 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

### 2.5.1 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 epoxi.

### 2.5.2 Variable dependiente

Propiedades Mecánicas

### 2.5.3 Termino de relación

Permitirá

## 2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

### 2.6.1 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 epoxi.

**Tabla 2. 3 Variable independiente**

ABSTRACTO		DEFINIDO		
DEFINICIÓN	DIMENSIONE	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.	Refuerzos (fibras)	Tipos de Fibras	Fibra de Abacá	Tijera, guantes de látex, mandil, gafas de seguridad, mascarilla, cortar fibra corta (1.5 mm)
			Fibra de cabuya	Tijera, guantes de látex, mandil, gafas de seguridad, mascarilla, cortar fibra corta (1.5 mm)
			Fibra de vidrio	Tijera, guantes de látex, mandil, gafas de seguridad, mascarilla, cortar fibra corta (1.5 mm)
		% Fibra (1-30% )	Fibra de Abacá	Software Estadístico
			Fibra de cabuya	Software Estadístico
			Fibra de vidrio	Software Estadístico

## 2.6.2 Variable dependiente

Propiedades Mecánicas

*Tabla 2. 4 Variable dependiente*

ABSTRACTO		DEFINIDO		
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 INSTRON 8801 Norma ASTM 3039/D3039M -00. Observación Directa
		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 (geometría FE)	Resistencia al impacto (J)	¿Qué energía se obtendrá?	Norma ASTM - 5628 (geometría FE) Observación Directa

## 2.7 PROCEDIMIENTO

### 2.7.1 Determinación de la densidad de las fibras y resina

Una de las propiedades físicas que sirven para la investigación es la densidad, es por eso que para la obtención de dicho resultado se trabaja sobre el método gravitatorio, el

mismo que relaciona las propiedades de masa y volumen para generar el resultado necesario para cálculos posteriores [21],[17].

*Tabla 2. 5 Determinación de la densidad de la resina epoxi*

<b>Densidad de Resina Epoxi</b>			
<b>Muestras</b>	<b>Volumen cm<sup>3</sup></b>	<b>Masa gr</b>	<b>Densidad gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>1</b>	20	22,3	1.115
<b>2</b>	20	22,7	1.135
<b>3</b>	20	21,9	1.095
<b>Densidad Promedio</b>			<b>1.12</b>

*Tabla 2. 6 Determinación de la densidad de la fibra de vidrio*

<b>Densidad de Fibra de Vidrio</b>					
<b>Muestras</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>Promedio</b>	
<b>1</b>	8	60	63	3	2.66
<b>2</b>	8.3	60	63.5	3.5	2.37
<b>3</b>	7.8	60	63.4	3.3	2.36
<b>Densidad Promedio</b>					<b>2.46</b>

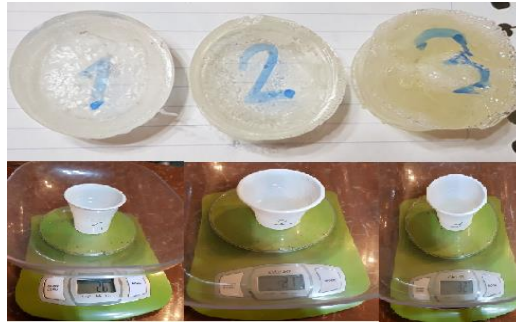
*Tabla 2. 7 Determinación de la densidad de la fibra de abacá*

<b>Densidad de Fibra de Abacá</b>					
<b>Muestras</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>Promedio</b>	
<b>1</b>	6.2	70	74.8	4.8	1.29
<b>2</b>	6.6	70	75	5	1.32
<b>3</b>	6.4	70	74.8	4.8	1.33
<b>Densidad Promedio</b>					<b>1.31</b>

*Tabla 2. 8 Determinación de la densidad de la fibra de cabuya*

<b>Densidad de Fibra de Cabuya</b>					
<b>Muestras</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>Promedio</b>	
<b>1</b>	10	80	87.8	7.8	1.28
<b>2</b>	8.5	80	86.4	6.4	1.33
<b>3</b>	9	70	76.7	6.7	1.34
<b>Densidad Promedio</b>					<b>1.32</b>

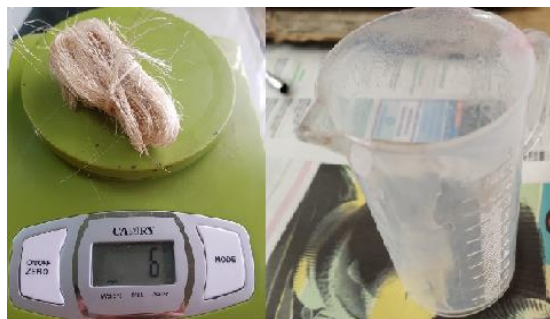
En la figura 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4 se demuestra la ejecución de la realización de gravimetría para generar la densidad de la resina epoxi, fibra de vidrio, fibra de abacá y fibra de cabuya respectivamente.



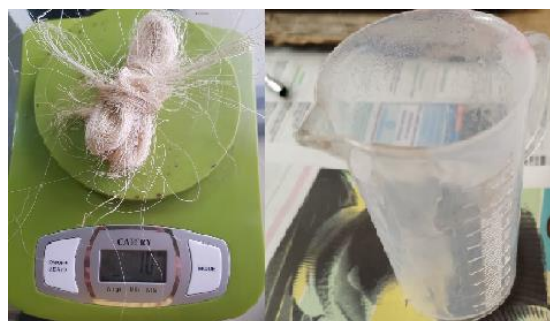
*Figura 2. 1 Gravimetría para densidad de resina epoxi*



*Figura 2. 2 Gravimetría para densidad de fibra de vidrio*



*Figura 2. 3 Gravimetría para densidad de fibra de abacá*

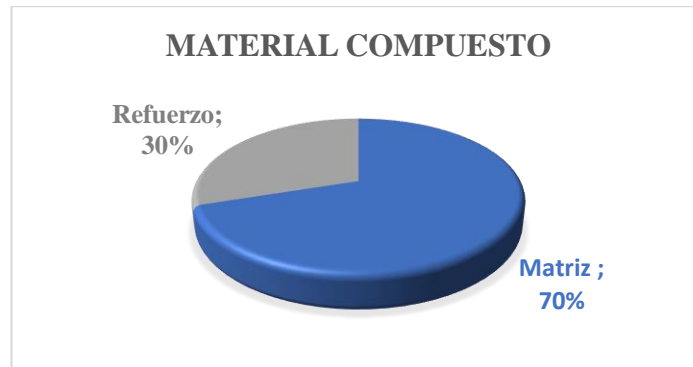


*Figura 2. 4 Gravimetría para densidad de fibra de cabuya*

### **2.7.2 Estratificación de probetas**

Según el trabajo de investigación realizado por el Ing. Juan Paredes Salinas menciona que el porcentaje de las configuraciones dentro de materiales compuestos está

conformado mediante el 30% por refuerzo y el 70% para la matriz conformando el 100% del material compuesto [21].



*Figura 2. 5 Composición porcentual del compuesto*

### 2.7.2.1 Cálculo de fracción volumétrica para cada tratamiento.

Dentro del cálculo del volumen se relaciona directamente con valores de masa y peso, donde las cantidades correspondientes de cada material se calcularán para generar la cuantía adecuada de cada composición del material híbrido.

Para el cálculo de fracción volumétrica se considera la regla de las mezclas en materiales compuestos de fibras, donde menciona que este puede estar combinado por refuerzos de origen natural o artificial acompañado de material sintético representado por la siguiente ecuación: [13].

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec 2.1}$$

$$f_m = 1 - f_f \quad \text{Ec 2.2}$$

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 Cálculo para determinar la densidad teórica del compuesto

Densidad de resina epoxi = 1.12 g/cm<sup>3</sup>

Densidad de la fibra de vidrio = 2.46 g/cm<sup>3</sup>

Densidad de la fibra de abacá = 1.31 g/cm<sup>3</sup>

Densidad de la fibra de cabuya = 1.32 g/cm<sup>3</sup>

Densidad del  
refuerzo : 1.7  $\frac{g}{cm^3}$

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

Remplazar la ecuación 2 en 1



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

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

$$\rho_c = 1.28 \frac{g}{cm^3}$$

La densidad teórica del compuesto será de  $1.28 \frac{g}{cm^3}$

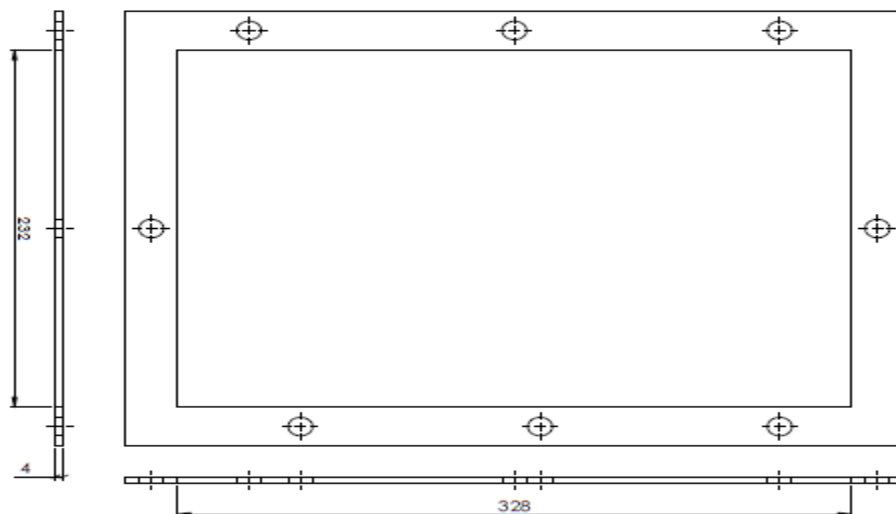
### 2.7.2.3 Determinación de las combinaciones para la mezcla

*Tabla 2. 9 Valores en porcentaje de las combinaciones del refuerzo*

VALORES DENTRO DEL 30%		
FV	FA	FC
20	0	10
0	0	30
10	10	10
10	0	20
0	20	10
30	0	0
0	10	20
0	30	0
10	20	0
20	10	0

En la tabla 2.14 se trabaja sobre el total del treinta por ciento lo que significa que el 1 equivale el 30%, el 0,67 equivale el 20% y el 0.33 equivale el 10%, valores que servirán para la conformación del material compuesto híbrido en cantidades de peso.

### 2.7.2.4 Cálculo volumétrico.



**Figura 2. 6 Molde para probetas**

- Largo = 328 mm
- Ancho = 232 mm
- Espesor = 4 mm

Cálculo del volumen del molde

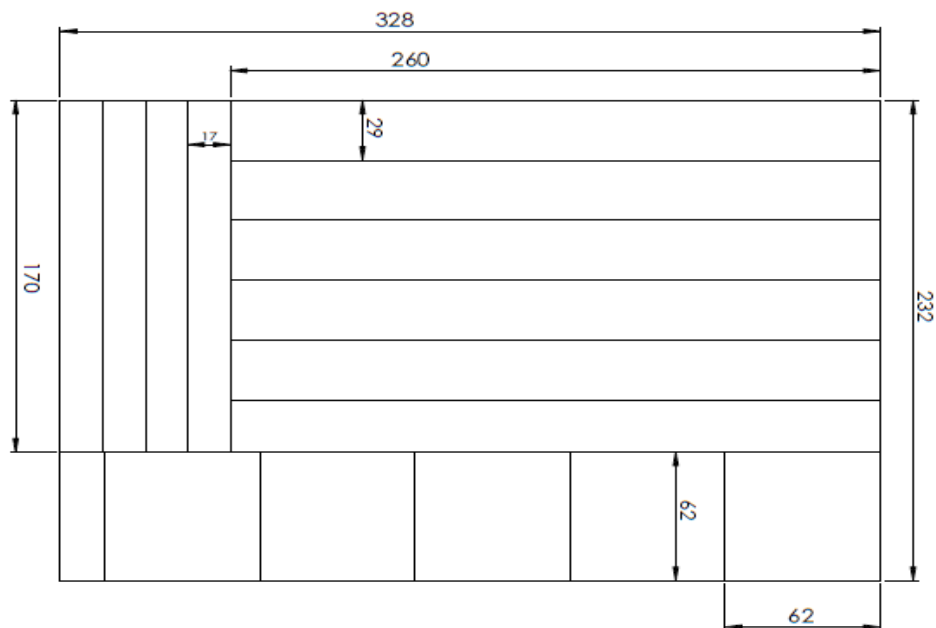
$$v = \text{largo} * \text{ancho} * \text{espesor}$$

$$v = 328\text{mm} * 232\text{mm} * 4\text{mm}$$

$$v = 304385 \text{ mm}^3$$

$$v = 304.384 \text{ cm}^3$$

Como la norma ASTM D 3039/ D3039 M- 00 establece hacer mínimo 5 probetas para el ensayo de tracción, de igual manera la norma ASTM D 7264/ D 7264 M- 07 establece hacer mínimo 5 probetas para el ensayo de flexión y basado en la norma ASTM 5628 – 96 (geometría FE) establece hacer las probetas sobre el valor establecido procedemos hacer mínimo 5 probetas para el ensayo de impacto el molde establecido se trabaja para las probetas establecidas.



*Figura 2. 7 Plano de corte para las probetas según normativa establecida*

### 2.7.2.5 Cálculo de masa de las fibras de las diferentes combinaciones

*Tabla 2. 10 Volumen total de probetas*

Probeta	Volumen $\text{cm}^3$
Tracción	304.384 $\text{cm}^3$
Flexión	
Impacto	

Una vez determinada las densidades del material a trabajar y determinado el volumen de las probetas se procede a calcular la masa de cada elemento en las distintas combinaciones.

**Tabla 2. II Determinación de composición para tratamiento # 1**

Tratamiento	Matriz	FV	FA	FC	Tot. Compuesto
# 1	70 %	20 %	0 %	10%	100%

Del volumen total determinado establecemos el 70 % - 30% para calcular los valores en masa ya sea de matriz o refuerzos.

a. Matriz

$$100 \% \rightarrow 304.384 \text{ cm}^3$$

$$70 \% \rightarrow x \qquad \qquad \qquad x = 213.1 \text{ cm}^3$$

Debido a las pérdidas que existe por desperdicios en recipiente, brocha y guantes y a la absorción de resina por parte de las fibras se aumenta un 40% de resina adicional a la totalidad trabajando.

$$V_{RE} = 213.1 * 1.4$$

$$V_{RE} = 298.34 \text{ cm}^3$$

Una vez determinada la cantidad total de matriz se entiende que la resina epoxi trabaja con un endurecedor el mismo que viene establecido en cantidades por el fabricante donde para la resina LAM-125-LAM-224 (Anexo 1) establece una relación de 3:1 en volumen ( $\text{cm}^3$ ) siendo resina y endurecedor correspondientemente.

$$3 \text{ cm}^3 \rightarrow 1 \text{ cm}^3$$

$$298.34 \text{ cm}^3 \rightarrow x \qquad \qquad \qquad x = 99.4 \text{ cm}^3$$

Entonces el volumen total utilizado de la resina epoxi añadido el endurecedor para el molde establecido es un volumen total de  $397.74 \text{ cm}^3$ .

b. Refuerzo

$$100 \% \rightarrow 304.384 \text{ cm}^3$$

$$30 \% \rightarrow x \qquad \qquad \qquad x = 91.3 \text{ cm}^3$$

**Para FV = 20%**

$$30 \% \rightarrow 91.3 \text{ cm}^3$$

$$20 \% \rightarrow x \qquad \qquad \qquad x = 60.88 \text{ cm}^3$$

Con el volumen establecido procedemos a calcular la masa donde se sabe que es igual a:

$$m = V * \rho$$

Donde:

m= masa  
v= volumen  
 $\rho$ = densidad

Entonces procedemos a calcular la masa para la fibra de vidrio (20%).

$$m = 60.88 \text{ cm}^3 * 2,46 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$m_{FV} = 149.76 \text{ g}$$

Se trabaja con un factor de mayoración = 2 debido a que la fibra corta se esponja y no ingresa en su totalidad en el molde, Por ende, se tiende a trabajar con el 50% de la totalidad de las masas calculadas.

$$m_{FV} = 74.88 \text{ g}$$

**Para FC = 10%**

$$30 \% \rightarrow 91.3 \text{ cm}^3$$

$$10 \% \rightarrow x \quad x=30.43 \text{ cm}^3$$

Entonces procedemos a calcular la masa para la fibra de cabuya (10%).

$$m = 30.43 \text{ cm}^3 * 1.32 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$m_{FC} = 40.17 \text{ g}$$

$$m_{FC} = 20.1 \text{ g}$$

Establecido el procedimiento anterior procedemos a determinar las masas necesarias para las combinaciones posteriores.

**Tabla 2. 12** Cálculo de la masa de fibras

Variables del Diseño					
Fibra de Abacá: FV		Fibra de Cabuya: FA		Fibra de Vidrio: FC	
TRACCIÓN – FLEXIÓN -IMPACTO					
DESCRIPCIÓN	Material	Volumen de probetas	304.384	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Masa (gr)
	Resina Epoxi	70%	213.1		
#	Refuerzo	30%	91.284		
1	FV	20%	60,88	2,46	74,88
	FA	0%	0,00	1,31	0,00
	FC	10%	30,44	1,32	20,09
2	FV	0%	0,00	2,46	0,00
	FA	0%	0,00	1,31	0,00
	FC	30%	91,32	1,32	60,27
	FV	10%	30,44	2,46	37,44

3	FA	10%	30,44	1,31	19,94
	FC	10%	30,44	1,32	20,09
4	FV	10%	30,44	2,46	37,44
	FA	0%	0,00	1,31	0,00
5	FC	20%	60,88	1,32	40,18
	FV	0%	0,00	2,46	0,00
6	FA	20%	60,88	1,31	39,87
	FC	10%	30,44	1,32	20,09
7	FV	30%	91,32	2,46	112,32
	FA	0%	0,00	1,31	0,00
8	FC	0%	0,00	1,32	0,00
	FV	0%	0,00	2,46	0,00
9	FA	10%	30,44	1,31	19,94
	FC	20%	60,88	1,32	40,18
10	FV	20%	60,88	2,46	74,88
	FA	0%	0,00	1,31	0,00
10	FC	10%	30,44	1,32	20,09
	FV	10%	30,44	2,46	37,44
10	FA	20%	60,88	1,31	39,87
	FC	0%	0,00	1,32	0,00
10	FV	20%	60,88	2,46	74,88
	FA	10%	30,44	1,31	19,94
10	FC	0%	0,00	1,32	0,00

Así se logra definir que la cantidad total de cada fibra que se empleará en la conformación del compuesto.

**Tabla 2. 13 Masa total de fibras**

<b>FIBRA TOTAL</b>	
<b>FV</b>	449,3 g
<b>FA</b>	139,6 g
<b>FC</b>	220,9 g

De igual manera se establece la cantidad total del volumen de resina epoxi a utilizar.

**Tabla 2. 14 Volumen total de resina epoxi**

<b>VOLUMEN TOTAL DE RESINA EPOXI</b>	
<b>Parcial</b>	<b>Total</b>
<b>298.34 cm<sup>3</sup></b>	<b>2883.4 cm<sup>3</sup></b>

Así mismo se determina la cantidad total del volumen del endurecedor para la resina epoxi a utilizar.

*Tabla 2. 15 Volumen total de endurecedor*

Parcial	Total
99.4 cm <sup>3</sup>	994 cm <sup>3</sup>

### 2.7.2.6 Preparación de las fibras cortas (15 mm) de vidrio, abacá y cabuya

Una vez obtenido la fibra sintética y las fibras naturales se procede a realizar el corte del material a la medida correspondiente, todo el trabajo se lo realiza de manera manual.

Para la realización de este proceso se utilizó una medida referencial la misma que es base para proceder a cortar el material ya sea el natural o el sintético, cabe mencionar que para esto se debe ocupar guantes, mascarilla y gafas de protección debido a que existen pelusas que pueden ser perjudiciales para la salud del operario.

*Tabla 2. 16 Corte de fibras*








### 2.7.2.7 Fabricación de probeta basado en cada tratamiento




*Tabla 2. 17 Fabricación de probeta basado en cada tratamiento*

#	Actividad	Descripción	Imagen
1	Adquisición de los materiales	Se utilizó el molde, resina epoxi, pernos m12, cera desmoldante, guantes , guaípe, plastilina y las fibras correspondientes a cada tratamiento.	
2	Elaborar el molde	Establecido el plano de corte se procedió a construir el molde con el que trabajó para la obtención de las probetas.	
3	Encerar el molde	Se procedió a colocar cera desmoldante en el molde tres capas dejando secar una tras otra.	
4	Colocar pernos y plastilina	Se colocó los pernos respectivamente y adicional plastilina en los costados para evitar pérdidas de la resina epoxi.	



5	Pesar la cantidad de fibra y resina a utilizar	Se pesó la cantidad de cada fibra y resina epoxi según el tratamiento a realizar	
6	Mezclar fibras y resina	Una vez determinado la cantidad de matriz y refuerzo se procedió a mezclarlos con homogeneidad.	
7	Colocar mezcla	Una vez mezclado todo el tratamiento se procedió a colocar el material en el molde	
8	Cerrar molde	Finalmente se culmina con la puesta de las tuercas y esperar 24 horas para su desmoldeo.	
9	Desmoldar	Se procedió a retirar el material compuesto del molde	
10	Rayado y corte de probetas	Se procedió a medir, rayar y cortar según las medias establecidas para obtener las	



		probetas deseadas.	
11	Lijado	Se lijó para dejar a las medidas establecidas y retirar rebabas o astillas.	
12	Adecuación para ensayos	Las probetas que se utilizaron para el ensayo a tracción son colocadas en los extremos una lija # 50 con isarcol la misma que tiene una longitud de dos pulgadas con el ancho de la misma probeta.	

### 2.7.3 Diagrama de flujo del procedimiento del trabajo experimental

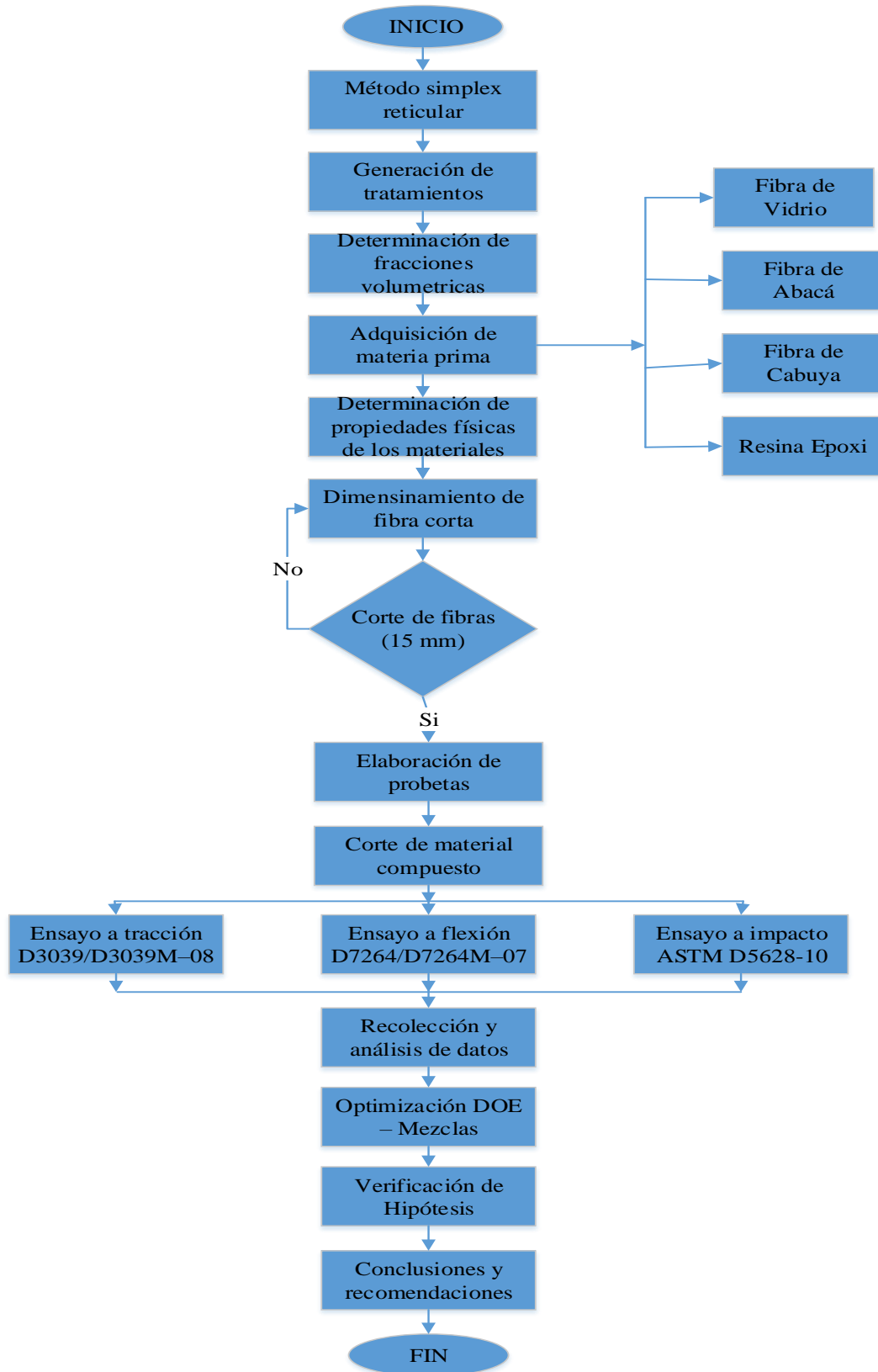


Figura 2. 8 Diagrama de flujo del procedimiento del trabajo experimental

## 2.8 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

*Tabla 2. 18 Recolección de información*

<b>Plan de recolección de información</b>	
<b>¿Qué?</b>	Las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido de fibra corta de abacá, fibra de vidrio y fibra de cabuya, combinado con una matriz de resina epoxi.
<b>¿Para qué?</b>	Optimizar las propiedades mecánicas mediante la aplicación de una metodología estadística DOE - mezclas.
<b>¿Quién?</b>	La recolección de información es realizada por el investigador (David Torres).
<b>¿A quién?</b>	Dirigido a estudiantes y docentes que necesiten una base bibliográfica y un aporte consistente a proyectos que se ejecutan actualmente en la UTA-FICM.
<b>¿Cómo?</b>	Se recolecta la información mediante el aporte del proyecto de investigación del cual se deriva este trabajo experimental.
<b>¿Con qué?</b>	Para obtener la información se emplean hojas de cálculo, editor de texto y bibliografía.
<b>¿Cuándo?</b>	Se ejecuta en el año 2019 – 2020.
<b>¿Cuántas veces?</b>	En los ensayos a tracción, flexión e impacto se realiza 5 veces para cada combinación, obteniendo 10 combinaciones en total 150 probetas.
<b>¿Dónde?</b>	La recolección de información es realizada en la Universidad Técnica de Ambato.

### **Plan de procesamiento y análisis**

#### *Revisión*

La información adquirida con el plan de recolección fue revisada para corroborar que se mantengan constantes las réplicas en los diferentes niveles de cada factor.

#### *Tabulación*

Los datos obtenidos se organizan y ubican de manera estratégica de acuerdo a la matriz de diseño planteada para la aplicación del diseño experimental.

#### *Análisis*

Se realizan las distintas pruebas estadísticas para analizar la información recolectada con el objetivo de optimizar las propiedades mecánicas.

#### *Presentación*

La información se dispone en gráficos y tablas con el fin de entender el comportamiento de los factores de entrada en las respuestas de salida.



#### *Interpretación*

Se persigue saber si con la metodología aplicada existe optimización de las propiedades, se interpreta contrastando la significancia calculada con la predefinida.

## CAPÍTULO III

### 3.1 RECOPIACIÓN DE DATOS

#### 3.1.1. Resultados de los ensayos de Tracción

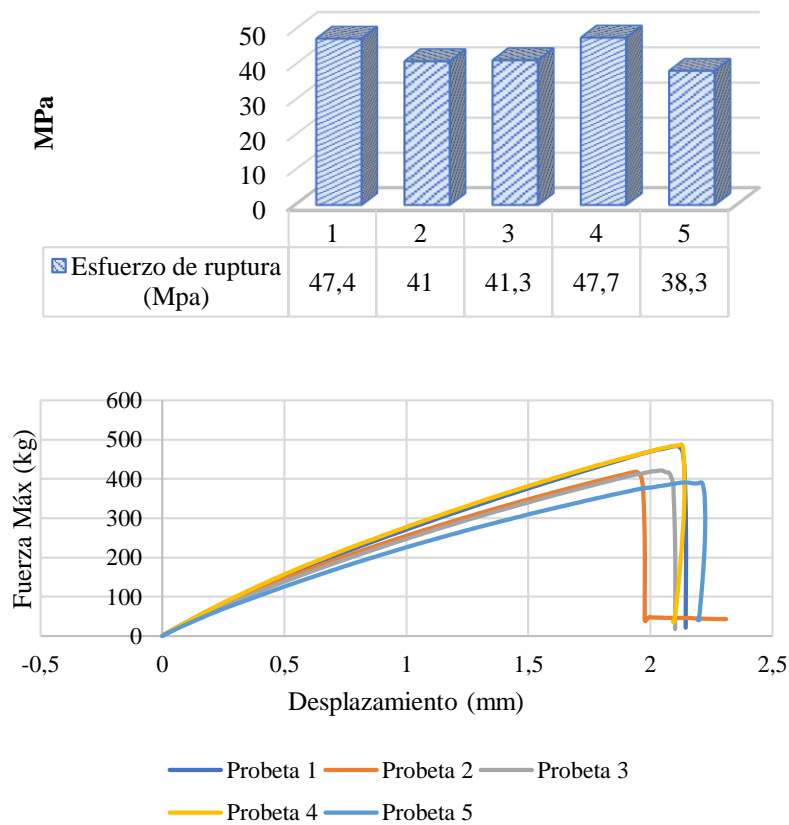
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>Universidad Técnica de Ambato</b>  <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b>  <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b> </div>  </div>					
Datos Técnicos					
<b>Fecha:</b>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<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 Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (20%-0%-10%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
1.1	4736,2	47,4	3115,89	1,5	LGM
1.2	4097,4	41,0	2926,79	1,4	LAT
1.3	4133,4	41,3	2808,57	1,5	AGM
1.4	4765,3	47,7	3108,40	1,5	LGM
1.5	3833,5	38,3	2482,23	1,5	LAT
Promedio	4313,2	43,1	2888,4	-	-
Desv. Est	416,1	4,2	261,2	-	-
Fotografías del Ensayo					

Continua en la siguiente página...





Gráfica

### ESFUERZO DE RUPTURA



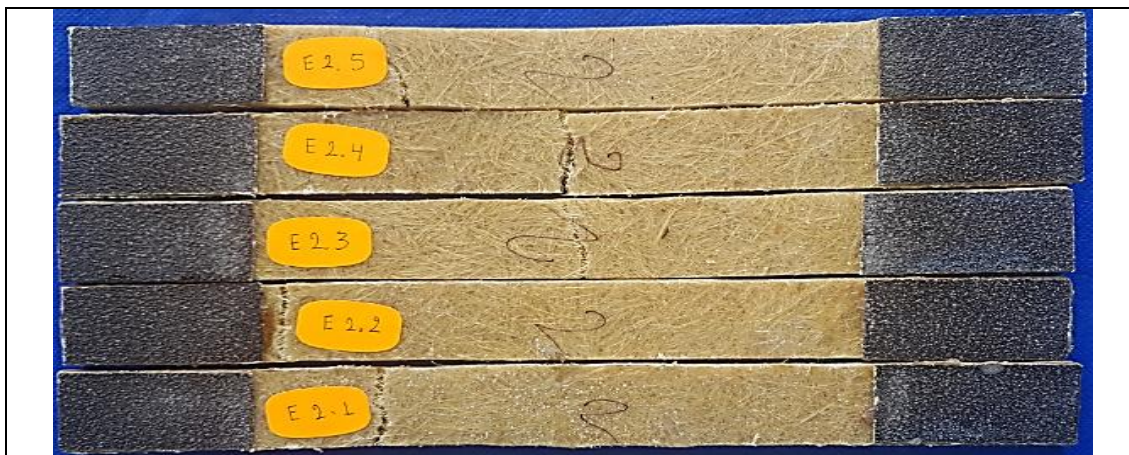
### Evaluación y Observaciones

Esfuerzo Máximo Promedio:	43,1 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	2888,4 MPa
Espesor real:	4 mm

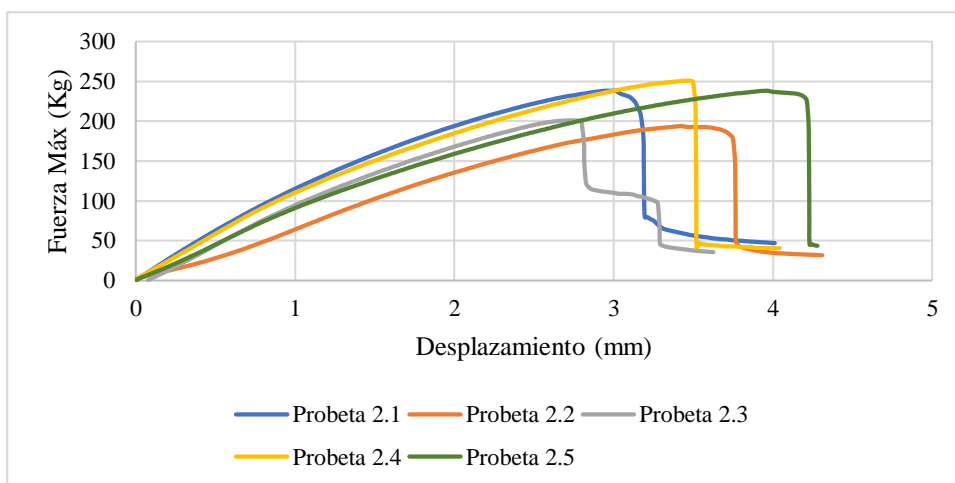
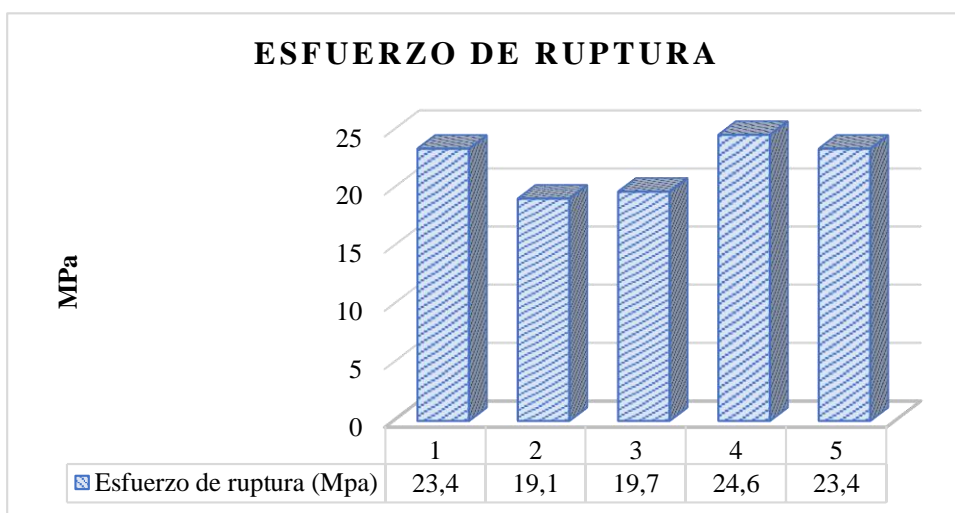
 <b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
Datos Técnicos					
<b>Fecha:</b>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<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 Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (0%-0%-30%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
2.1	2337,8	23,4	1100,56	2,1	LAT
2.2	1905,6	19,1	772,24	2,5	LAT
2.3	1973,1	19,7	1004,61	2,0	LGM
2.4	2458,3	24,6	987,58	2,5	LGM
2.5	2337,0	23,4	820,32	2,8	LGT
Promedio	2202,4	22,0	937,1	-	-
Desv. Est	246,3	2,5	136,6	-	-
Fotografías del Ensayo					

Continua en la siguiente página...







**Gráfica**



### Evaluación y Observaciones

Esfuerzo Máximo Promedio:	22 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	937,1 MPa
Espesor real:	4 mm

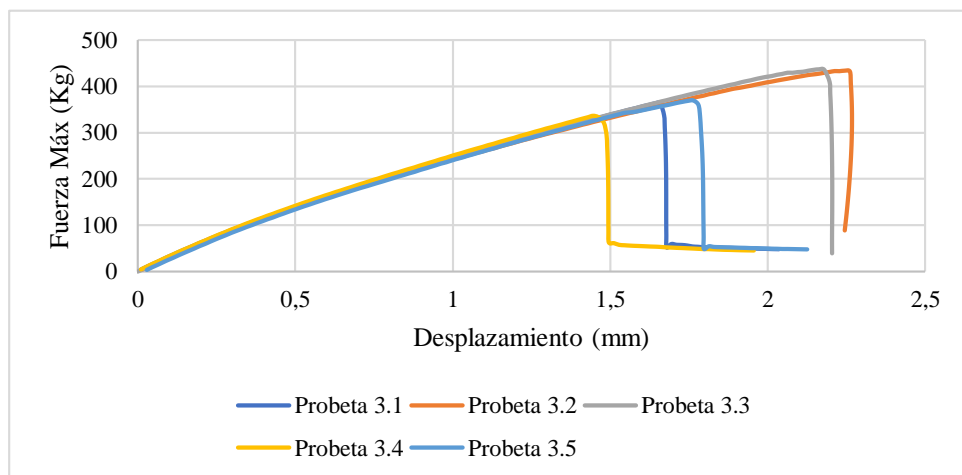
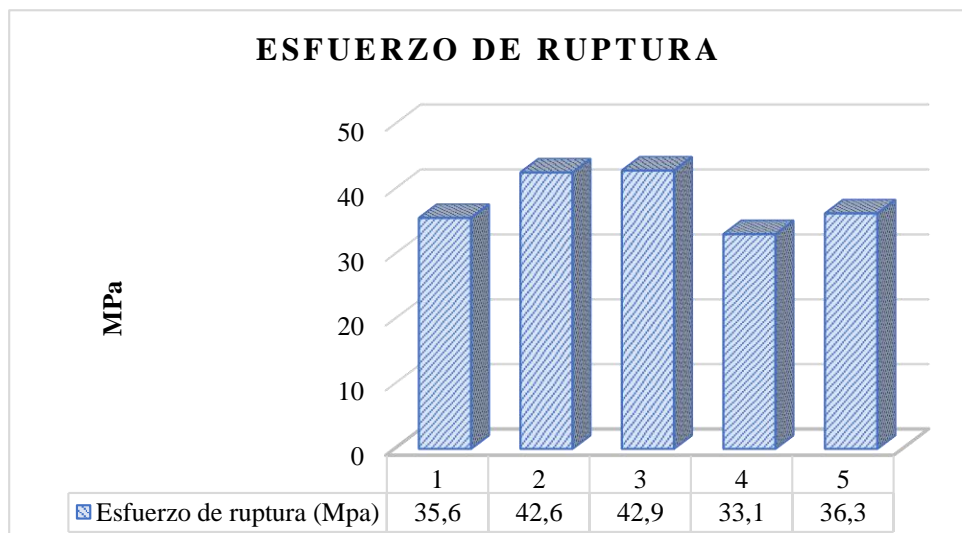
 <b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
Datos Técnicos					
<b>Fecha:</b>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<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 Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (10%-10%-10%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
3.1	3560,8	35,6	3018,02	1,2	LGM
3.2	4256,1	42,6	2635,09	1,6	LGM
3.3	4291,3	42,9	2758,16	1,6	LGM
3.4	3305,8	33,1	3180,36	1,0	LAT
3.5	3629,0	36,3	2860,35	1,3	LAT
Promedio	3808,6	38,1	2890,4	-	-
Desv. Est	441,5	4,4	214,4	-	-
Fotografías del Ensayo					

Continua en la siguiente página...







**Gráfica**



**Evaluación y Observaciones**

Esfuerzo Máximo Promedio:	38,1 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	2890,4 MPa
Espesor real:	4 mm

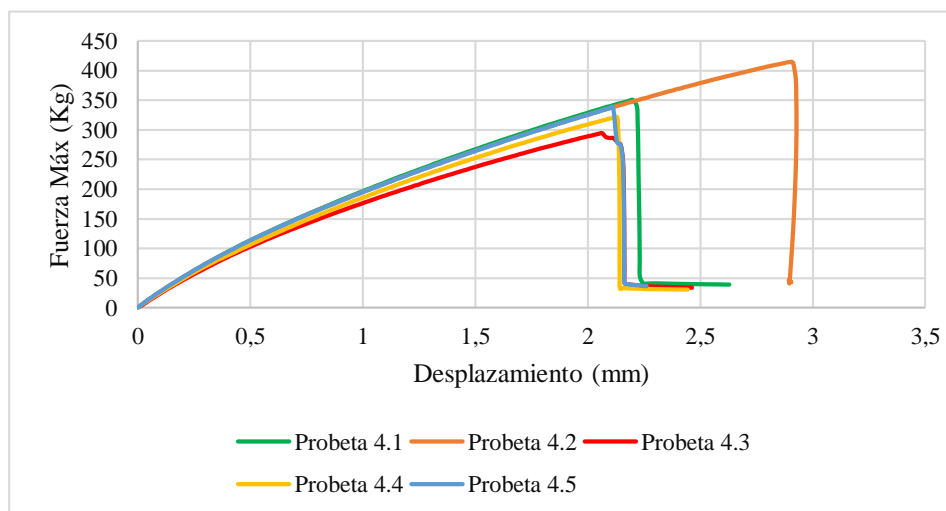
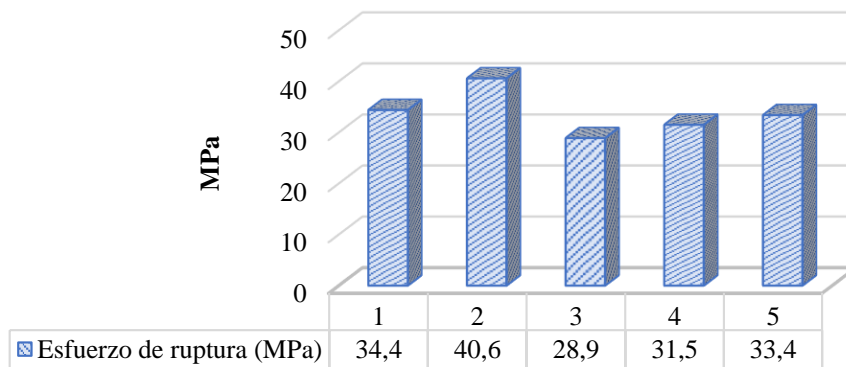
 <b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
Datos Técnicos					
<b>Fecha:</b>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<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 Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (10%-0%-20%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
4.1	3436,8	34,4	2170,8	1,6	AGM
4.2	4063,3	40,6	1949,6	2,1	LGM
4.3	2890,1	28,9	1946,7	1,5	LGM
4.4	3151,0	31,5	2055,7	1,5	LGM
4.5	3336,7	33,4	2137,3	1,6	LAT
Promedio	3375,6	33,8	2052,0	-	-
Desv. Est	437,2	4,4	103,6	-	-
Fotografías del Ensayo					

Continua en la siguiente página...





**Gráfica**

### ESFUERZO DE RUPTURA



### Evaluación y Observaciones

Esfuerzo Máximo Promedio:	33,8 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	2052 MPa
Espesor real:	4 mm

 <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>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<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 Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (0%-20%-10%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
5.1	2318,1	23,2	1173,1	2,0	LGM
5.2	3018,3	30,2	1319,1	2,3	AGM
5.3	2633,6	26,3	1769,5	1,5	LGM
5.4	2901,8	29,0	1660,0	1,7	LGM
5.5	2506,8	25,1	1383,7	1,8	LAT
Promedio	2675,7	26,8	1461,1	-	-
Desv. Est	285,8	2,9	246,9	-	-
Fotografías del Ensayo					

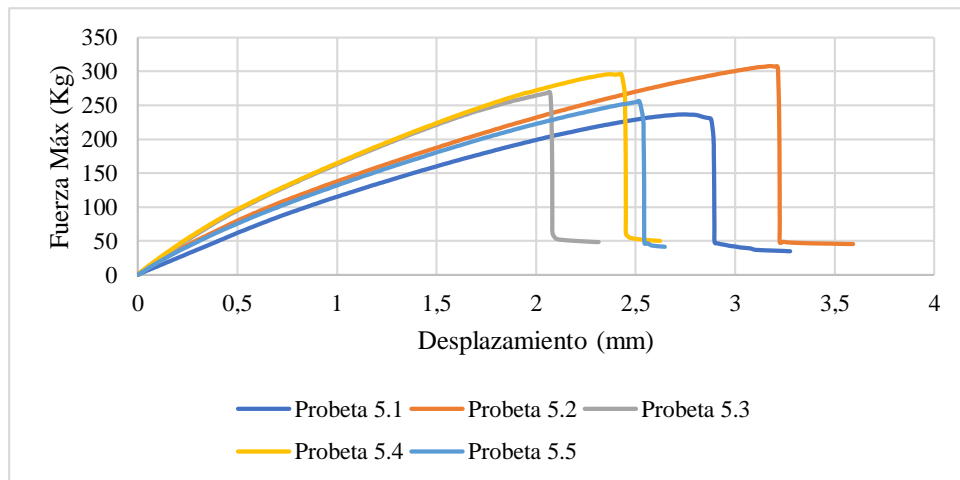
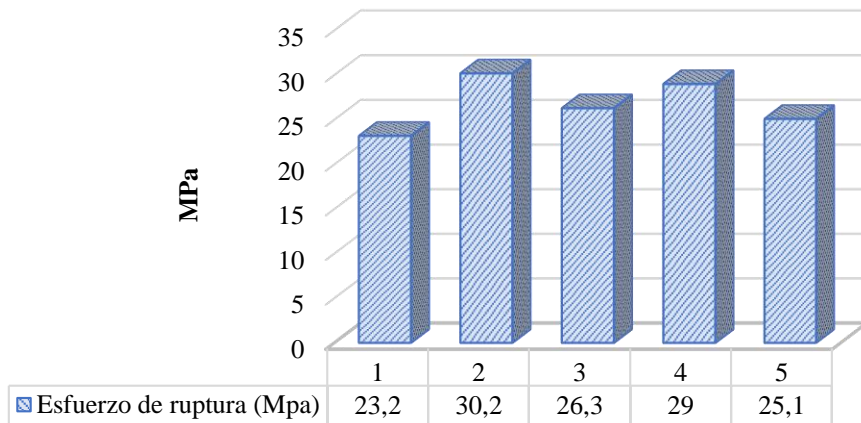
Continua en la siguiente página...





**Gráfica**

**ESFUERZO DE RUPTURA**



**Evaluación y Observaciones**

Esfuerzo Máximo Promedio:	26,8 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	1461,1 MPa
Espesor real:	4 mm

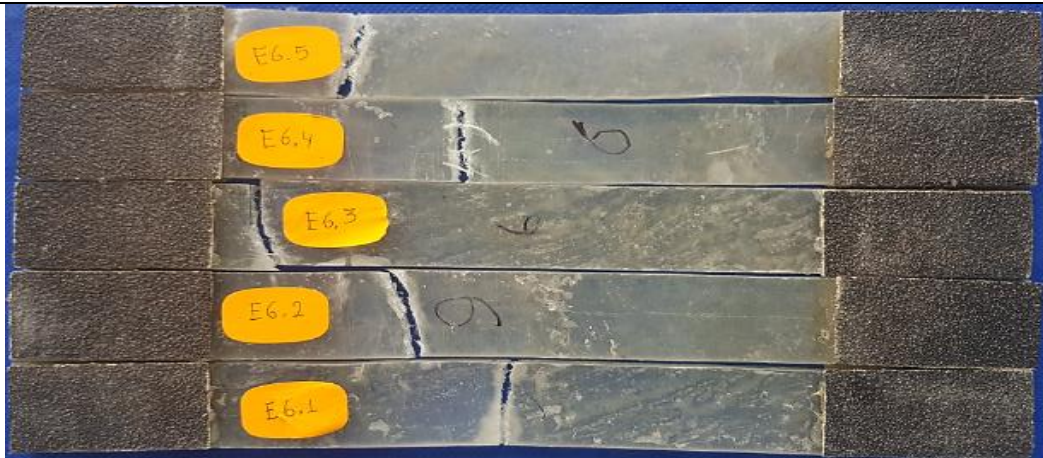


Universidad Técnica de Ambato  
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica  
Carrera de Ingeniería Mecánica



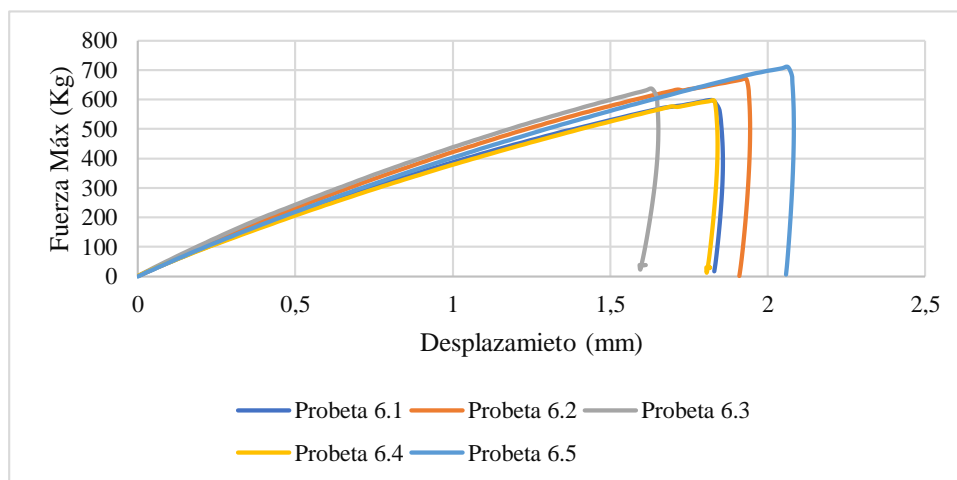
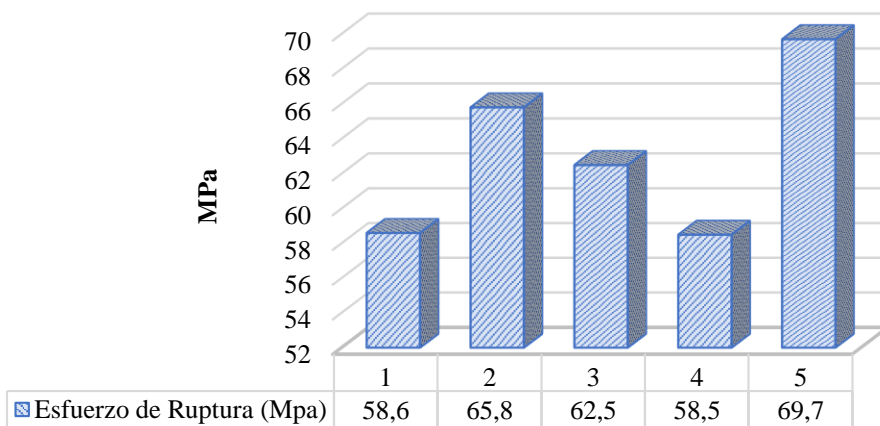
Datos Técnicos					
<b>Fecha:</b>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<b>Revisado por :</b>	Ing. Juan Paredes		
Parámetros de Ensayo					
<b>Tipo de Ensayo:</b>	Tracción	<b>Norma:</b>	ASTM-D3039		
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión		
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (30%-0%-0%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
6.1	5857,6	58,6	4492,9	1,3	LGM
6.2	6578,2	65,8	4737,5	1,4	AGM
6.3	6249,9	62,5	5322,1	1,2	LAT
6.4	5852,6	58,5	4445,0	1,3	LGM
6.5	6965,2	69,7	4690,5	1,5	AGM
Promedio	6300,7	63,0	4737,6	-	-
Desv. Est	479,1	4,8	349,8	-	-
Fotografías del Ensayo					

Continua en la siguiente página...





Gráfica

### ESFUERZO DE RUPTURA



### Evaluación y Observaciones

Esfuerzo Máximo Promedio:	63 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	4737,6 MPa
Espesor real:	4 mm

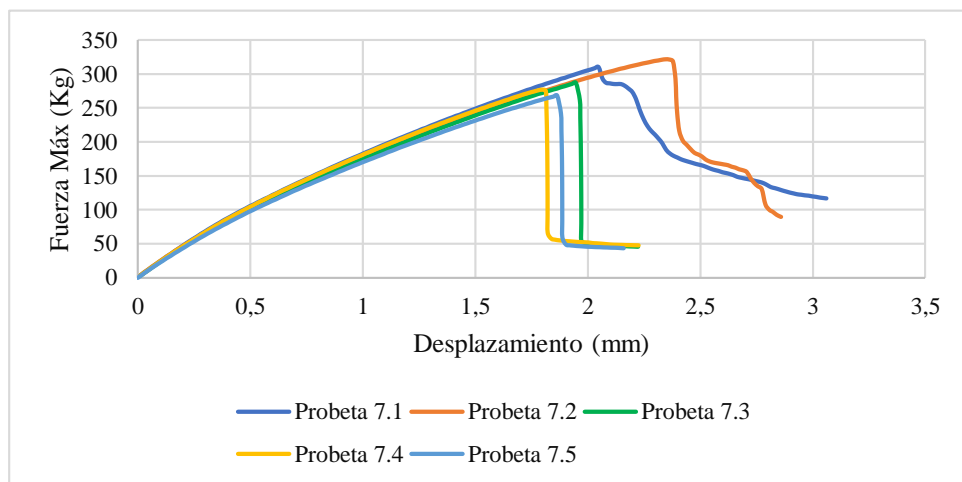
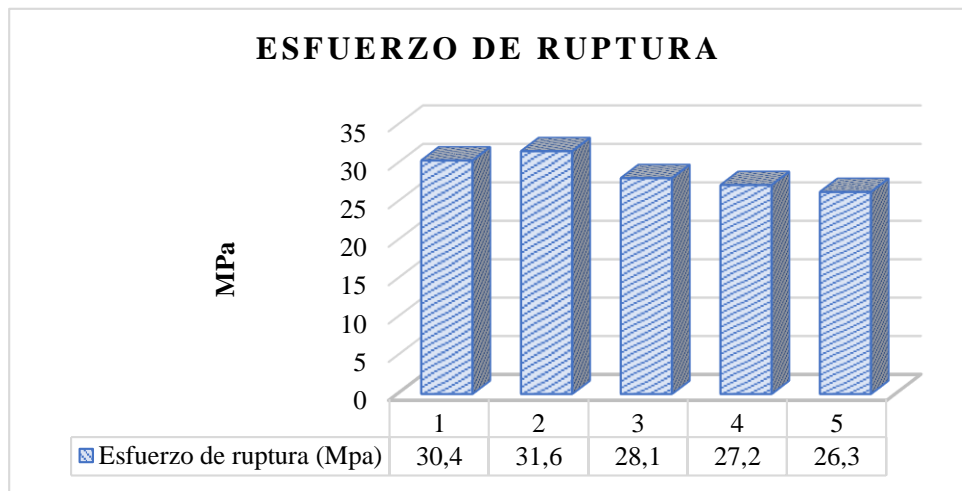
 <b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
Datos Técnicos					
<b>Fecha:</b>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<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 Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (10%-0%-20%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
7.1	3038,9	30,4	2062,4	1,5	LAT
7.2	3157,3	31,6	1871,2	1,7	AGM
7.3	2814,5	28,1	2010,0	1,4	LGM
7.4	2716,1	27,2	2102,5	1,3	AGM
7.5	2630,0	26,3	1962,1	1,3	AGM
Promedio	2871,4	28,7	2001,6	-	-
Desv. Est	221,0	2,2	90,1	-	-
Fotografías del Ensayo					

Continua en la siguiente página...





**Gráfica**



**Evaluación y Observaciones**

Esfuerzo Máximo Promedio:	28,7 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	2001,6 MPa
Espesor real:	4 mm



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



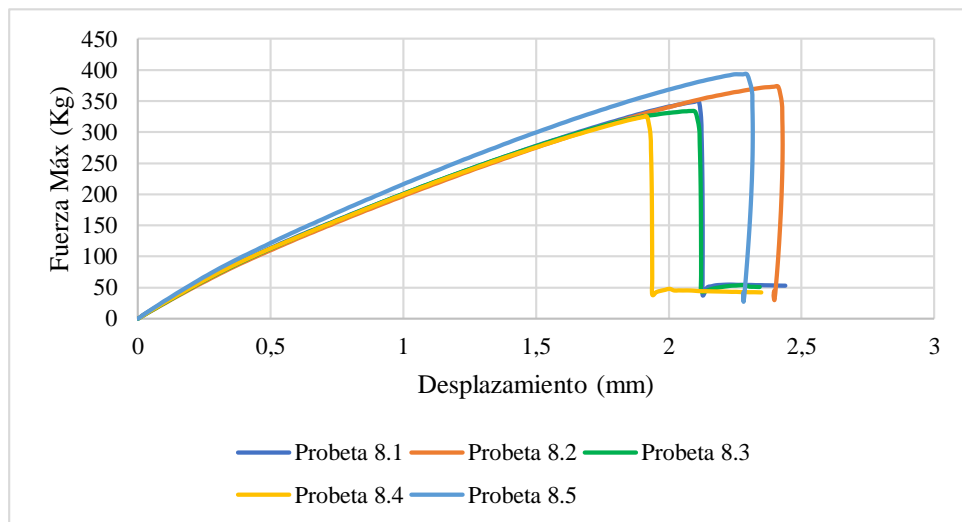
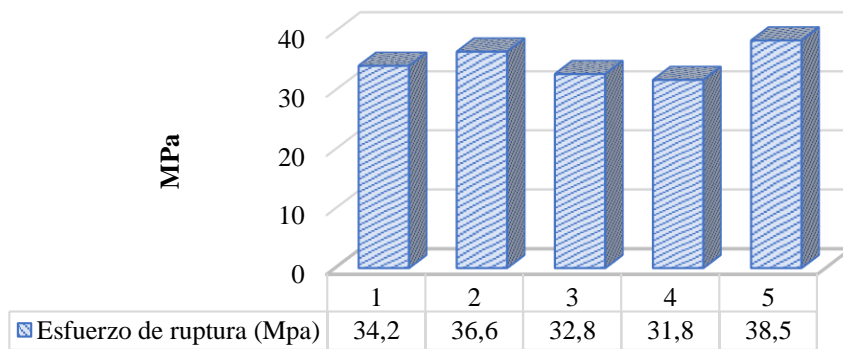
Datos Técnicos					
<b>Fecha:</b>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<b>Revisado por :</b>	Ing. Juan Paredes		
Parámetros de Ensayo					
<b>Tipo de Ensayo:</b>	Tracción	<b>Norma:</b>	ASTM-D3039		
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión		
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (0%-30%-0%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
8.1	3423,7	34,2	2252,8	1,5	LGM
8.2	3657,6	36,6	2121,9	1,7	AGM
8.3	3276,2	32,8	2186,0	1,5	LGM
8.4	3180,6	31,8	2304,8	1,4	AGM
8.5	3853,2	38,5	2367,1	1,6	AGM
Promedio	3478,3	34,8	2246,5	-	-
Desv. Est	276,2	2,8	96,4	-	-
Fotografías del Ensayo					

Continua en la siguiente página...





**Gráfica**

**ESFUERZO DE RUPTURA**



**Evaluación y Observaciones**

Esfuerzo Máximo Promedio:	34,8 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	2246,5 MPa
Espesor real:	4 mm

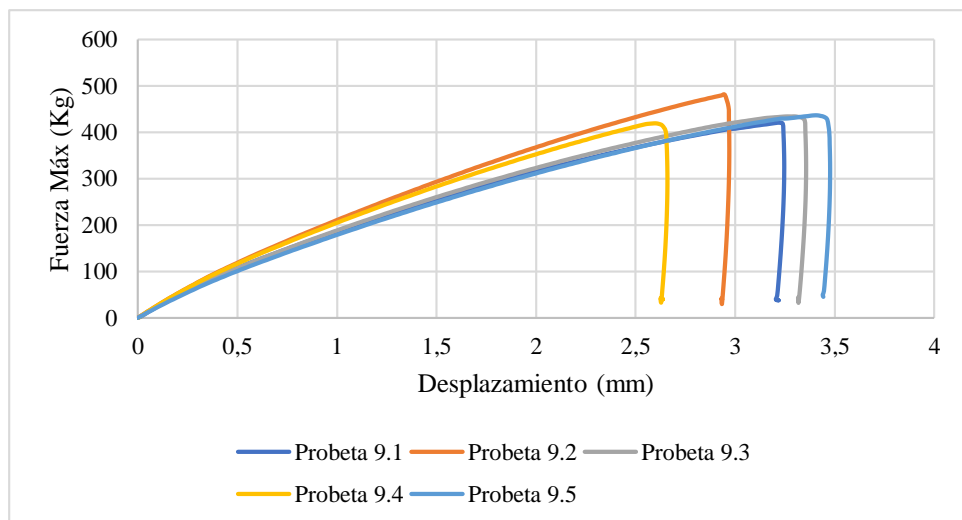
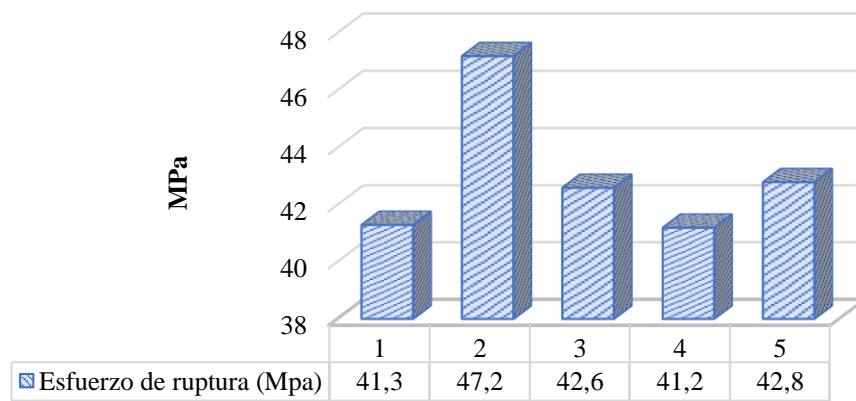
 <b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
Datos Técnicos					
<b>Fecha:</b>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<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 Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (10%-20%-0%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
9.1	4125,1	41,3	1779,1	2,3	AGM
9.2	4716,3	47,2	2224,6	2,1	AGM
9.3	4255,9	42,6	1792,5	2,4	LAT
9.4	4116,1	41,2	2200,5	1,9	AGM
9.5	4281,5	42,8	1743,0	2,5	AGM
Promedio	4299,0	43,0	1947,9	-	-
Desv. Est	244,9	2,4	242,4	-	-
Fotografías del Ensayo					

Continua en la siguiente página...



**Gráfica**

**ESFUERZO DE RUPTURA**



**Evaluación y Observaciones**

Esfuerzo Máximo Promedio:	43 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	1947,9 MPa
Espesor real:	4 mm





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



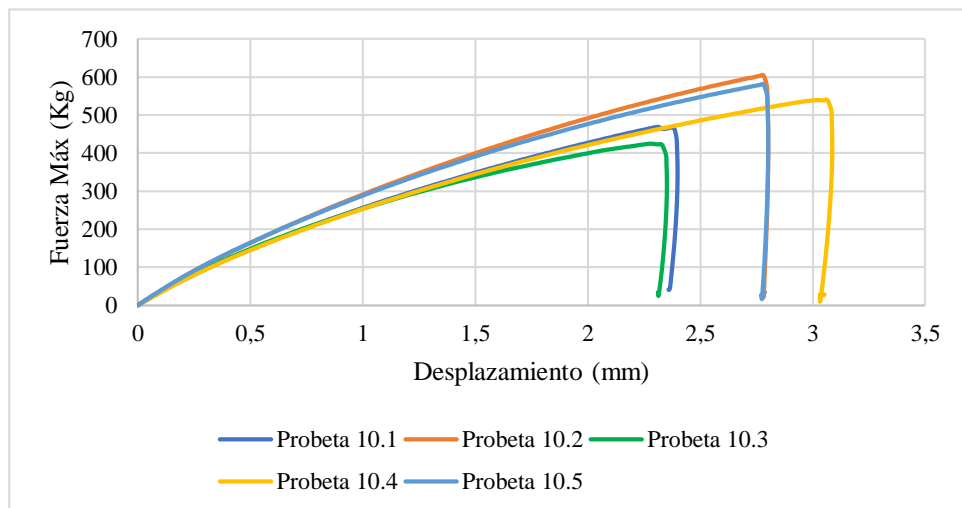
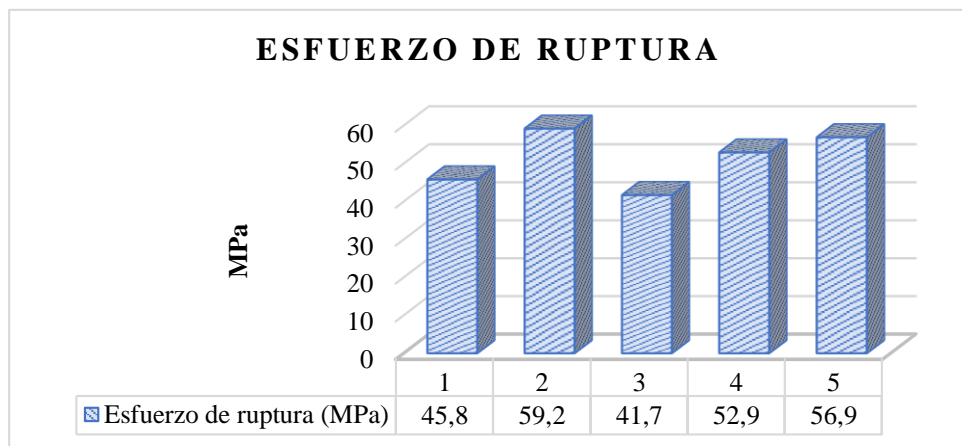
Datos Técnicos					
<b>Fecha:</b>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<b>Revisado por :</b>	Ing. Juan Paredes		
Parámetros de Ensayo					
<b>Tipo de Ensayo:</b>	Tracción	<b>Norma:</b>	ASTM-D3039		
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión		
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (20%-10%-0%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
10.1	4580,5	45,8	2672,3	1,7	AGM
10.2	5923,2	59,2	2959,2	2,0	LGM
10.3	4168,2	41,7	2540,9	1,6	LGM
10.4	5293,0	52,9	2400,5	2,2	AGM
10.5	5691,2	56,9	2843,6	2,0	AGM
Promedio	5131,2	51,3	2683,3	-	-
Desv. Est	741,2	7,4	224,8	-	-
Fotografías del Ensayo					

Continua en la siguiente página...



**Gráfica**



**ESFUERZO DE RUPTURA**



**Evaluación y Observaciones**

Esfuerzo Máximo Promedio:	51,3 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	2683,3 MPa
Espesor real:	4 mm

### 3.1.2. Resultados de los ensayos de Flexión

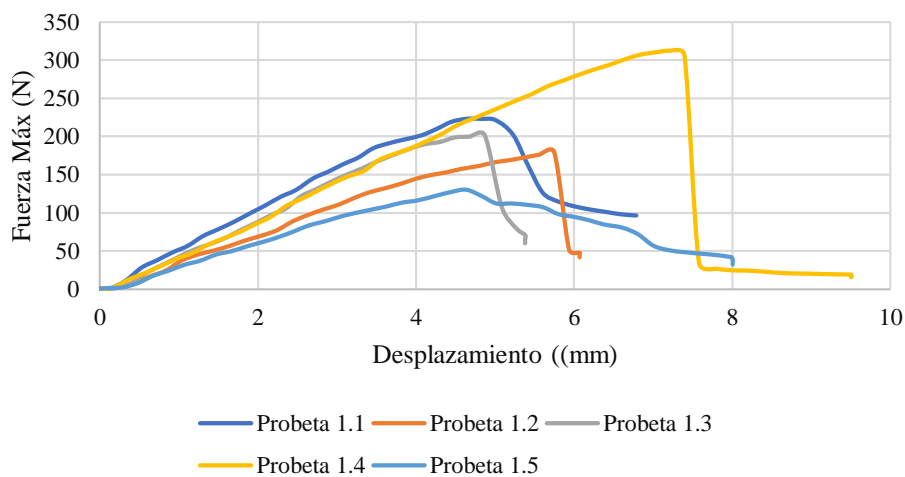
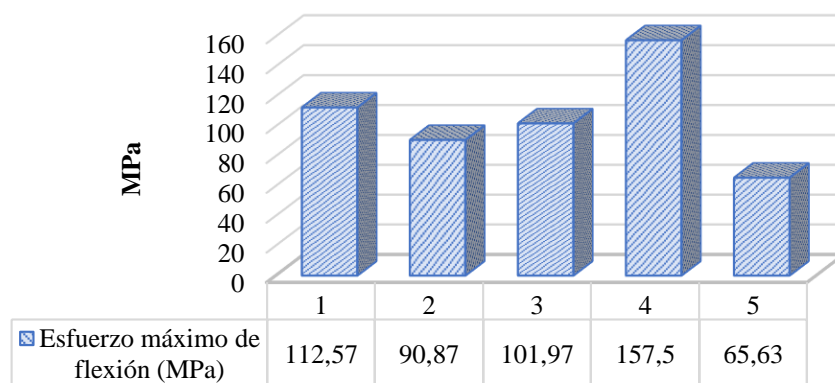
		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>			
Datos Técnicos					
<b>Fecha:</b>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<b>Revisado por :</b>	Ing. Juan Paredes		
Parámetros de Ensayo					
<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D 7264		
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión		
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (20%-0%-10%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
1.1	223,00	112,57	4765,4	4,82	OAB
1.2	180,00	90,87	3229,2	5,75	OAT
1.3	202,00	101,97	4275,8	4,87	OAT
1.4	312,00	157,50	4460,6	7,21	OAB
1.5	130,00	65,63	2891,3	4,63	OAT
Promedio	209,40	105,71	3924,47	5,46	-
Desv. Est	66,96	33,80	816,82	1,07	-
Fotografías del Ensayo					







**Gráfica**

### ESFUERZO MÁXIMO DE FLEXIÓN



### Evaluación y Observaciones

Esfuerzo Máximo Promedio:	105,71 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	3924,47 MPa
Espesor real:	4 mm

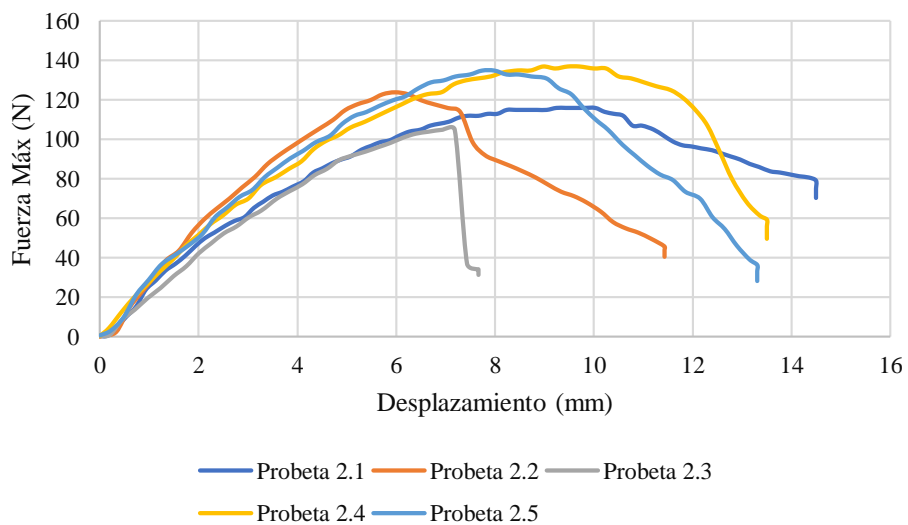
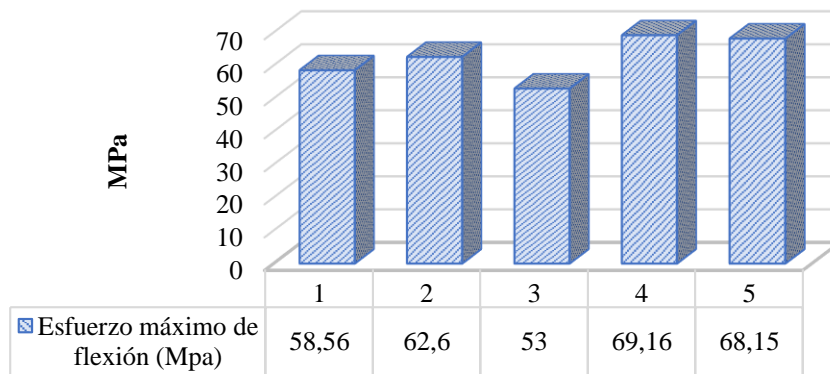
 <b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
Datos Técnicos					
<b>Fecha:</b>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<b>Revisado por :</b>	Ing. Juan Paredes		
Parámetros de Ensayo					
<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D 7264		
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión		
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (0%-0%-30%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
2.1	116,00	58,56	1192,2	10,03	OAT
2.2	124,00	62,60	2139,3	5,97	OAT
2.3	105,00	53,00	1506,8	7,18	OAB
2.4	137,00	69,16	1453,9	9,71	OAT
2.5	135,00	68,15	1689,6	8,24	OAT
Promedio	123,40	62,29	1596,35	8,23	-
Desv. Est	13,35	6,74	351,82	1,70	-
Fotografías del Ensayo					

Continua en la siguiente página...





Gráfica

### ESFUERZO MÁXIMO DE FLEXIÓN



### Evaluación y Observaciones

Esfuerzo Máximo Promedio:	62,29 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	1596,35 MPa
Espesor real:	4 mm

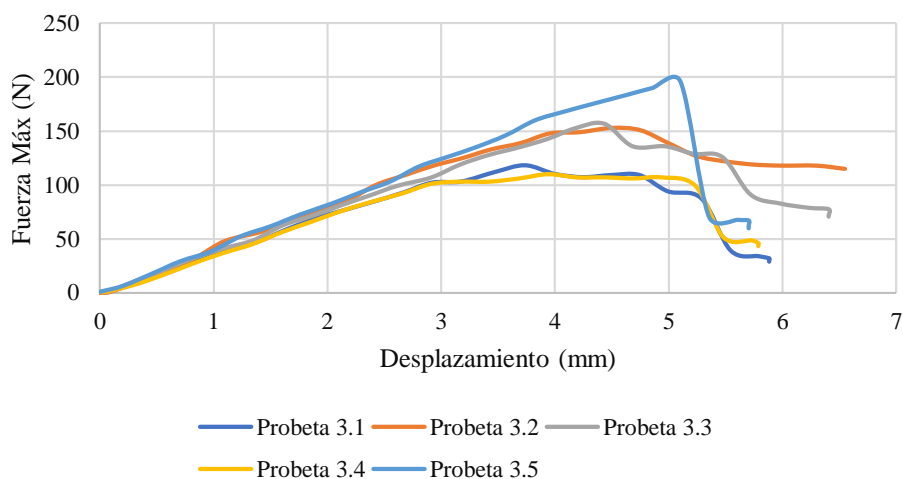
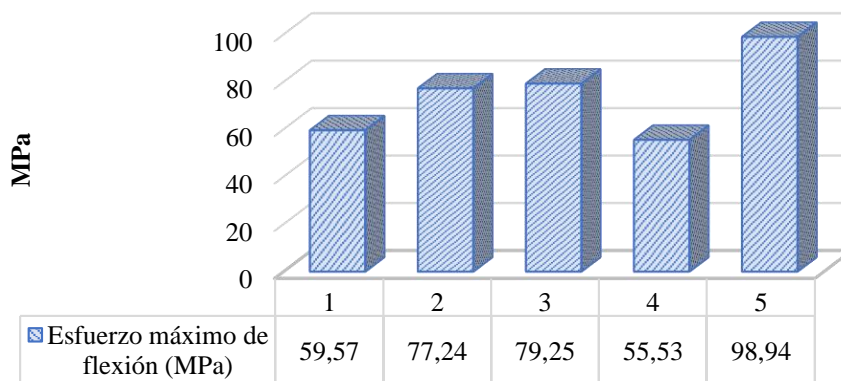
 <b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
Datos Técnicos					
<b>Fecha:</b>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<b>Revisado por :</b>	Ing. Juan Paredes		
Parámetros de Ensayo					
<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D 7264		
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión		
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (10%-10%-10%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
3.1	118,00	59,57	3252,7	3,74	OAB
3.2	153,00	77,24	3503,4	4,50	OAT
3.3	157,00	79,25	3650,2	4,43	OAT
3.4	110,00	55,53	2873,8	3,95	OAT
3.5	196,00	98,94	3957,0	5,11	OAT
Promedio	146,80	74,11	3447,42	4,34	-
Desv. Est	34,45	17,39	409,55	0,53	-
Fotografías del Ensayo					

Continua en la siguiente página...



Gráfica

### ESFUERZO MÁXIMO DE FLEXIÓN



### Evaluación y Observaciones

Esfuerzo Máximo Promedio:	74,11 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	3447,42 MPa
Espesor real:	4 mm





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



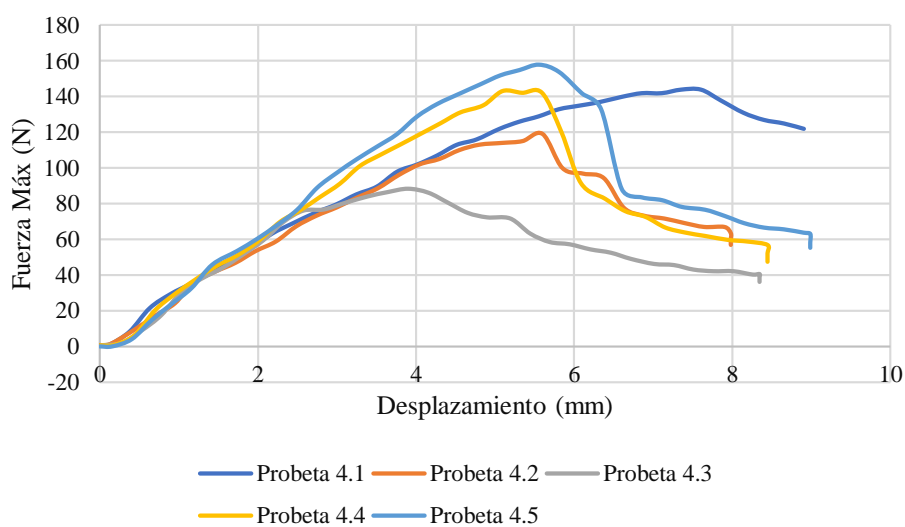
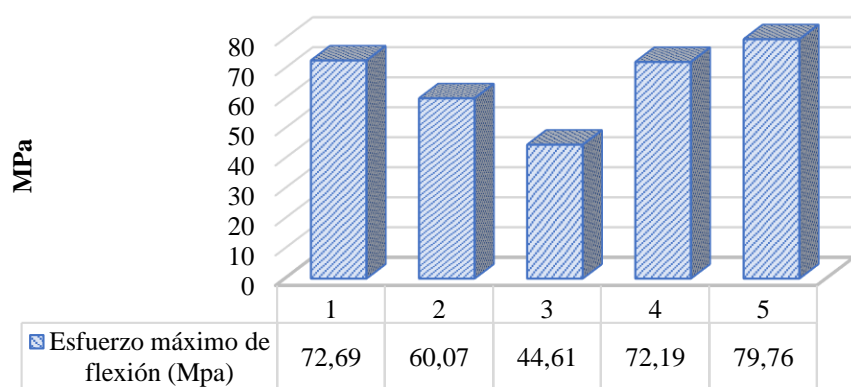
Datos Técnicos					
<b>Fecha:</b>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<b>Revisado por :</b>	Ing. Juan Paredes		
Parámetros de Ensayo					
<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D 7264		
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión		
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (10%-0%-20%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
4.1	144,00	72,69	1952,3	7,60	OAT
4.2	119,00	60,07	2190,1	5,60	OAT
4.3	88,38	44,61	2336,7	3,90	OAT
4.4	143,00	72,19	2891,6	5,10	OAT
4.5	158,00	79,76	2931,5	5,56	OAT
Promedio	130,48	65,86	2460,43	5,55	-
Desv. Est	27,39	13,83	434,26	1,34	-
Fotografías del Ensayo					

Continua en la siguiente página...





**Gráfica**

**ESFUERZO MÁXIMO DE FLEXIÓN**



**Evaluación y Observaciones**

Esfuerzo Máximo Promedio:	65,86 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	2460,43 MPa
Espesor real:	4 mm

 <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>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<b>Revisado por :</b>	Ing. Juan Paredes		
Parámetros de Ensayo					
<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D 7264		
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión		
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (0%-20%-10%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
5.1	91,73	46,31	1212,7	7,80	OAT
5.2	83,25	42,03	1517,8	5,65	OAT
5.3	115,00	58,05	1372,3	8,64	OAT
5.4	113,00	57,04	1958,0	5,95	OAB
5.5	102,00	51,49	1404,1	7,49	OAT
Promedio	101,00	50,98	1492,99	7,10	-
Desv. Est	13,62	6,88	281,91	1,27	-
Fotografías del Ensayo					

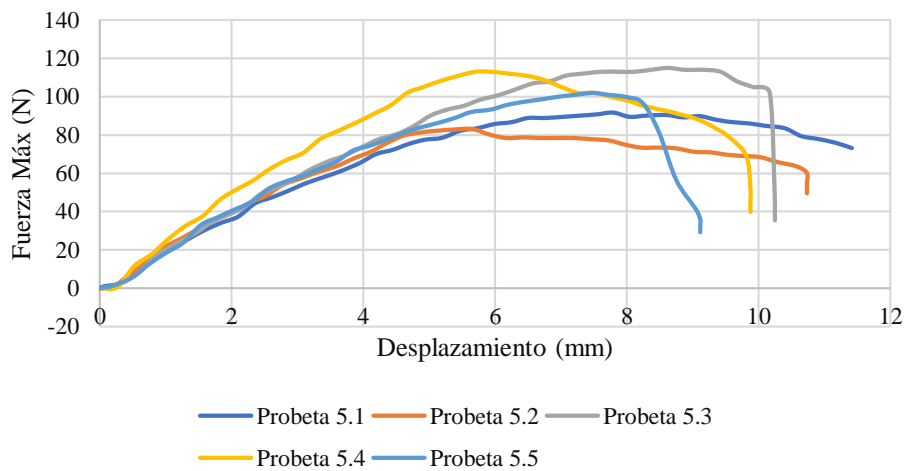
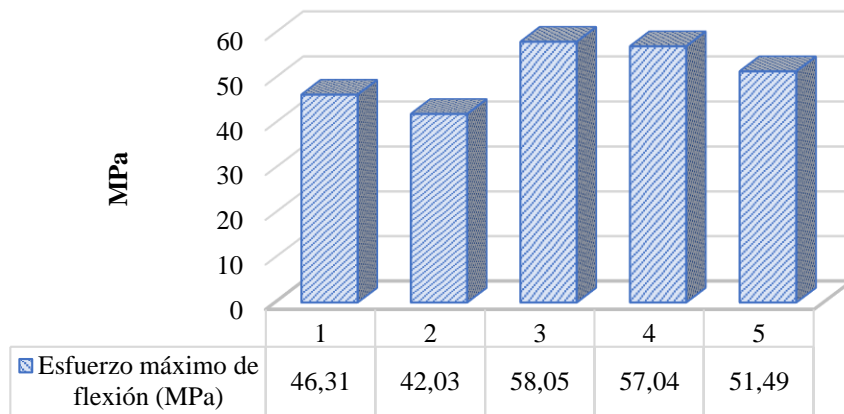
Continua en la siguiente página...







Gráfica

### ESFUERZO MÁXIMO DE FLEXIÓN

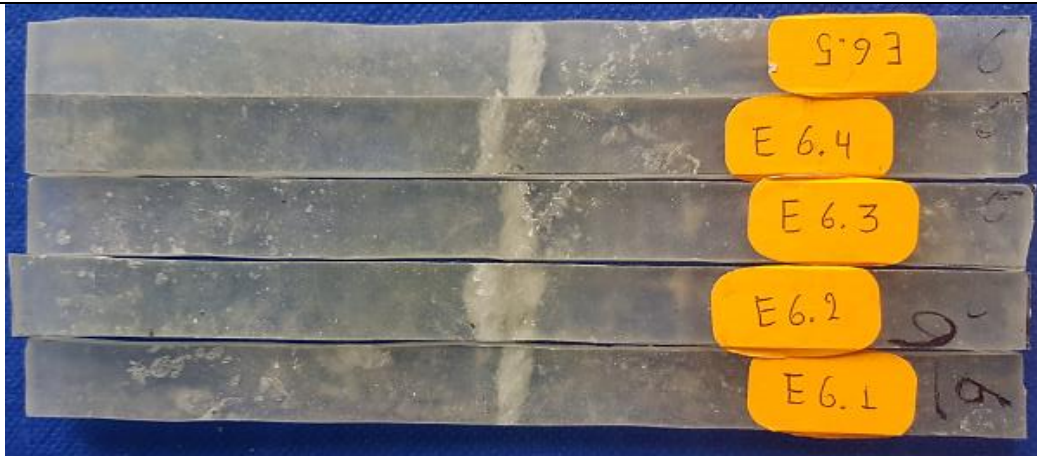


### Evaluación y Observaciones

Esfuerzo Máximo Promedio:	50,98 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	1492,99 MPa
Espesor real:	4 mm

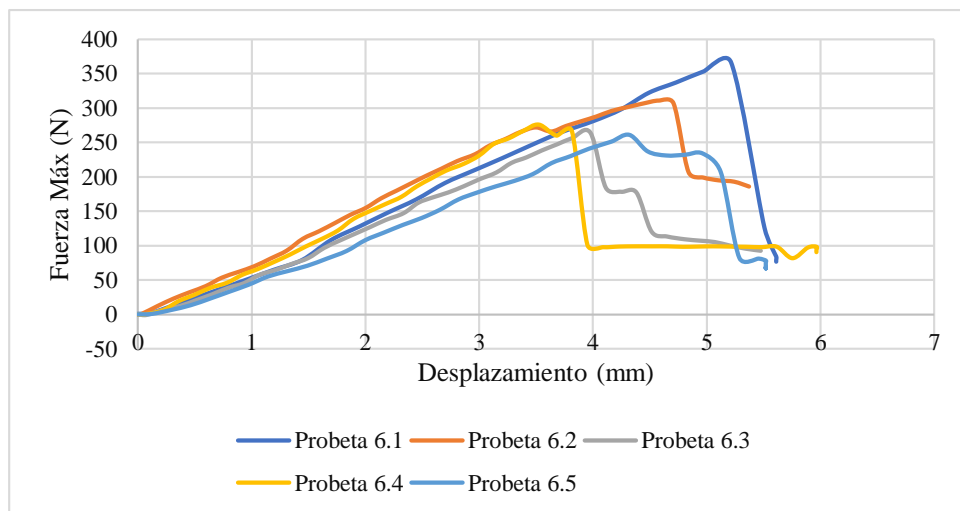
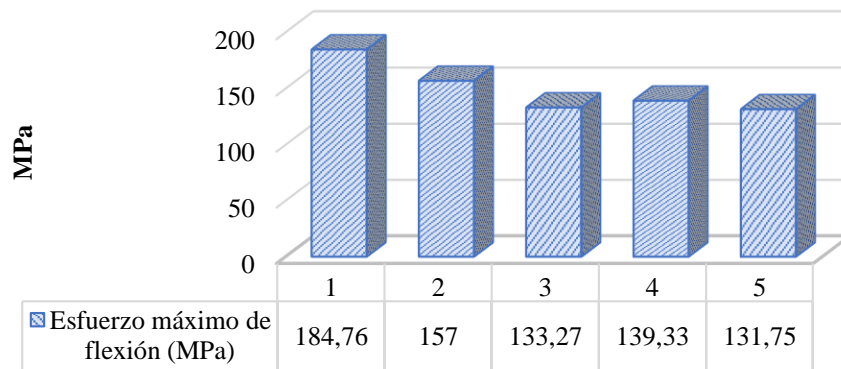
 <b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
<b>Datos Técnicos</b>					
<b>Fecha:</b>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<b>Revisado por :</b>	Ing. Juan Paredes		
<b>Parámetros de Ensayo</b>					
<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D 7264		
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión		
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (30%-0%-0%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
<b>Resultado</b>					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
6.1	366,00	184,76	7234,7	5,21	OAT
6.2	311,00	157,00	6998,5	4,58	OAB
6.3	264,00	133,27	6841,6	3,98	OAT
6.4	276,00	139,33	8069,8	3,53	OAT
6.5	261,00	131,75	6228,3	4,32	OAT
Promedio	295,60	149,22	7074,58	4,32	-
Desv. Est	44,08	22,25	669,39	0,64	-
<b>Fotografías del Ensayo</b>					

Continua en la siguiente página...



**Gráfica**

**ESFUERZO MÁXIMO DE FLEXIÓN**



**Evaluación y Observaciones**

Esfuerzo Máximo Promedio:	149,22 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	7074,58 MPa
Espesor real:	4 mm



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



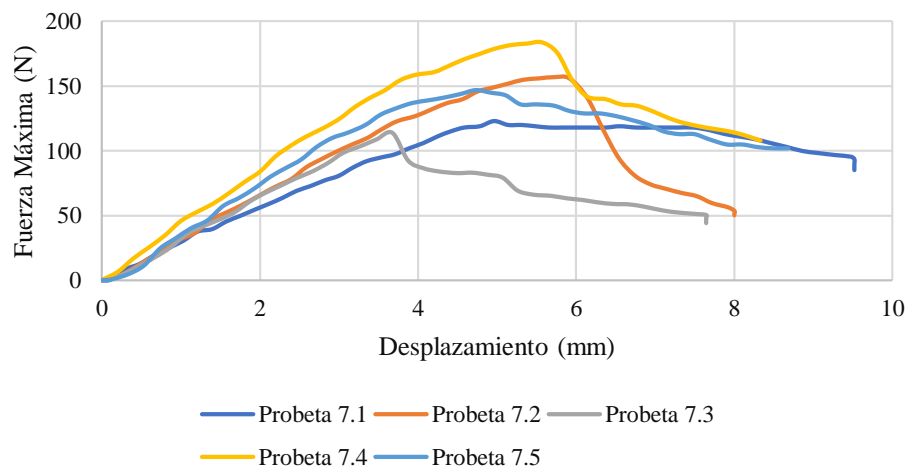
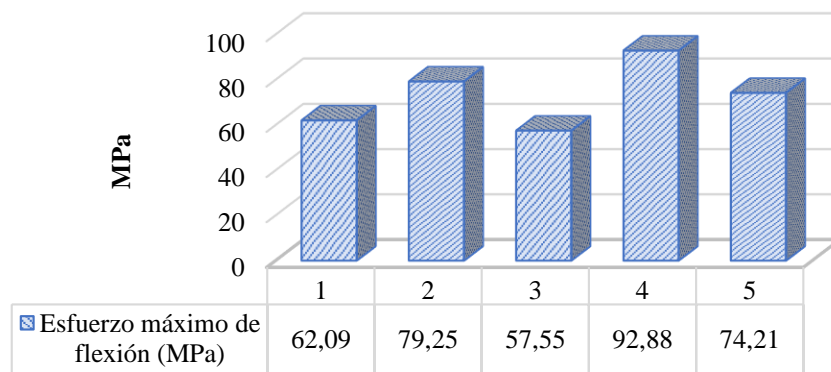
Datos Técnicos					
<b>Fecha:</b>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<b>Revisado por :</b>	Ing. Juan Paredes		
Parámetros de Ensayo					
<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D 7264		
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión		
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (10%-0%-20%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
7.1	123,00	62,09	2554,3	4,96	OAT
7.2	157,00	79,25	2828,4	5,72	OAB
7.3	114,00	57,55	3196,2	3,68	OAT
7.4	184,00	92,88	3407,1	5,57	OAT
7.5	147,00	74,21	3203,1	4,73	OAB
Promedio	145,00	73,20	3037,82	4,93	-
Desv. Est	27,90	14,08	341,48	0,81	-
Fotografías del Ensayo					

Continua en la siguiente página...



**Gráfica**



**ESFUERZO MÁXIMO DE FLEXIÓN**



**Evaluación y Observaciones**

Esfuerzo Máximo Promedio:	73,20 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	3037,82 MPa
Espesor real:	4 mm



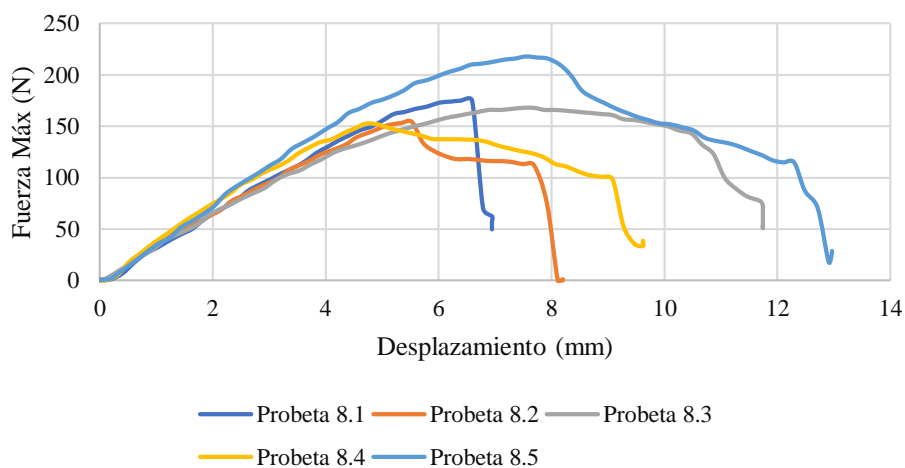
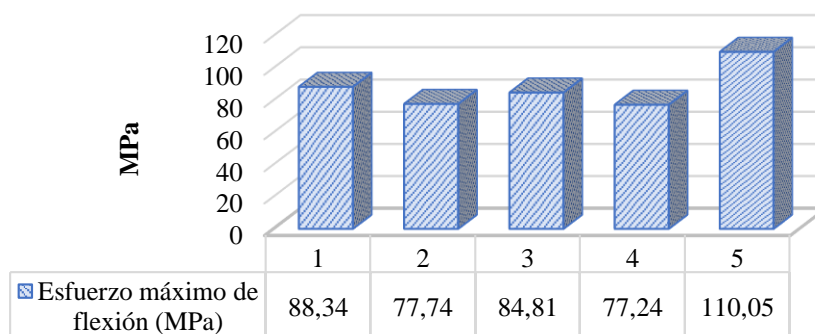
 <b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
<b>Datos Técnicos</b>					
<b>Fecha:</b>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<b>Revisado por :</b>	Ing. Juan Paredes		
<b>Parámetros de Ensayo</b>					
<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D 7264		
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión		
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (0%-30%-0%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
<b>Resultado</b>					
<b>Probeta</b>	<b>Carga máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de la ruptura (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>	<b>Tipo de Falla</b>
8.1	175,00	88,34	2736,5	6,59	OAB
8.2	154,00	77,74	2870,2	5,53	OAT
8.3	168,00	84,81	2252,5	7,69	OAT
8.4	153,00	77,24	3353,7	4,70	OAT
8.5	218,00	110,05	2977,5	7,55	OAT
Promedio	173,60	87,63	2838,06	6,41	-
Desv. Est	26,52	13,39	399,85	1,29	-
<b>Fotografías del Ensayo</b>					

Continua en la siguiente página...





Gráfica

### ESFUERZO MÁXIMO DE FLEXIÓN



### Evaluación y Observaciones

Esfuerzo Máximo Promedio:	87,63 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	2838,06 MPa
Espesor real:	4 mm

 <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>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<b>Revisado por :</b>	Ing. Juan Paredes		
Parámetros de Ensayo					
<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D 7264		
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión		
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (10%-20%-0%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
9.1	171,00	86,32	2383,9	7,39	OAT
9.2	168,00	84,81	1807,4	9,58	OAT
9.3	183,00	92,38	2114,7	8,92	OAB
9.4	149,00	75,22	1796,3	8,55	OAT
9.5	185,00	93,39	2183,8	8,73	OAT
Promedio	171,20	86,42	2057,22	8,63	-
Desv. Est	14,43	7,28	253,24	0,80	-
Fotografías del Ensayo					

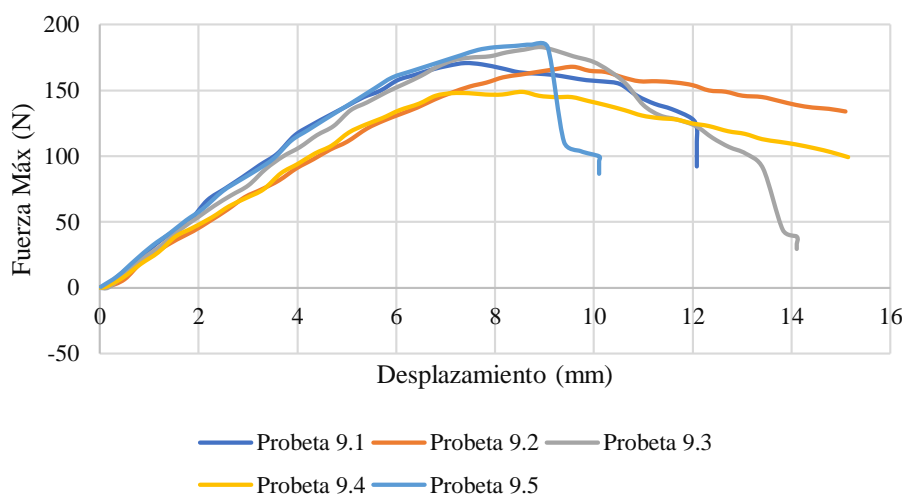
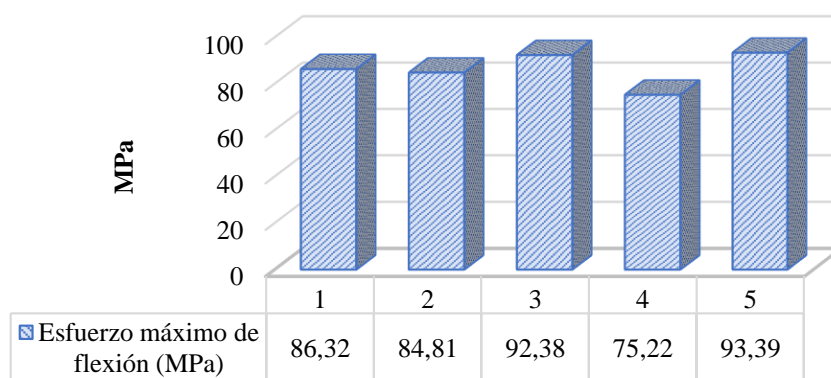
Continua en la siguiente página...





**Gráfica**

**ESFUERZO MÁXIMO DE FLEXIÓN**



**Evaluación y Observaciones**

Esfuerzo Máximo Promedio:	86,42 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	2057,22 MPa
Espesor real:	4 mm



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



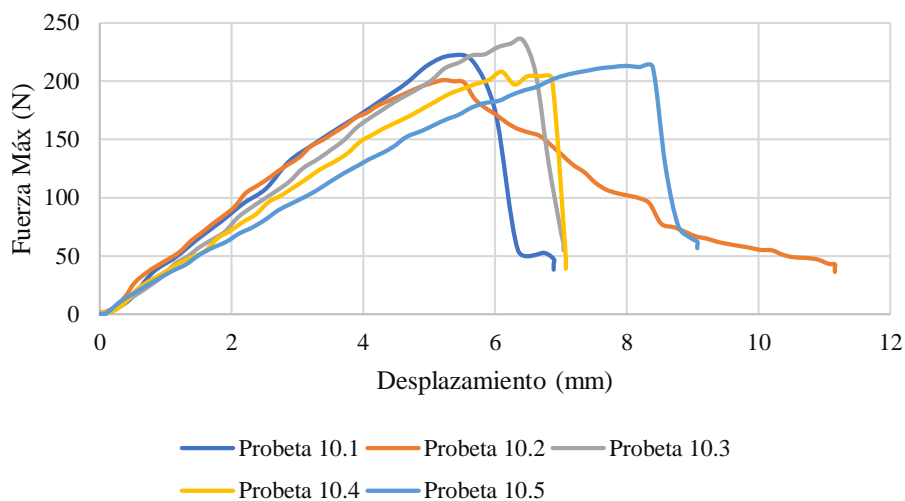
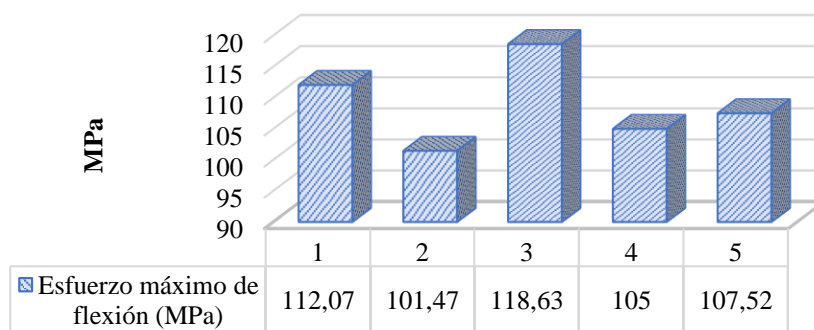
Datos Técnicos					
<b>Fecha:</b>	14/01/2020	<b>Ciudad:</b>	Quito		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Universal INSTROM 8801				
<b>Realizado por:</b>	David Torres	<b>Revisado por :</b>	Ing. Juan Paredes		
Parámetros de Ensayo					
<b>Tipo de Ensayo:</b>	Flexión	<b>Norma:</b>	ASTM-D 7264		
<b>Configuración:</b>	Fibras cortas	<b>Estratificación</b>	Compresión		
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo:</b>	FV+FA+FC (20%-10%-0%)	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Dimensiones:</b>	250 x 25 x 4	<b>Orientación:</b>	Aleatorio		
<b>Espesor Promedio:</b>	4 mm	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Curado:</b>	Ambiente	<b>Velocidad del ensayo</b>	10mm/min		
Resultado					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
10.1	222,00	112,07	4298,4	5,32	OAB
10.2	201,00	101,47	3974,7	5,21	OAB
10.3	235,00	118,63	3770,3	6,42	OAT
10.4	208,00	105,00	3515,5	6,10	OAT
10.5	213,00	107,52	2753,1	7,97	OAT
Promedio	215,80	108,94	3662,38	6,21	-
Desv. Est	13,18	6,65	583,56	1,11	-
Fotografías del Ensayo					

Continua en la siguiente página...



Gráfica



### ESFUERZO MÁXIMO DE FLEXIÓN


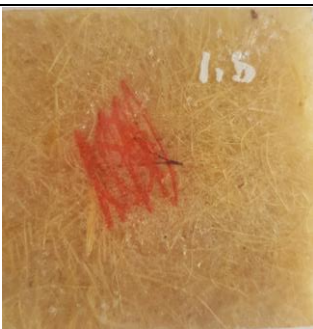






### Evaluación y Observaciones









Esfuerzo Máximo Promedio:	108,94 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	3662,38 MPa
Espesor real:	4 mm






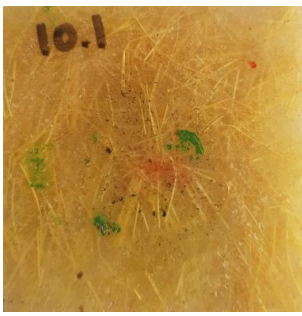
### 3.1.3. Resultados de los ensayos de Impacto

		<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 Epoxi	<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						
Probe ta	Refuerzo	Altura (mm)	Peso del Dardo	Coeficiente	Resistencia al Impacto	Tipo de Falla
1.5	FV+FA+FC (20%-0%-10%)	560	0,232	9,80665E-03	1,274	A
2.5	FV+FA+FC (0%-0%-30%)	325	0,232	9,80665E-03	0,739	A
3.5	FV+FA+FC (10%-10%-10%)	380	0,232	9,80665E-03	0,865	A
4.4	FV+FA+FC (10%-0%-20%)	550	0,232	9,80665E-03	1,251	A
5.3	FV+FA+FC (0%-20%-10%)	300	0,232	9,80665E-03	0,683	A
6.1	FV+FA+FC (30%-0%-0%)	300	0,232	9,80665E-03	0,683	A
7.5	FV+FA+FC (0%-10%-20%)	320	0,232	9,80665E-03	0,728	A
8.4	FV+FA+FC (0%-30%-0%)	300	0,232	9,80665E-03	0,683	A
9.5	FV+FA+FC (10%-20%-0%)	340	0,232	9,80665E-03	0,774	A
10.1	FV+FA+FC (20%-10%-0%)	450	0,232	9,80665E-03	1,024	A
Fotografías del Ensayo						

Ejemplar	1.5	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
<b>Falla tipo A:</b> Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)					
					
Ejemplar	2.5	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
<b>Falla tipo A:</b> Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)					
					
Ejemplar	3.5	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
<b>Falla tipo A:</b> Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)					
					
Ejemplar	4.4	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
<b>Falla tipo A:</b> Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)					

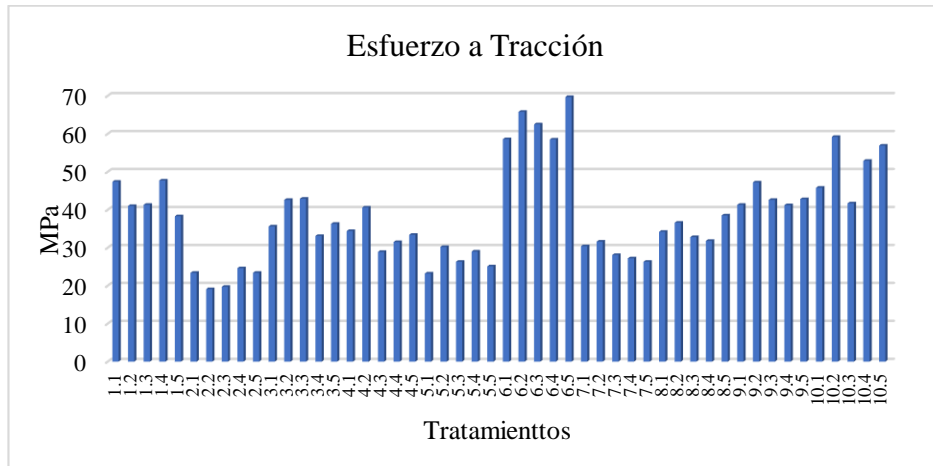


					
Ejemplar	5.3	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
<b>Falla tipo A:</b> Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)					
					
Ejemplar	6.1	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
<b>Falla tipo A:</b> Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)					
					
Ejemplar	7.5	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
<b>Falla tipo A:</b> Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)					
					

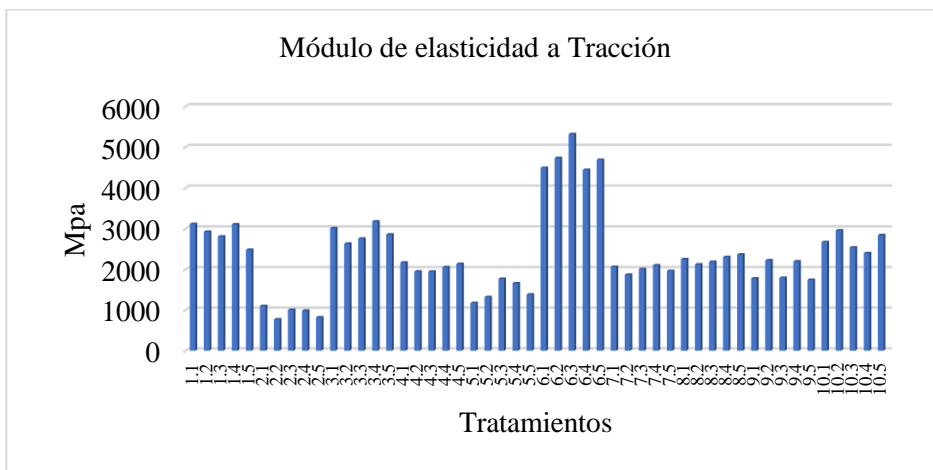
Ejemplar	8.4	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
<b>Falla tipo A:</b> Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)					
					
Ejemplar	9.5	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
<b>Falla tipo A:</b> Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)					
					
Ejemplar	10.1	Peso del Dardo (Kg)	0,232	Peso Total (Kg)	0,232
<b>Falla tipo A:</b> Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)					
					

### 3.1.4 Resumen de los tratamientos a Tracción, Flexión e Impacto

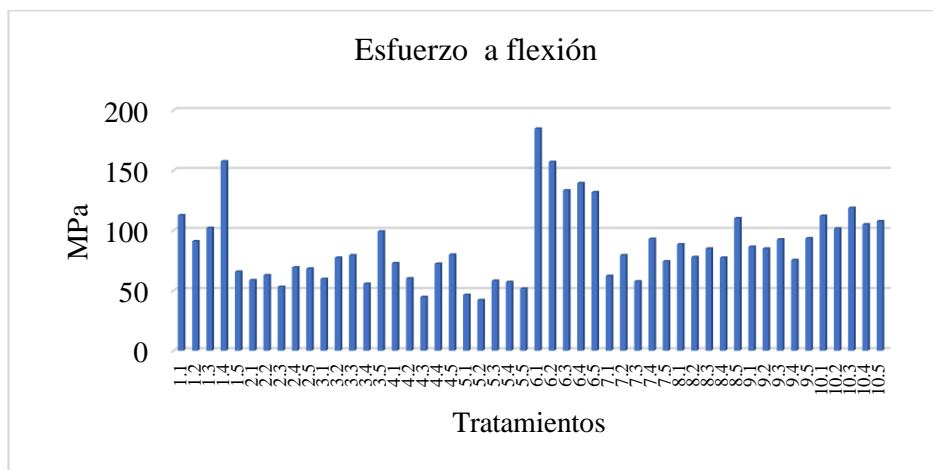
A partir de la figura 3.1 hasta la figura 3.6 se muestran los resultados individuales por variable de cada tratamiento, los mismos que se identifican que no poseen características semejantes a pesar de ser observado la misma variable y esto se debe a que cada tratamiento posee diferente configuración volumétrica de fibras.



**Figura 3. 1** Tratamientos de esfuerzo a tracción

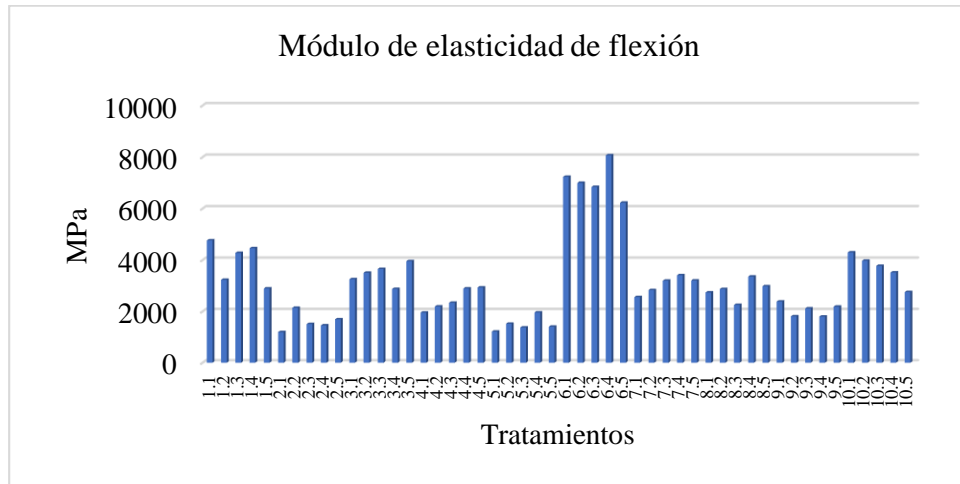


**Figura 3. 2** Tratamientos de esfuerzo a tracción

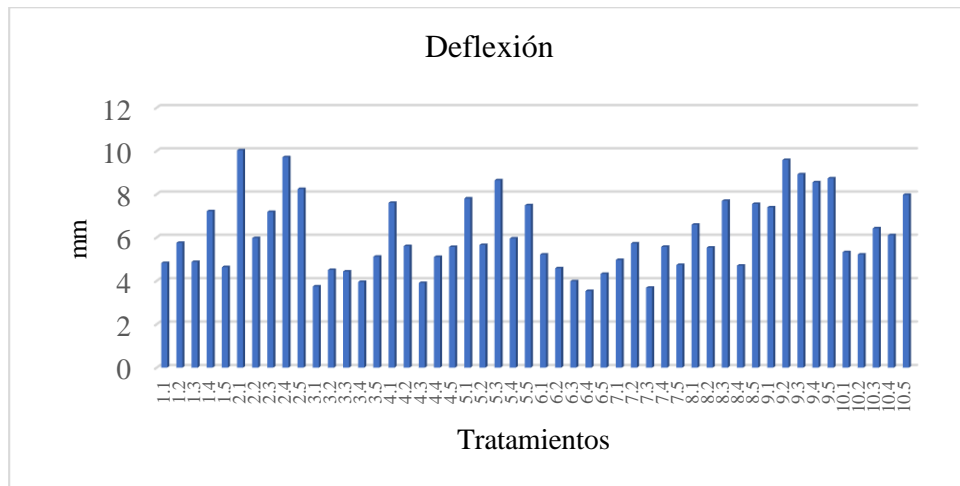


**Figura 3. 3** Tratamientos de esfuerzo a flexión

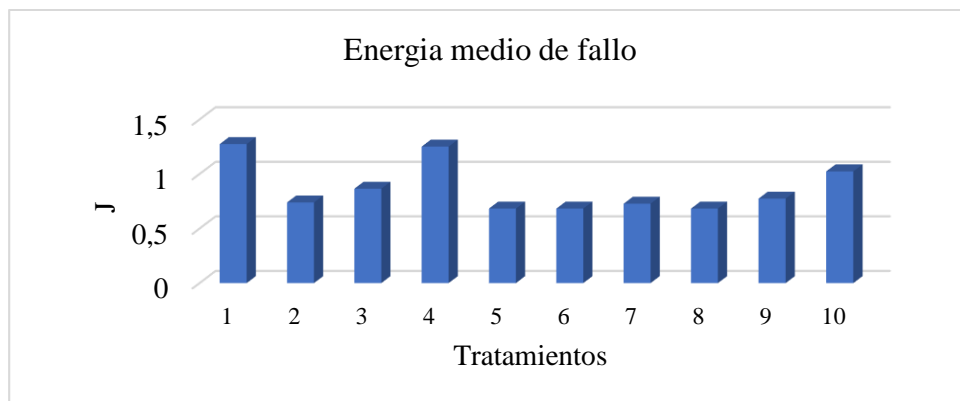




**Figura 3. 4** Tratamientos de módulo de elasticidad a flexión



**Figura 3. 5** Tratamientos de deflexión



**Figura 3. 6** Tratamientos de energía media de fallo

### 3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

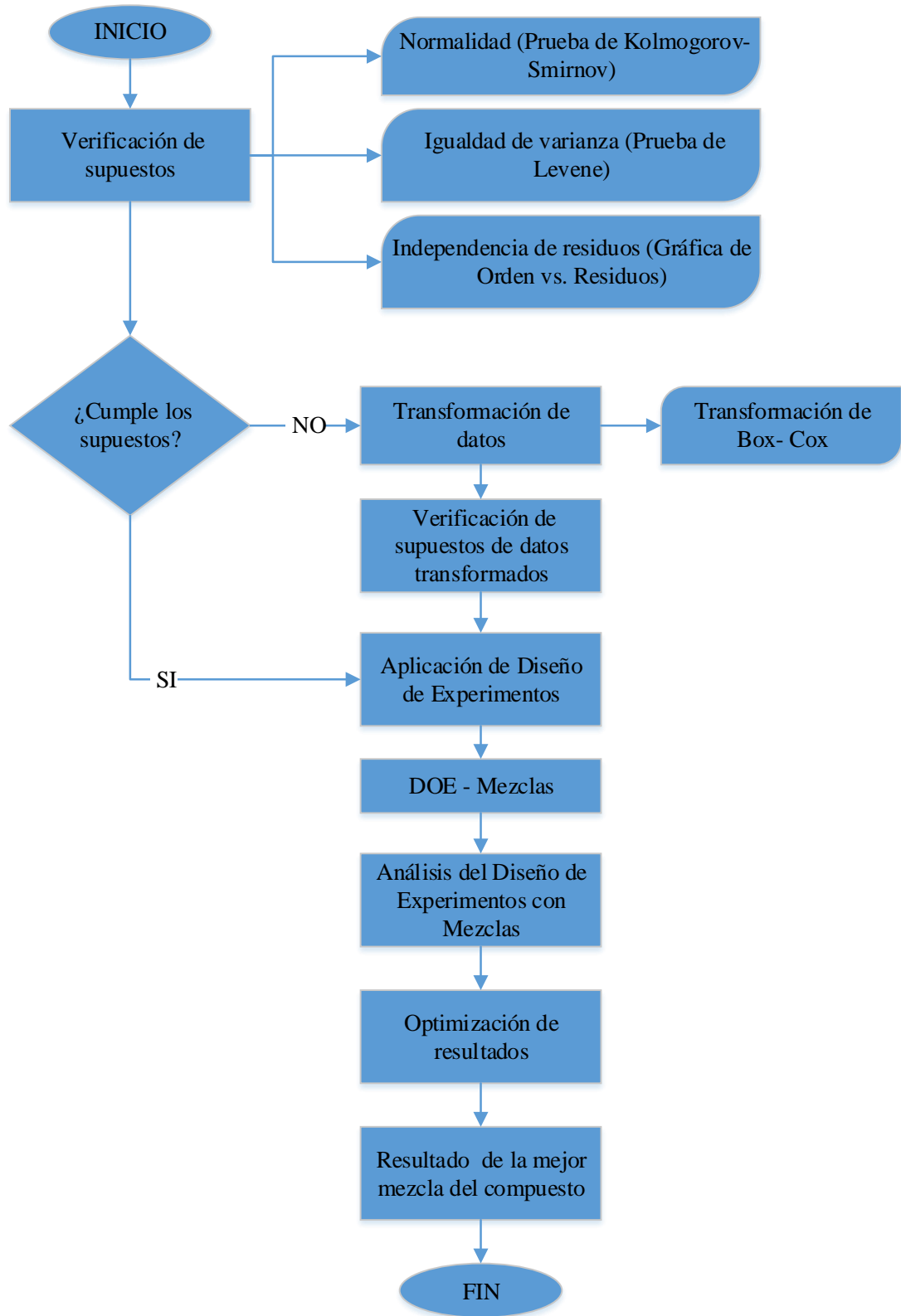


Figura 3. 7 Diagrama de flujo del procedimiento del análisis de datos

### 3.2.1 Verificación de supuestos de los datos de esfuerzo a tracción

Basado en las pruebas paramétricas que engloban a las variables numéricas continuas se debe establecer que todos los valores cumplan con supuestos estadísticos establecidos mencionados en el capítulo 1.4.6.

Normalidad

Se trabaja con la prueba de Kolmogorov – Smirnov donde se comprueba el supuesto de normalidad, basado en la significancia calculada y el estadístico de prueba demuestra que los datos patrones cumplen con la normalidad, debido a que para aceptar la hipótesis nula el  $p$  -valor debe ser igual o mayor a 5% de la significancia encontrada en el análisis, de no ser así se realizaría una transformación de datos para un análisis posterior.

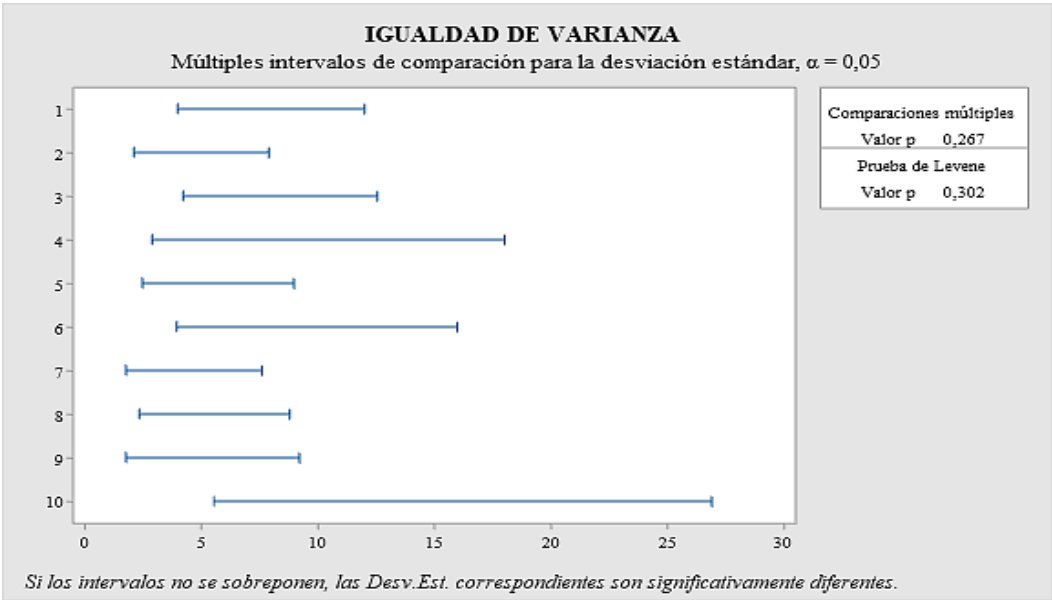
**Tabla 3. 1** Verificación de normalidad del esfuerzo de tracción

<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Tiene distribución normal el esfuerzo de Tracción	
		$H_a$ : No tiene distribución normal el esfuerzo de Tracción	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 5\%$	<b>Número de Datos</b>	N = 50
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Kolmogorov – Smirnov	=0.119	<b>p - valor = 0,076</b>
<b>Decisión:</b>	Se acepta la $H_0$		
<b>Conclusión:</b>	Trabajando sobre el valor de significancia del 0,05 el esfuerzo de tracción presenta normalidad.		
<b>Observación:</b>	No se realizará transformación de datos.		

Varianza

Para comprobar el siguiente supuesto de los datos del esfuerzo a tracción se trabaja con la prueba de Levene donde el factor a identificar es el  $p$  – valor, el mismo que es utilizado para verificar la significancia.

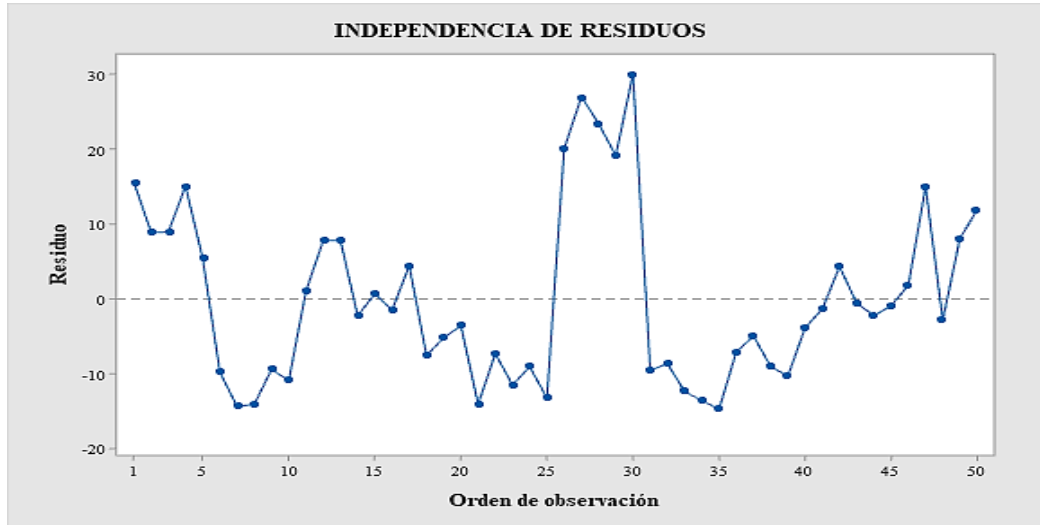
**Tabla 3. 2 Verificación de igualdad de varianza del esfuerzo de tracción**

<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Tiene igualdad de varianza los esfuerzo de Tracción	
		$H_a$ : No tiene igualdad de varianza los esfuerzo de Tracción	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha=$ 5%	<b>Número de Datos</b>	<b>N = 50</b>
			
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Levene	=1,23	<b><math>p</math> - valor = 0,302</b>
<b>Decisión:</b>	Se acepta la $H_0$		
<b>Conclusión:</b>	Trabajando sobre el valor de significancia del 0,05 el esfuerzo de tracción presenta una igualdad de varianza.		
<b>Observación:</b>	No se realizara transformación de datos ya que la igualdad de varianza si cumple		

Una vez establecido la igualdad de varianza se acepta la hipótesis alternativa debido a que el valor  $p$  de la prueba de Levene de 0,302 es mayor que la significancia del valor  $p$  de 0,05 establecido.

### Independencia de residuos

Como muestra la figura 3.8 no predomina una disposición definida por lo que se determina que existe independencia de residuos en los datos de esfuerzo de tracción.



**Figura 3. 8** Orden de observación vs Residuos del esfuerzo de tracción  
Fuente: [24].

### 3.2.2 Verificación de supuestos de los datos Módulo de Elasticidad a tracción.

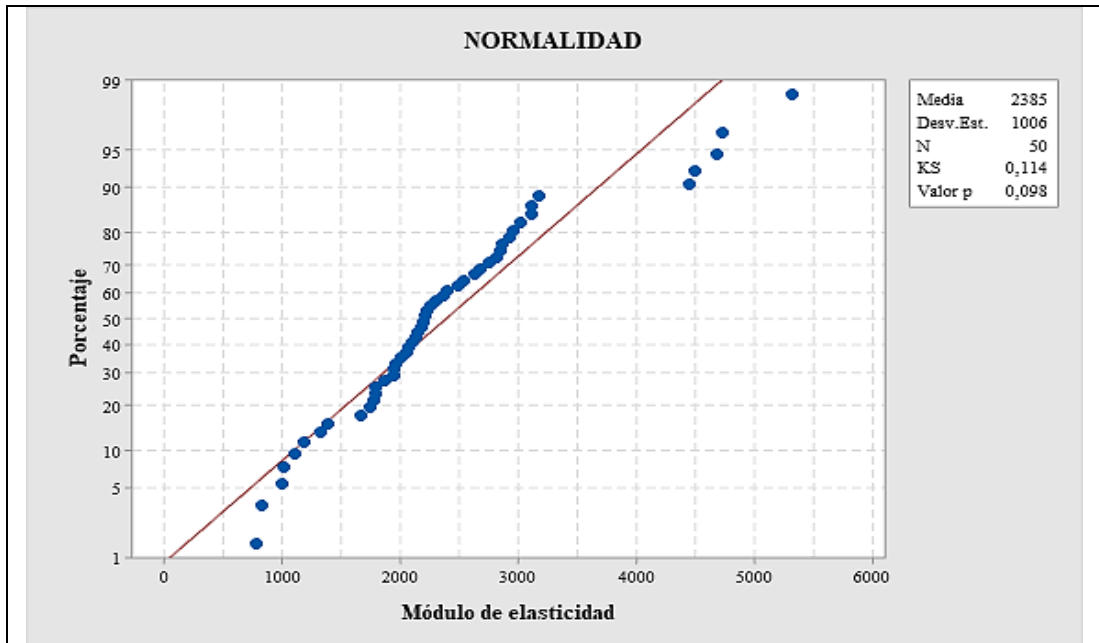
Basado en las pruebas paramétricas que engloban a las variables numéricas continuas se debe establecer que todos los valores cumplan con supuestos estadísticos establecidos mencionados en el capítulo 1.4.6.

#### Normalidad

Se trabaja con la prueba de Kolmogorov – Smirnov donde se comprueba el supuesto de normalidad, basado en la significancia calculada y el estadístico de prueba demuestra que los datos patrones cumplen con la normalidad, debido a que, para aceptar la hipótesis nula el  $p$  - valor *debe* ser igual o mayor a 5% de la significancia encontrada en el análisis, de no ser así se realiza una transformación de datos para un análisis posterior.

**Tabla 3. 3** Verificación de normalidad del Módulo de elasticidad a tracción

<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Tiene distribución normal el módulo de elasticidad a tracción	
		$H_a$ : No tiene distribución normal el módulo de elasticidad a tracción	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha=$ 5%	<b>Número de Datos</b>	<b>N = 50</b>



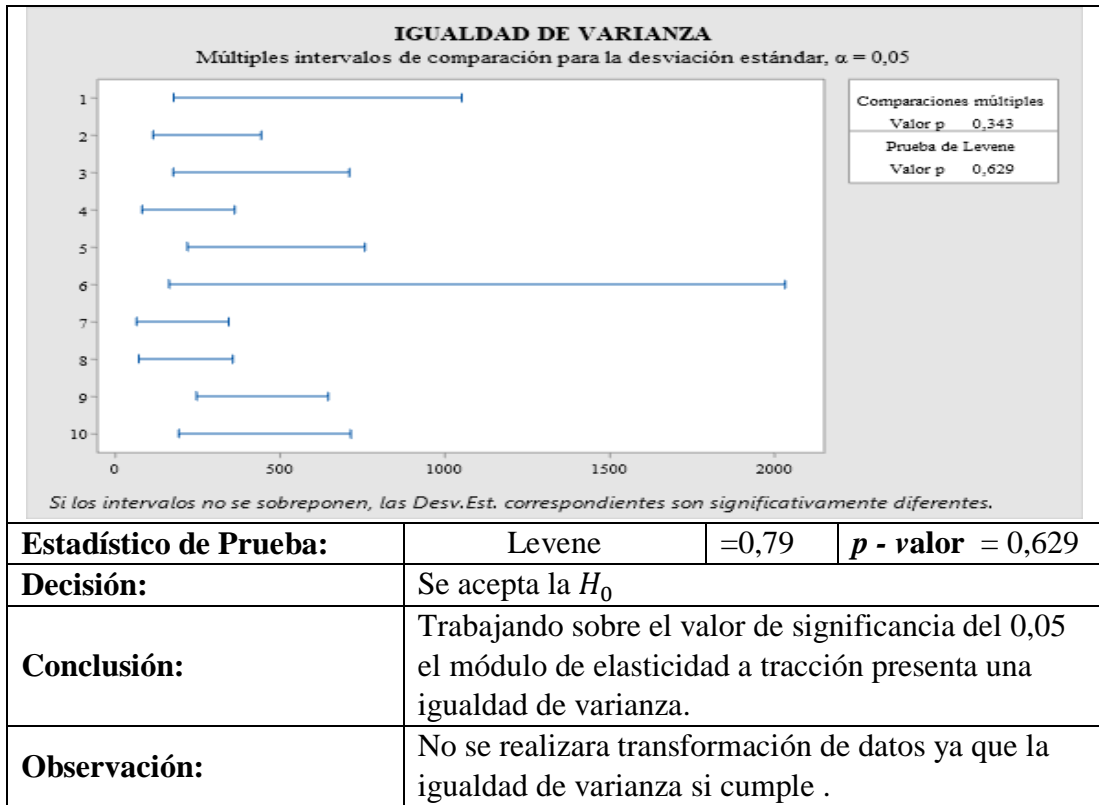
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Kolmogorov – Smirnov	=0.114	<b>p - valor</b> = 0,098
<b>Decisión:</b>	Se acepta la $H_0$		
<b>Conclusión:</b>	Trabajando sobre el valor de significancia del 0,05 el módulo de elasticidad a tracción presenta normalidad.		
<b>Observación:</b>	No se realizará transformación de datos.		

### Varianza

Para comprobar el siguiente supuesto de los datos de módulo de elasticidad a tracción se trabaja con la prueba de Levene donde el factor a identificar es el  $p$  – valor, el mismo que es utilizado para verificar la significancia.

**Tabla 3. 4** Verificación de igualdad de varianza del módulo de elasticidad a tracción

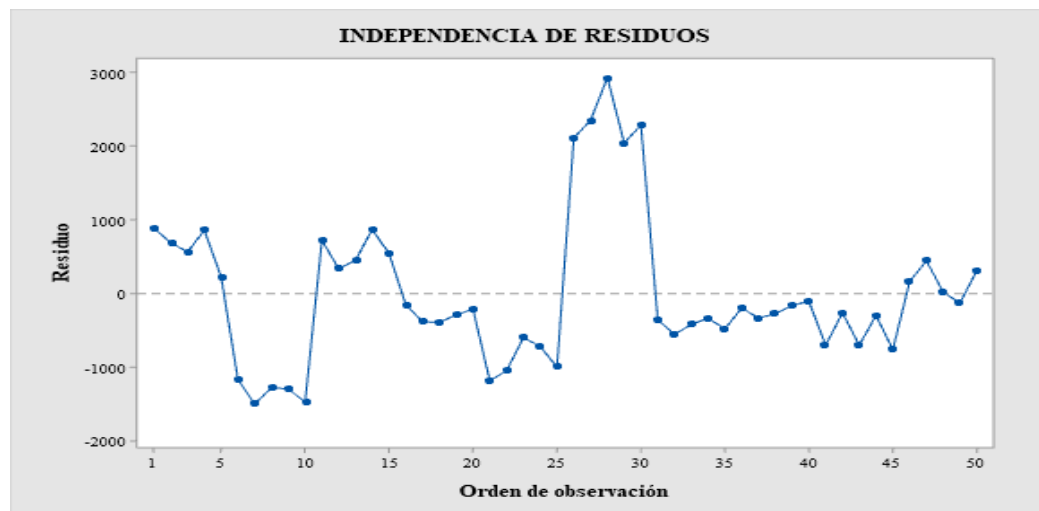
<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Tiene igualdad de varianza el módulo de elasticidad Tracción	
		$H_a$ : No tiene igualdad de varianza el módulo de elasticidad Tracción	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha=$ 5%	<b>Número de Datos</b>	<b>N = 50</b>



Una vez establecido la igualdad de varianza se acepta la hipótesis nula debido a que el valor p de la prueba de Levene de 0,629 es mayor que la significancia del  $p$  - valor de 0,05 establecido.

Independencia de residuos

Como muestra la figura 3.9 no predomina una disposición definida por lo que se determina que existe independencia de residuos en los datos de módulo de elasticidad a tracción.



**Figura 3. 9** Orden de observación vs Residuos del módulo de elasticidad a tracción

**Fuente:** [24]

### 3.2.3 Verificación de supuestos de los datos de Esfuerzo a Flexión.

Basado en las pruebas paramétricas que engloban a las variables numéricas continuas se debe establecer que todos los valores cumplan con supuestos estadísticos establecidos mencionados en el capítulo 1.4.6.

Normalidad

Se trabaja con la prueba de Kolmogorov – Smirnov donde se comprueba el supuesto de normalidad, basado en la significancia calculada y el estadístico de prueba demuestra que los datos patrones cumplen con la normalidad, debido a que, para aceptar la hipótesis nula el  $p$  - valor *debe* ser igual o mayor a 5% de la significancia encontrada en el análisis, de no ser así se realiza una transformación de datos para un análisis posterior.

**Tabla 3. 5 Verificación de normalidad del esfuerzo a flexión**

<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Tiene distribución normal el esfuerzo a flexión	
		$H_a$ : No tiene distribución normal el esfuerzo a flexión	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 5\%$	<b>Número de Datos</b>	<b>N = 50</b>
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Kolmogorov – Smirnov	=0.125	<b>p - valor = 0,050</b>
<b>Decisión:</b>	Se acepta la $H_0$		
<b>Conclusión:</b>	Trabajando sobre el valor de significancia del 0,05 el esfuerzo a flexión presenta normalidad.		
<b>Observación:</b>	No se realizará transformación de datos.		

Varianza

Para comprobar el siguiente supuesto de los datos de módulo de elasticidad a tracción se trabaja con la prueba de Levene donde el factor a identificar es el  $p$  – valor, el mismo que es utilizado para verificar la significancia.



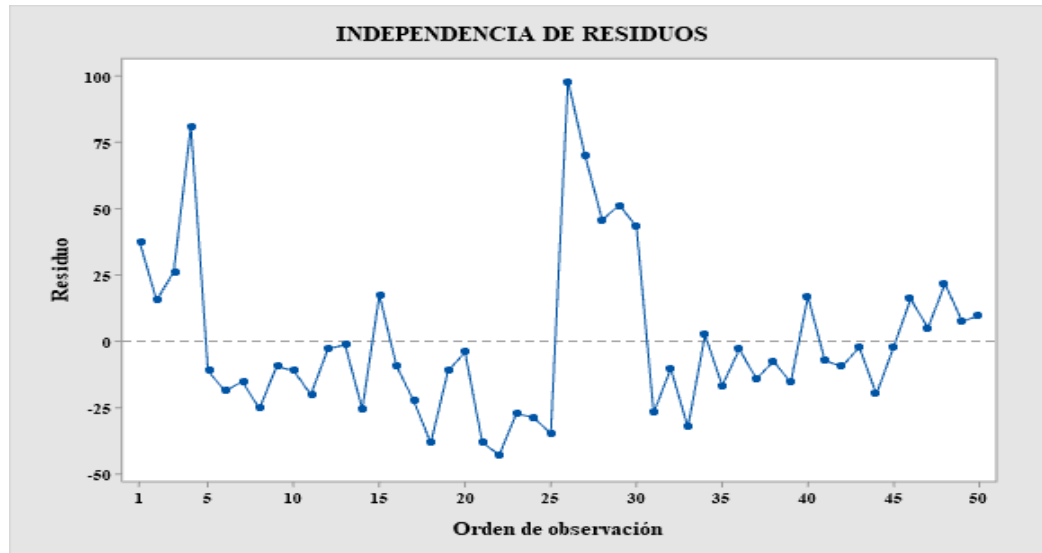
**Tabla 3. 6 Verificación de igualdad de varianza el esfuerzo de flexión**

<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Tiene igualdad de varianza los esfuerzo de flexión	
		$H_a$ : No tiene igualdad de varianza los esfuerzo de flexión	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha=$ 5%	<b>Número de Datos</b>	<b>N = 50</b>
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Levene	=1,26	<b>p - valor</b> = 0,289
<b>Decisión:</b>	Se acepta la $H_0$		
<b>Conclusión:</b>	Trabajando sobre el valor de significancia del 0,05 el esfuerzo a flexión presenta una igualdad de varianza.		
<b>Observación:</b>	No se realizara transformación de datos ya que la igualdad de varianza si cumple .		

Una vez establecido la igualdad de varianza se acepta la hipótesis nula debido a que el valor p de la prueba de Levene de 0,289 es mayor que la significancia del  $p$  - valor de 0,05 establecido.

Independencia de residuos

Como muestra la figura 3.10 no predomina una disposición definida por lo que se determina que existe independencia de residuos en los datos de esfuerzo de flexión.



**Figura 3. 10** Orden de observación vs Residuos del esfuerzo a flexión  
Fuente: [24]

### 3.2.4 Verificación de supuestos de los datos de Módulo de elasticidad a Flexión.

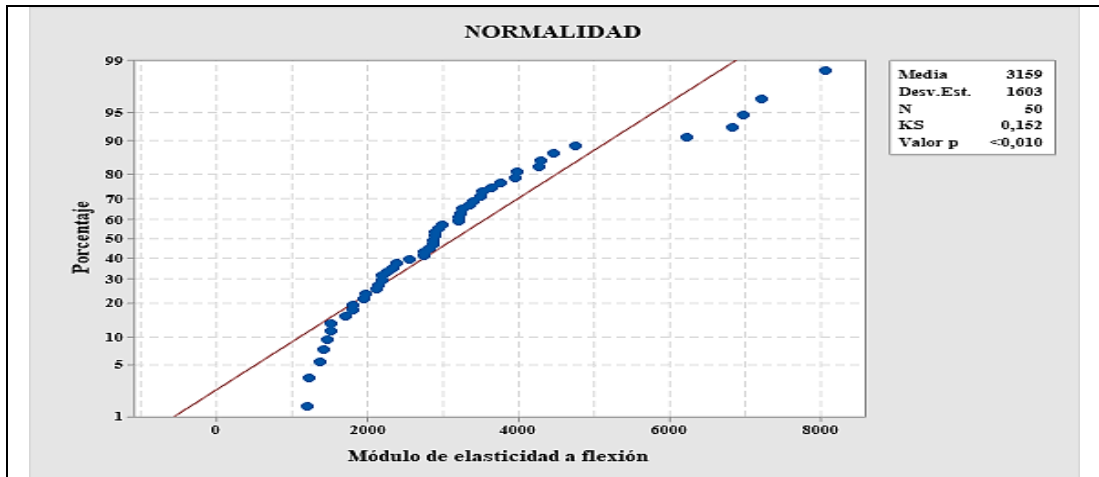
Basado en las pruebas paramétricas que engloban a las variables numéricas continuas se debe establecer que todos los valores cumplan con supuestos estadísticos establecidos mencionados en el capítulo 1.4.6.

Normalidad

Se trabaja con la prueba de Kolmogorov – Smirnov donde se comprueba el supuesto de normalidad, basado en la significancia calculada y el estadístico de prueba demuestra que los datos patrones cumplen con la normalidad, debido a que, para aceptar la hipótesis nula el  $p$  - valor *debe* ser igual o mayor a 5% de la significancia encontrada en el análisis, de no ser así se realiza una transformación de datos para un análisis posterior.

**Tabla 3. 7** Verificación de normalidad del Módulo de elasticidad a flexión

<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Tiene distribución normal el módulo de elasticidad a flexión	
		$H_a$ : No tiene distribución normal el módulo de elasticidad a flexión	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha=$ 5%	<b>Número de Datos</b>	<b>N = 50</b>



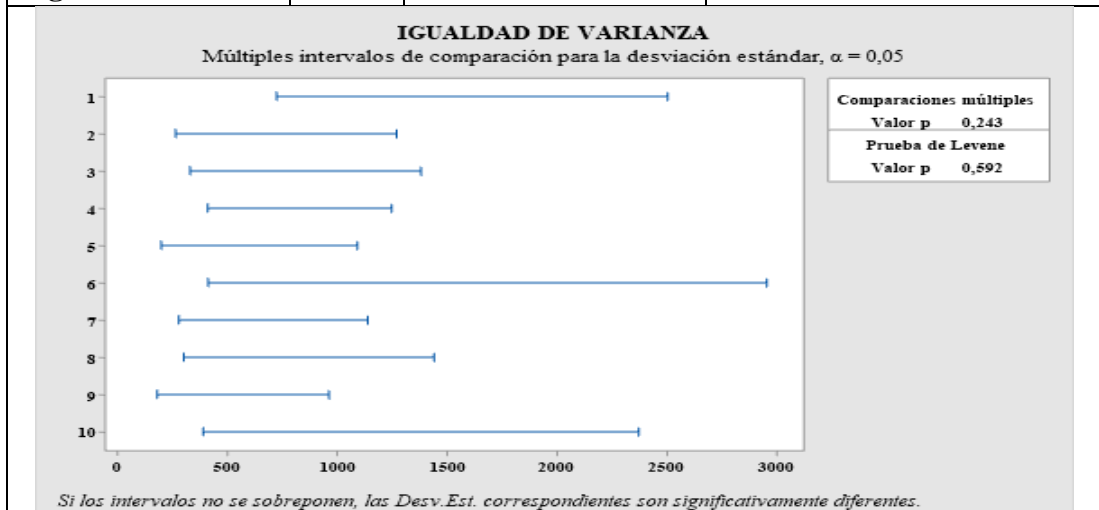
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Kolmogorov – Smirnov	=0.152	<b>p - valor</b> = 0,010
<b>Decisión:</b>	Se rechaza la $H_0$		
<b>Conclusión:</b>	Trabajando sobre el valor de significancia del 0,05 el módulo de elasticidad a flexión NO presenta normalidad.		
<b>Observación:</b>	Se realizará transformación de datos.		

**Varianza**

Para comprobar el siguiente supuesto de los datos de módulo de elasticidad a tracción se trabaja con la prueba de Levene donde el factor a identificar es el  $p$  – valor, el mismo que es utilizado para verificar la significancia.

**Tabla 3. 8 Verificación de igualdad de varianza el esfuerzo de flexión**

<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Tiene igualdad de varianza el módulo de elasticidad a flexión	
		$H_a$ : No tiene igualdad de varianza el módulo de elasticidad a flexión	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 5\%$	<b>Número de Datos</b>	<b>N = 50</b>



<b>Estadístico de Prueba:</b>	Levene	=0,83	<b>p - valor</b> = 0,592
<b>Decisión:</b>	Se acepta la $H_0$		
<b>Conclusión:</b>	Trabajando sobre el valor de significancia del 0,05 el módulo de elasticidad a flexión presenta una igualdad de varianza.		
<b>Observación:</b>	Se realizara transformación de datos ya que la igualdad de varianza si cumple pero la normalidad no.		

Una vez establecido la igualdad de varianza se aceptaría la hipótesis nula debido a que el valor p de la prueba de Levene de 0,592 es mayor que la significancia del  $p$  - valor de 0,05 establecido, pero como se debe realizar transformación de datos para la normalidad hay que corroborar dicha información.

Independencia de residuos

Como muestra la figura 3.11 no predomina una disposición definida por lo que se determina que existe independencia de residuos en los datos del módulo de elasticidad a flexión, pero por la transformación de datos hay que corroborar dicha información.

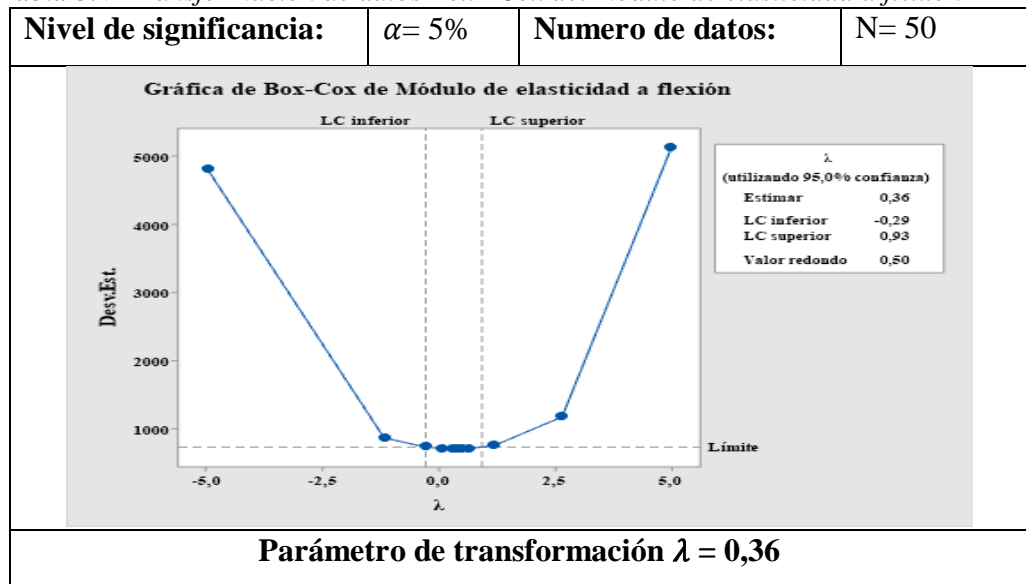


*Figura 3. 11 Orden de observación vs Residuos del módulo de elasticidad a flexión*  
**Fuente:** [24]

### 3.2.4.1 Transformación de datos

Basado en la prueba de normalidad anterior en el punto 3.2.4 se identificó que necesita una transformación de datos para que cumpla con dicho supuesto.

**Tabla 3. 9** Transformación de datos Box –Cox del módulo de elasticidad a flexión



**Tabla 3. 10** Transformación de datos Box –Cox

#	Módulo de elasticidad a flexión	#	Módulo de elasticidad a flexión	#	Módulo de elasticidad a flexión	#	Módulo de elasticidad a flexión	#	Módulo de elasticidad a flexión
1	69,0319	11	57,0324	21	34,8238	31	50,5401	41	48,8252
2	56,8261	12	59,1895	22	38,9590	32	53,1827	42	42,5135
3	65,3896	13	60,4169	23	37,0446	33	56,5349	43	45,9859
4	66,7877	14	53,6078	24	44,2493	34	58,3704	44	42,3828
5	53,7708	15	62,9047	25	37,4713	35	56,5959	45	46,7311
6	34,5282	16	44,1848	26	85,0570	36	52,3116	46	65,5622
7	46,2526	17	46,7985	27	83,6570	37	53,5742	47	63,0452
8	38,8175	18	48,3394	28	82,7140	38	47,4605	48	61,4028
9	38,1300	19	53,7736	29	89,8321	39	57,9111	49	59,2917
10	41,1047	20	54,1433	30	78,9196	40	54,5665	50	52,4700

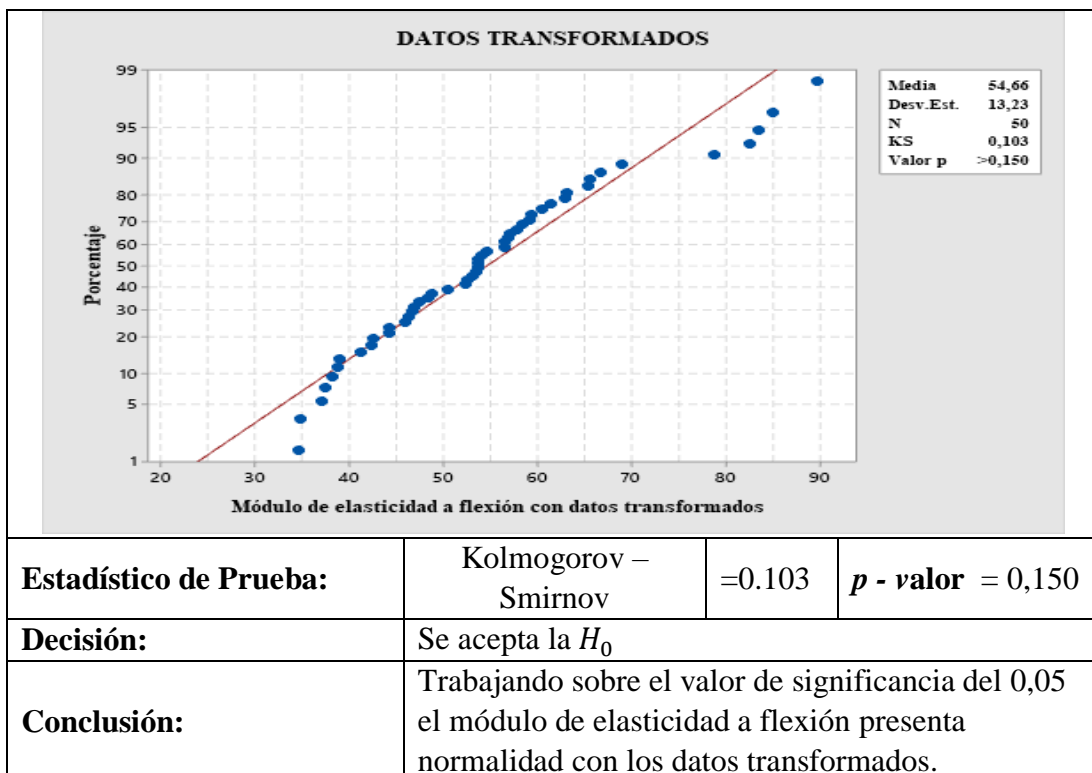
Fuente: [24]

### 3.2.5 Verificación de supuestos de los datos transformados

Se vuelve a aplicar la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov a los datos de Modulo de elasticidad transformados.

**Tabla 3. 11** Verificación de normalidad del Módulo de elasticidad a flexión con datos transformados

<b>Hipótesis</b>		H <sub>0</sub> : Tiene distribución normal el módulo de elasticidad a flexión	
		H <sub>a</sub> : No tiene distribución normal el módulo de elasticidad a flexión	
<b>Nivel de Significancia</b>	α= 5%	<b>Número de Datos</b>	N = 50

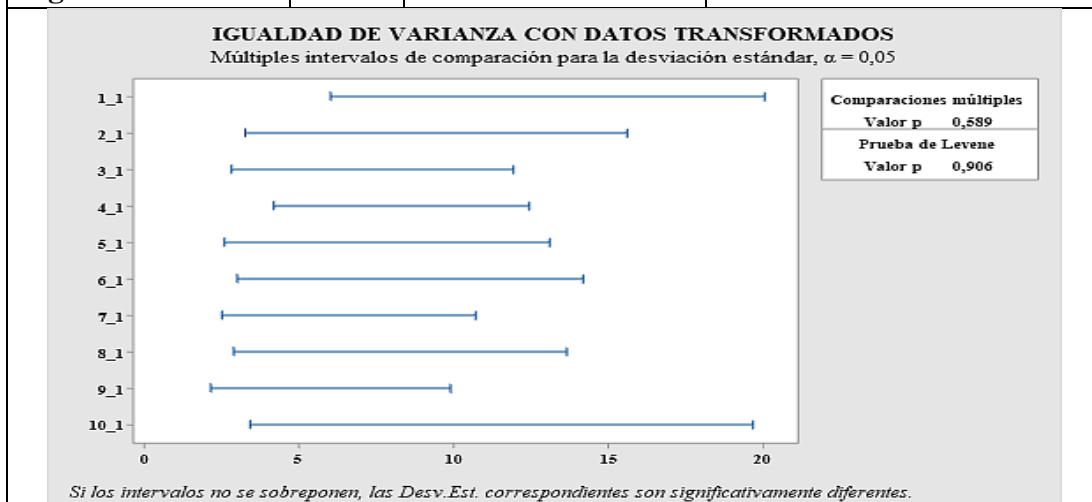


Varianza

Para comprobar el siguiente supuesto de los datos de módulo de elasticidad a tracción se trabaja con la prueba de Levene donde el factor a identificar es el  $p$  – valor, el mismo que es utilizado para verificar la significancia.

*Tabla 3. 12 Verificación de igualdad de varianza del módulo de elasticidad a flexión*

<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Tiene igualdad de varianza el módulo de elasticidad a flexión	
		$H_a$ : No tiene igualdad de varianza el módulo de elasticidad a flexión	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha =$ 5%	<b>Número de Datos</b>	<b>N = 50</b>



<b>Estadístico de Prueba:</b>	Levene	=0,44	<b>p - valor = 0,906</b>
<b>Decisión:</b>	Se acepta la $H_0$		
<b>Conclusión:</b>	Trabajando sobre el valor de significancia del 0,05 el módulo de elasticidad a flexión presenta una igualdad de varianza.		

Una vez establecido la igualdad de varianza se aceptaría la hipótesis nula debido a que el valor p de la prueba de Levene de 0,906 es mayor que la significancia del p - valor de 0,05 establecido, trabajado con los datos transformados.

Independencia de residuos

Como muestra la figura 3.12 no predomina una disposición definida por lo que se determina que existe independencia de residuos en los datos del módulo de elasticidad a flexión, basado en los datos transformados.



**Figura 3. 12** Orden de observación vs Residuos del módulo de elasticidad a flexión con datos transformados

**Fuente:** [24]

### 3.2.6 Verificación de supuestos de los datos de deflexión a Flexión.

Basado en las pruebas paramétricas que engloban a las variables numéricas continuas se debe establecer que todos los valores cumplan con supuestos estadísticos establecidos mencionados en el capítulo 1.4.6.

Normalidad

Se trabaja con la prueba de Kolmogorov – Smirnov donde se comprueba el supuesto de normalidad, basado en la significancia calculada y el estadístico de prueba

demuestra que los datos patrones cumplen con la normalidad, debido a que, para aceptar la hipótesis nula el  $p$  - valor *debe* ser igual o mayor a 5% de la significancia encontrada en el análisis, de no ser así se realiza una transformación de datos para un análisis posterior.

**Tabla 3. 13 Verificación de normalidad de la deflexión**

<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Tiene distribución normal la deflexión	
		$H_a$ : No tiene distribución normal la deflexión	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha=$ 5%	<b>Número de Datos</b>	<b>N = 50</b>
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Kolmogorov – Smirnov	=0.143	<b>p - valor</b> = 0,012
<b>Decisión:</b>	Se rechaza la $H_0$		
<b>Conclusión:</b>	Trabajando sobre el valor de significancia del 0,05 la deflexión NO presenta normalidad.		
<b>Observación:</b>	Se realizará transformación de datos.		

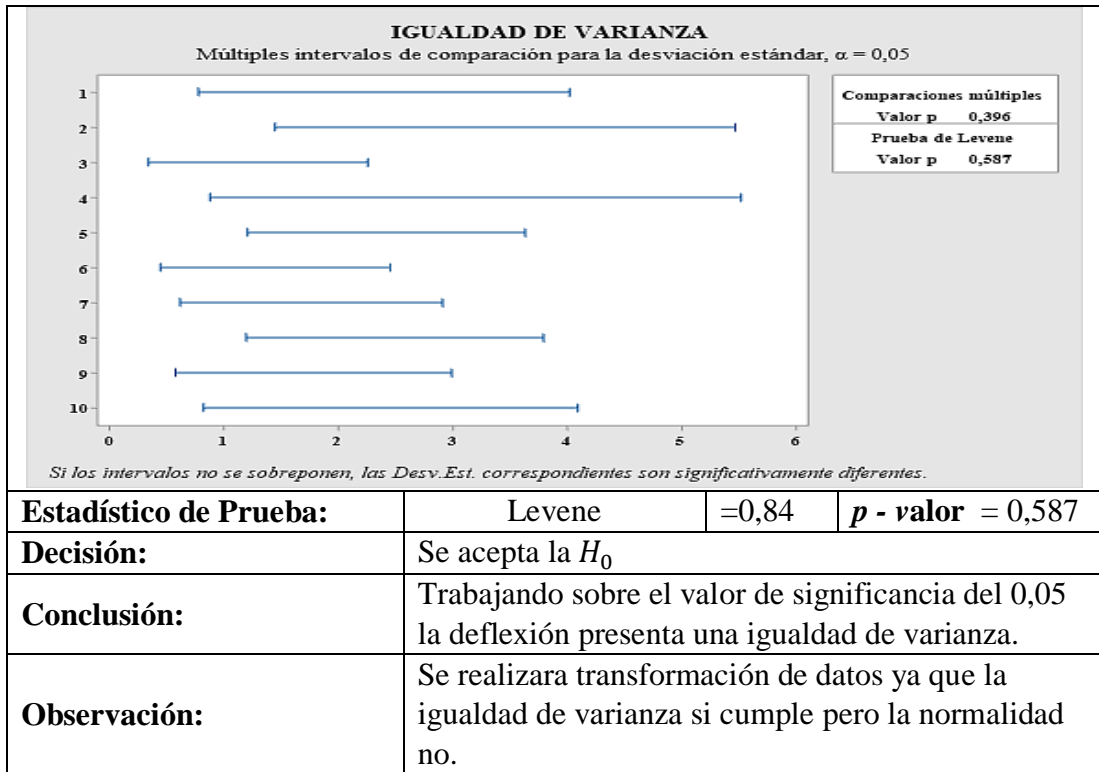
### Varianza

Para comprobar el siguiente supuesto de los datos de módulo de elasticidad a tracción se trabaja con la prueba de Levene donde el factor a identificar es el  $p$  – valor, el mismo que es utilizado para verificar la significancia.

**Tabla 3. 14 Verificación de igualdad de varianza de la deflexión**

<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Tiene igualdad de varianza la deflexión	
		$H_a$ : No tiene igualdad de varianza la deflexión	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha=$ 5%	<b>Número de Datos</b>	<b>N = 50</b>

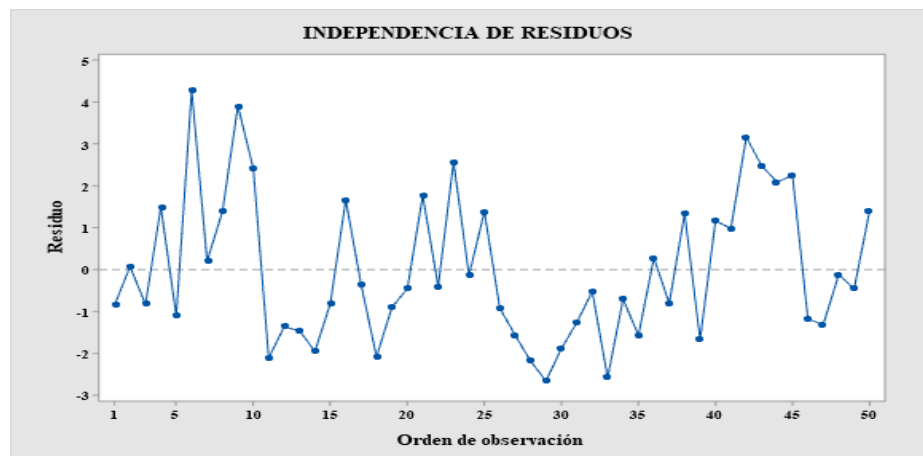




Una vez establecido la igualdad de varianza se aceptaría la hipótesis nula debido a que el valor p de la prueba de Levene de 0,587 es mayor que la significancia del  $p$  - valor de 0,05 establecido, pero como se debe realizar transformación de datos para la normalidad hay que corroborar dicha información.

Independencia de residuos

Como muestra la figura 3.13 no predomina una disposición definida por lo que se determina que existe independencia de residuos en los datos del módulo de elasticidad a flexión, pero por la transformación de datos hay que corroborar dicha información.



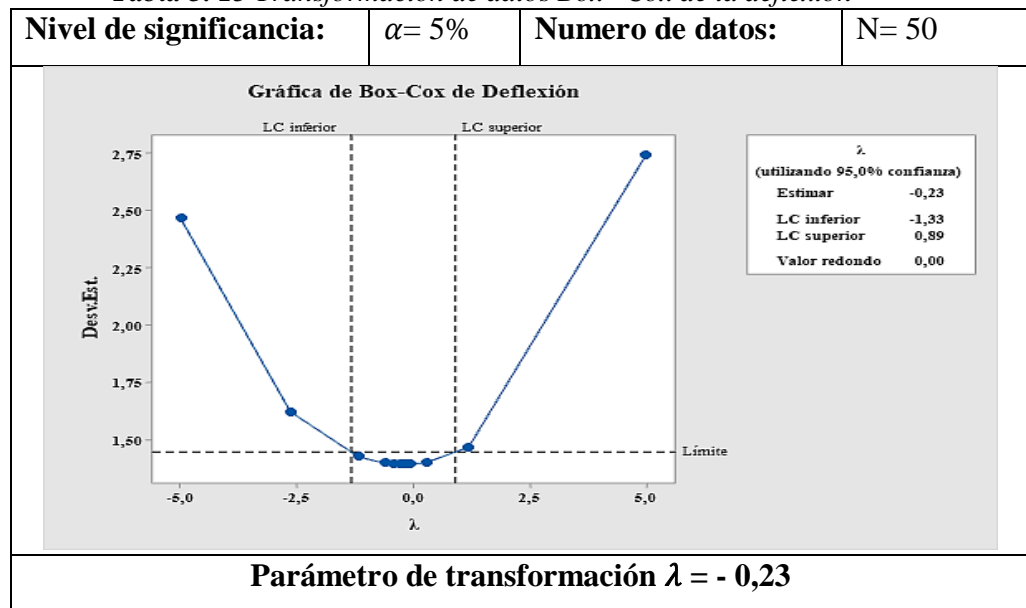
**Figura 3. 13** Orden de observación vs Residuos de la deflexión

**Fuente:** [24]

### 3.2.6.1 Transformación de datos

Basado en la prueba de normalidad anterior en el punto 3.2.5 se identificó que necesita una transformación de datos para que cumpla con dicho supuesto.

**Tabla 3. 15 Transformación de datos Box –Cox de la deflexión**



**Tabla 3. 16 Transformación de datos Box –Cox [24].**

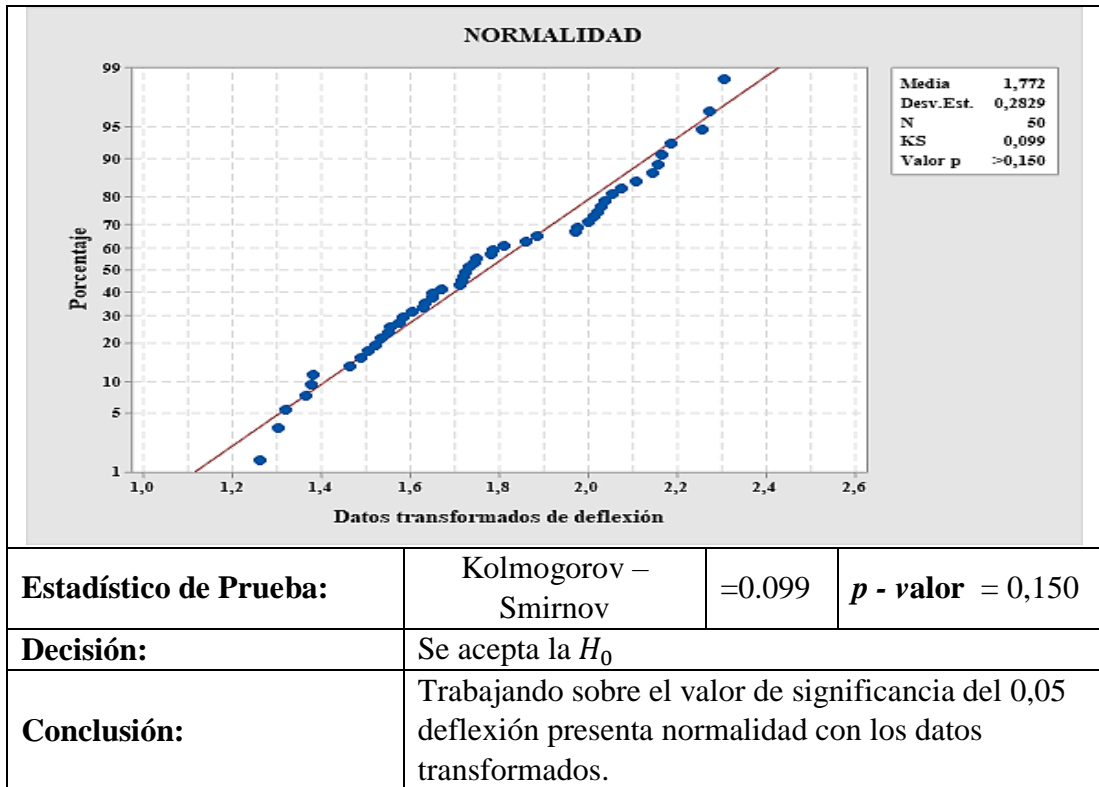
#	Deflexión	#	Deflexión	#	Deflexión	#	Deflexión	#	Deflexión
1	1,572773928	11	1,319085611	21	2,054123734	31	1,601405741	41	2,000127735
2	1,749199855	12	1,504077397	22	1,731655545	32	1,743968805	42	2,259677592
3	1,583093937	13	1,488399584	23	2,156402583	33	1,302912752	43	2,188295947
4	1,975468951	14	1,373715579	24	1,78339122	34	1,717395054	44	2,145931283
5	1,532556868	15	1,631199404	25	2,013568798	35	1,553925203	45	2,16676537
6	2,305580602	16	2,028148247	26	1,650579856	36	1,885553349	46	1,671473303
7	1,786746927	17	1,722766598	27	1,521698998	37	1,710187816	47	1,650579856
8	1,971299383	18	1,360976553	28	1,381281819	38	2,039920784	48	1,859418118
9	2,273156282	19	1,62924054	29	1,261297871	39	1,547562509	49	1,808288771
10	2,109000344	20	1,715598108	30	1,463255402	40	2,021547563	50	2,075684493

### 3.2.6.2 Verificación de supuestos de los datos transformados

Se vuelve a aplicar la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov a los datos de deflexión transformados.

**Tabla 3. 17 Verificación de normalidad de deflexión con los datos transformados**

<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Tiene distribución normal la deflexión	
		$H_a$ : No tiene distribución normal la deflexión	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha = 5\%$	<b>Número de Datos</b>	<b>N = 50</b>

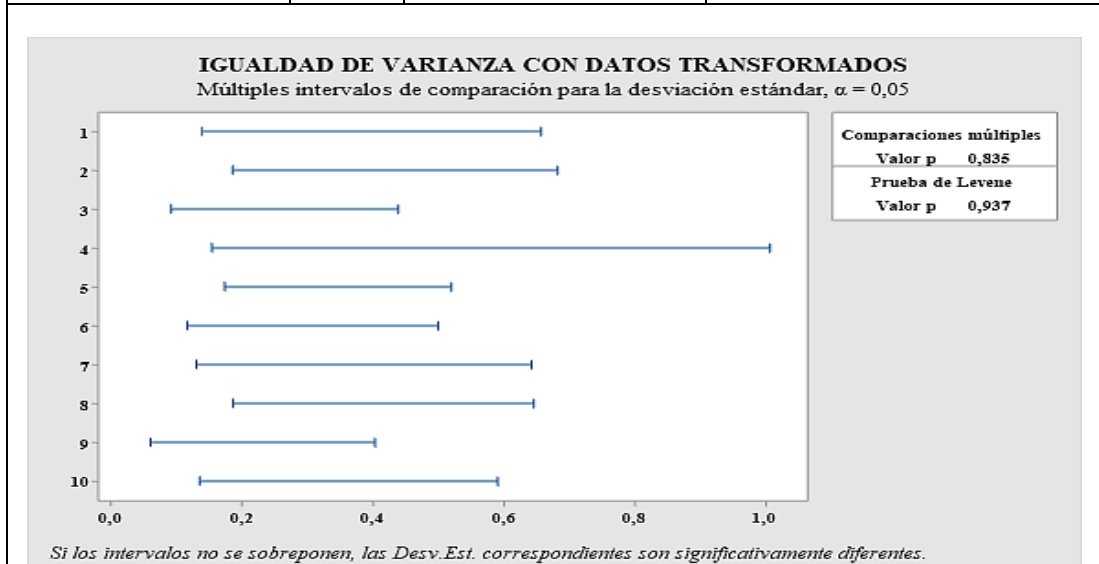


**Varianza**

Para comprobar el siguiente supuesto de los datos de módulo de elasticidad a tracción se trabaja con la prueba de Levene donde el factor a identificar es el  $p$  – valor, el mismo que es utilizado para verificar la significancia.

**Tabla 3. 18 Verificación de igualdad de varianza de la deflexión**

<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Tiene igualdad de varianza la deflexión	
		$H_a$ : No tiene igualdad de varianza la deflexión	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha =$ 5%	<b>Número de Datos</b>	<b>N = 50</b>

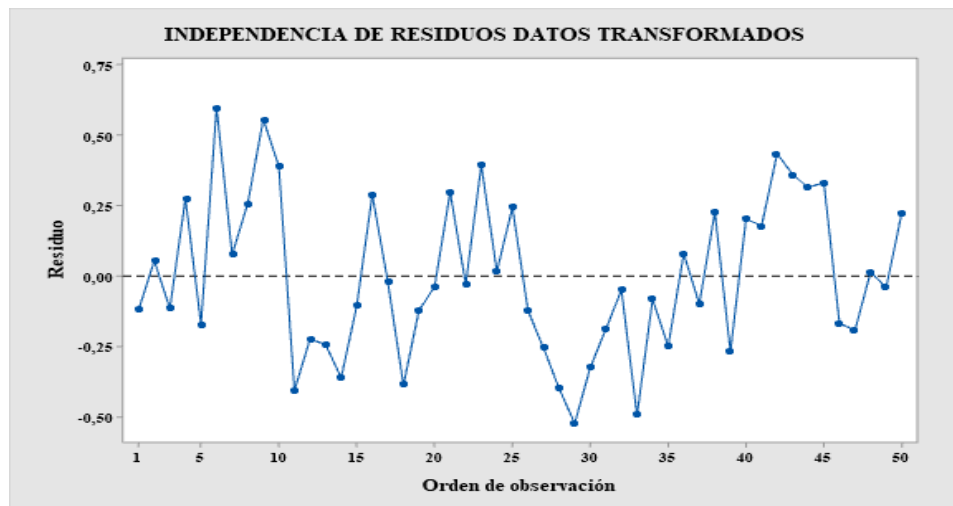


<b>Estadístico de Prueba:</b>	Levene	=0,38	<b>p - valor</b> = 0,937
<b>Decisión:</b>	Se acepta la $H_0$		
<b>Conclusión:</b>	Trabajando sobre el valor de significancia del 0,05 deflexión presenta una igualdad de varianza con los datos transformados.		

Una vez establecido la igualdad de varianza se aceptaría la hipótesis nula debido a que el valor p de la prueba de Levene de 0,937 es mayor que la significancia del  $p$  - valor de 0,05 establecido, trabajado con los datos transformados.

Independencia de residuos

Como muestra la figura 3.14 no predomina una disposición definida por lo que se determina que existe independencia de residuos en los datos del módulo de elasticidad a flexión, basado en los datos transformados.



*Figura 3. 14 Orden de observación vs Residuos de la deflexión con datos transformados*  
Fuente: [24]

### 3.2.7 Verificación de supuestos de los datos de la Energía de Impacto.

Basado en las pruebas paramétricas que engloban a las variables numéricas continuas se debe establecer que todos los valores cumplan con supuestos estadísticos establecidos mencionados en el capítulo 1.4.6.

Normalidad

Se trabaja con la prueba de Kolmogorov – Smirnov donde se comprueba el supuesto de normalidad, basado en la significancia calculada y el estadístico de prueba demuestra que los datos patrones cumplen con la normalidad, debido a que, para aceptar la hipótesis nula el  $p$  - valor *debe* ser igual o mayor a 5% de la significancia

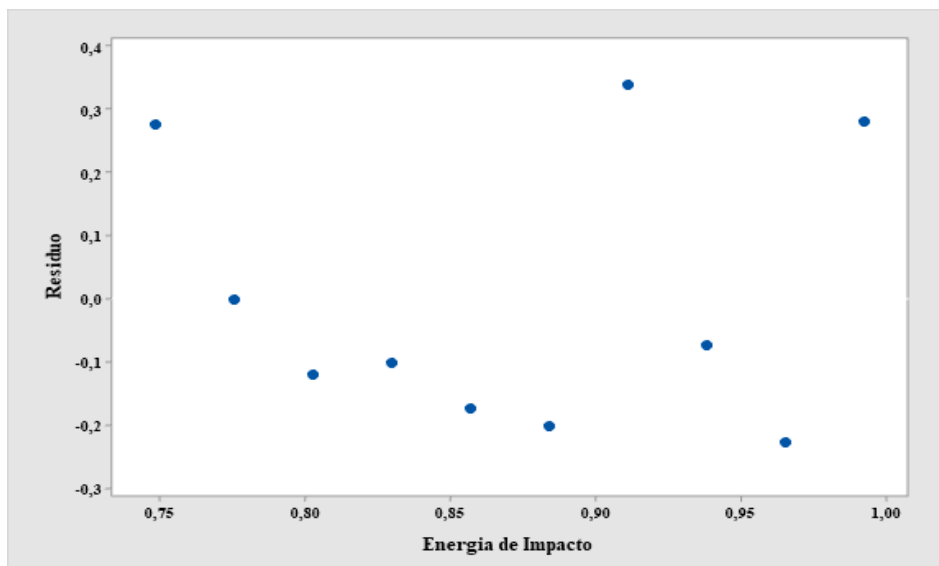
encontrada en el análisis, de no ser así se realiza una transformación de datos para un análisis posterior.

**Tabla 3. 19** Verificación de normalidad de la energía de impacto

<b>Hipótesis</b>		$H_0$ : Tiene distribución normal la energía de impacto	
		$H_a$ : No tiene distribución normal la energía de impacto	
<b>Nivel de Significancia</b>	$\alpha=$ 5%	<b>Número de Datos</b>	<b>N = 10</b>
<b>Estadístico de Prueba:</b>	Kolmogorov – Smirnov	=0.261	<b>p - valor</b> = 0,051
<b>Decisión:</b>	Se acepta la $H_0$		
<b>Conclusión:</b>	Trabajando sobre el valor de significancia del 0,05 la energía de impacto presenta normalidad.		
<b>Observación:</b>	NO se realizará transformación de datos.		

Varianza

Para comprobar el siguiente supuesto de los datos de módulo de elasticidad a tracción se trabaja sobre la gráfica de residuos contra predichos.

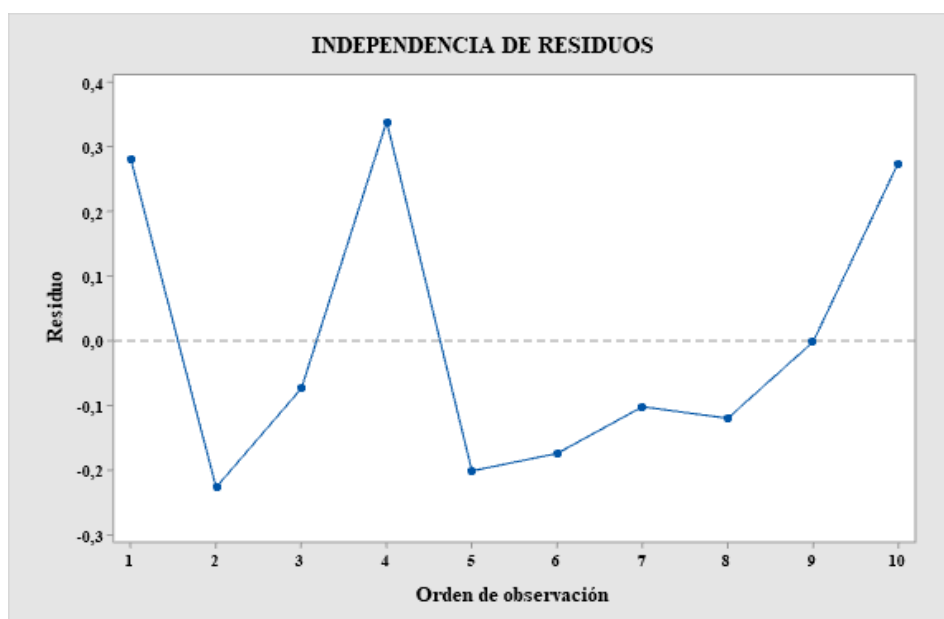


**Figura 3. 15** Grafica de predichos vs Residuos de la energía de impacto  
**Fuente:** [24]

Identificado que los datos no siguen un patrón y están aleatorios significa que la varianza se cumple en dicho tratamiento.

Independencia de residuos

Como muestra la figura 3.16 no predomina una disposición definida por lo que se determina que existe independencia de residuos en los datos del módulo de elasticidad a flexión, pero por la transformación de datos hay que corroborar dicha información.



**Figura 3. 16** Orden de observación vs Residuos de la Energía de Impacto  
**Fuente:** [24]

### 3.3 OPTIMIZACIÓN DE LOS RESULTADOS (DOE -MEZCLAS)

#### 3.3.1 Resultados para la optimización

*Tabla 3. 20 Resultados para la optimización*

Orden	FIBRAS			TRACCIÓN		FLEXIÓN			IMPACTO
	FV	FA	FC	Esfuerzo	Young	Esfuerzo	Young	Deflexión	EMF
1.1	0,67	0	0,33	47,4	3115,89	112,57	69,03187669	1,572773928	1,274
1.2	0,67	0	0,33	41	2926,79	90,87	56,82605036	1,749199855	1,274
1.3	0,67	0	0,33	41,3	2808,57	101,97	65,38960162	1,583093937	1,274
1.4	0,67	0	0,33	47,7	3108,4	157,5	66,78772342	1,975468951	1,274
1.5	0,67	0	0,33	38,3	2482,23	65,63	53,77080993	1,532556868	1,274
2.1	0	0	1	23,4	1100,56	58,56	34,5282493	2,305580602	0,739
2.2	0	0	1	19,1	772,24	62,6	46,2525675	1,786746927	0,739
2.3	0	0	1	19,7	1004,61	53	38,81752182	1,971299383	0,739
2.4	0	0	1	24,6	987,58	69,16	38,13004065	2,273156282	0,739
2.5	0	0	1	23,4	820,32	68,15	41,10474425	2,109000344	0,739
3.1	0,33	0,34	0,33	35,6	3018,02	59,57	57,03244691	1,319085611	0,865
3.2	0,33	0,34	0,33	42,6	2635,09	77,24	59,1895261	1,504077397	0,865
3.3	0,33	0,34	0,33	42,9	2758,16	79,25	60,41688506	1,488399584	0,865
3.4	0,33	0,34	0,33	33,1	3180,36	55,53	53,60783525	1,373715579	0,865
3.5	0,33	0,34	0,33	36,3	2860,35	98,94	62,90468981	1,631199404	0,865
4.1	0,33	0	0,67	34,4	2170,8	72,69	44,18483903	2,028148247	1,251
4.2	0,33	0	0,67	40,6	1949,6	60,07	46,79850425	1,722766598	1,251
4.3	0,33	0	0,67	28,9	1946,7	44,61	48,3394249	1,360976553	1,251
4.4	0,33	0	0,67	31,5	2055,7	72,19	53,77359947	1,62924054	1,251
4.5	0,33	0	0,67	33,4	2137,3	79,76	54,14332831	1,715598108	1,251
5.1	0	0,67	0,33	23,2	1173,1	46,31	34,82384241	2,054123734	0,683
5.2	0	0,67	0,33	30,2	1319,1	42,03	38,95895276	1,731655545	0,683
5.3	0	0,67	0,33	26,3	1769,5	58,05	37,04456775	2,156402583	0,683
5.4	0	0,67	0,33	29	1660	57,04	44,24929378	1,78339122	0,683
5.5	0	0,67	0,33	25,1	1383,7	51,49	37,47132237	2,013568798	0,683
6.1	1	0	0	58,6	4492,9	184,76	85,05703969	1,650579856	0,683
6.2	1	0	0	65,8	4737,5	157	83,65703796	1,521698998	0,683
6.3	1	0	0	62,5	5322,1	133,27	82,71396496	1,381281819	0,683
6.4	1	0	0	58,5	4445	139,33	89,83206554	1,261297871	0,683
6.5	1	0	0	69,7	4690,5	131,75	78,91957932	1,463255402	0,683
7.1	0	0,33	0,67	30,4	2062,4	62,09	50,5400831	1,601405741	0,728
7.2	0	0,33	0,67	31,6	1871,2	79,25	53,18270396	1,743968805	0,728
7.3	0	0,33	0,67	28,1	2010	57,55	56,53494495	1,302912752	0,728
7.4	0	0,33	0,67	27,2	2102,5	92,88	58,3703692	1,717395054	0,728
7.5	0	0,33	0,67	26,3	1962,1	74,21	56,59593625	1,553925203	0,728
8.1	0	1	0	34,2	2252,8	88,34	52,3115666	1,885553349	0,683
8.2	0	1	0	36,6	2121,9	77,74	53,57424754	1,710187816	0,683
8.3	0	1	0	32,8	2186	84,81	47,4605099	2,039920784	0,683

8.4	0	1	0	31,8	2304,8	77,24	57,91113882	1,547562509	0,683
8.5	0	1	0	38,5	2367,1	110,05	54,56647322	2,021547563	0,683
9.1	0,33	0,67	0	41,3	1779,1	86,32	48,82519841	2,000127735	0,774
9.2	0,33	0,67	0	47,2	2224,6	84,81	42,51352726	2,259677592	0,774
9.3	0,33	0,67	0	42,6	1792,5	92,38	45,98586739	2,188295947	0,774
9.4	0,33	0,67	0	41,2	2200,5	75,22	42,38277952	2,145931283	0,774
9.5	0,33	0,67	0	42,8	1743	93,39	46,73114593	2,16676537	0,774
10.1	0,67	0,33	0	45,8	2672,3	112,07	65,56218422	1,671473303	1,024
10.2	0,67	0,33	0	59,2	2959,2	101,47	63,04522186	1,650579856	1,024
10.3	0,67	0,33	0	41,7	2540,9	118,63	61,40276867	1,859418118	1,024
10.4	0,67	0,33	0	52,9	2400,5	105	59,29165203	1,808288771	1,024
10.5	0,67	0,33	0	56,9	2843,6	107,52	52,46999142	2,075684493	1,024
Máximo				69,7	5322,1	184,76	89,83206554	2,305580602	1,274
Mínimo				19,1	772,24	42,03	34,5282493	1,261297871	0,683

La tabla 3.20 contiene los valores de las variables de cada tratamiento, una vez cumplido los supuestos paramétricos (normalidad, igualdad de varianza e independencia de residuos) los datos son utilizados para la realización de la optimización del compuesto. Sin embargo, en cada tratamiento se utilizó el mismo valor de la energía media de falla debido a que se tenía que cumplir con los requisitos de la matriz y si se trabajaba con valores promedio de cada tratamiento se perdía datos. Así también los datos posteriores se trabajarán con un modelo cúbico completo debido que los valores de la regresión del análisis de varianza de mezclas poseen un  $p$ -valor menor a 0,05 de significancia.

### 3.3.2 Análisis del modelo estadístico

#### 3.3.2.1 Regresión para mezclas en esfuerzo de tracción vs FV; FA; FC

*Tabla 3. 21 Coeficiente de regresión para esfuerzo a tracción [24].*

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
FV	62,33	1,82	*	*	2,11
FA	34,78	1,86	*	*	2,23
FC	22,73	1,82	*	*	2,11
FV*FA	-6,30	8,38	-0,75	0,456	2,23
FV*FC	-18,45	8,43	-2,19	0,034	2,24
FA*FC	-4,60	8,38	-0,55	0,586	2,23
FV*FA*FC	39,8	61,0	0,65	0,517	1,46
FV*FA*(-)	-7,2	18,5	-0,39	0,698	1,11
FA*FC*(-)	-40,3	18,5	-2,18	0,035	1,11

Para el diseño de mezclas se obtiene los valores presentes en la tabla 3.21 donde los valores de los coeficientes ayudarán a generar una ecuación lineal la misma que



permitirá corroborar el valor (y) generado al momento de la optimización, además se considera la diferencias del p- valor basado en la significancia (5%) ya que para el análisis establecerá si estos valores son o no parámetro para la optimización en el esfuerzo a tracción.

Resumen del modelo

**Tabla 3. 22** Coeficientes de determinación [24].

R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
90,38%	88,50%

Los coeficientes de determinación en la tabla 3.22 nos indica que tan ajustados están el conjunto de los valores de varianza de los datos a tracción ocasionado que es el mejor modelo establecido para la optimización.

### 3.2.2 Regresión para mezclas del Módulo de elasticidad a tracción vs FV; FA;

FC

**Tabla 3. 23** Coeficiente de regresión para módulo de elasticidad a tracción [24].

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
FV	4668	103	*	*	2,11
FA	2247	105	*	*	2,23
FC	1007	103	*	*	2,11
FV*FA	-5164	474	-10,90	0,000	2,23
FV*FC	-1660	477	-3,48	0,001	2,24
FA*FC	474	474	1,00	0,323	2,23
FV*FA*FC	26129	3447	7,58	0,000	1,46
FV*FA*(-)	-585	1046	-0,56	0,579	1,11
FA*FC*(-)	-6400	1046	-6,12	0,000	1,11

Para el diseño de mezclas se obtiene los valores presentes en la tabla 3.23 donde los valores de los coeficientes ayudarán a generar una ecuación lineal la misma que permitirá corroborar el valor (y) generado al momento de la optimización, además se considera la diferencias del p- valor basado en la significancia (5%) ya que para el análisis establecerá si estos valores son o no parámetro para la optimización en el módulo de elasticidad a tracción.

Resumen del modelo

**Tabla 3. 24** Coeficientes de determinación [24].

R-cuad.	R-cuad.(ajustado)
95,40%	94,50%

Los coeficientes de determinación en la tabla 3.24 nos indica que tan ajustados están el conjunto de los valores de varianza de los datos a tracción ocasionado que es el mejor modelo establecido para la optimización.

### 3.2.3 Regresión para mezclas en esfuerzo de flexión vs FV; FA; FC

*Tabla 3. 25 Coeficientes de regresión para el esfuerzo a flexión [24].*

<b>Término</b>	<b>Coef</b>	<b>EE del coef.</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>	<b>FIV</b>
FV	150,79	7,14	*	*	2,11
FA	87,64	7,34	*	*	2,23
FC	60,73	7,14	*	*	2,11
FV*FA	-97,4	33,0	-2,95	0,005	2,23
FV*FC	-90,3	33,2	-2,72	0,009	2,24
FA*FC	-54,7	33,0	-1,66	0,105	2,23
FV*FA*FC	45	240	0,19	0,853	1,46
FV*FA*(-)	6,9	72,8	0,10	0,925	1,11
FA*FC*(-)	-208,6	72,8	-2,87	0,007	1,11

Para el diseño de mezclas se obtiene los valores presentes en la tabla 3.25 donde los valores de los coeficientes ayudarán a generar una ecuación lineal la misma que permitirá corroborar el valor (y) generado al momento de la optimización, además se considera la diferencias del p- valor basado en la significancia (5%) ya que para el análisis establecerá si estos valores son o no parámetro para la optimización en el esfuerzo a flexión.

Resumen del modelo

*Tabla 3. 26 Coeficientes de determinación [24].*

<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad.(ajustado)</b>
76,94%	72,45%

Los coeficientes de determinación en la tabla 3.26 nos indica que tan ajustados están el conjunto de los valores de varianza de los datos a tracción ocasionado que es el mejor modelo establecido para la optimización.

### 3.2.4 Regresión para mezclas de módulo de elasticidad a flexión vs FV; FA; FC

*Tabla 3. 27 Coeficientes de regresión para el módulo de elasticidad a flexión [24].*

<b>Término</b>	<b>Coef</b>	<b>EE del coef.</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>	<b>FIV</b>
FV	83,71	1,84	*	*	2,11
FA	53,16	1,89	*	*	2,23
FC	40,09	1,84	*	*	2,11
FV*FA	-70,63	8,47	-8,33	0,000	2,23
FV*FC	-27,12	8,53	-3,18	0,003	2,24
FA*FC	0,67	8,47	0,08	0,937	2,23
FV*FA*FC	288,8	61,6	4,69	0,000	1,46
FV*FA*(-)	31,1	18,7	1,66	0,104	1,11
FA*FC*(-)	-139,5	18,7	-7,46	0,000	1,11

Para el diseño de mezclas se obtiene los datos presentes en la tabla 3.27 donde los valores de los coeficientes ayudarán a generar una ecuación lineal la misma que

permitirá corroborar el valor (y) generado al momento de la optimización, además se considera la diferencias del p- valor basado en la significancia (5%) ya que para el análisis establecerá si estos valores son o no parámetro para la optimización del módulo de elasticidad a flexión.

Resumen del modelo

**Tabla 3. 28** Coeficientes de determinación [24].

R-cuad.	R-cuad.(ajustado)
91,49%	89,83%

Los coeficientes de determinación en la tabla 3.28 nos indica que tan ajustados están el conjunto de los valores de varianza de los datos a tracción ocasionado que es el mejor modelo establecido para la optimización.

### 3.2.5 Regresión para mezclas de Deflexión vs FV; FA; FC

**Tabla 3. 29** Coeficientes de regresión para la deflexión a flexión [24].

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
FV	1,4871	0,0798	*	*	2,11
FA	1,8410	0,0820	*	*	2,23
FC	2,0577	0,0798	*	*	2,11
FV*FA	1,441	0,368	3,91	0,000	2,23
FV*FC	-0,386	0,371	-1,04	0,304	2,24
FA*FC	-0,830	0,368	-2,25	0,030	2,23
FV*FA*FC	-9,83	2,68	-3,67	0,001	1,46
FV*FA*(-)	-1,455	0,813	-1,79	0,081	1,11
FA*FC*(-)	2,910	0,813	3,58	0,001	1,11

Para el diseño de mezclas se obtiene los valores presentes en la tabla 3.29 donde los valores de los coeficientes ayudarán a generar una ecuación lineal la misma que permitirá corroborar el valor (y) generado al momento de la optimización, además se considera la diferencias del p- valor basado en la significancia (5%) ya que para el análisis establecerá si estos valores son o no parámetro para la optimización de la deflexión.

Resumen del modelo

**Tabla 3. 30** Coeficientes de determinación [24]

R-cuad.	R-cuad.(ajustado)
64,86%	58,01%

Los coeficientes de determinación en la tabla 3.30 nos indica que tan ajustados están el conjunto de los valores de varianza de los datos a tracción ocasionado que es el mejor modelo establecido para la optimización.

### 3.2.6 Regresión para mezclas de Energía media de fallo vs FV; FA; FC

*Tabla 3. 31 Coeficientes de regresión para la energía media de fallo [24].*

<b>Término</b>	<b>Coef</b>	<b>EE delcoef.</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>	<b>FIV</b>
FV	0,68941	0,00428	*	*	2,11
FA	0,68300	0,00440	*	*	2,23
FC	0,73259	0,00428	*	*	2,11
FV*FA	0,9624	0,0198	48,73	0,000	2,23
FV*FC	2,4943	0,0199	125,47	0,000	2,24
FA*FC	-0,0104	0,0198	-0,53	0,602	2,23
FV*FA*FC	-5,749	0,144	-40,01	0,000	1,46
FV*FA*(-)	1,6483	0,0436	37,80	0,000	1,11
FA*FC*(-)	-0,1872	0,0436	-4,29	0,000	1,11

Para el diseño de mezclas se obtiene los valores presentes en la tabla 3.31 donde los valores de los coeficientes ayudarán a generar una ecuación lineal la misma que permitirá corroborar el valor (y) generado al momento de la optimización, además se considera la diferencias del p- valor basado en la significancia (5%) ya que para el análisis establecerá si estos valores son o no parámetro para la optimización de la energía media de fallo.

Resumen del modelo

*Tabla 3. 32 Coeficientes de determinación [24].*

<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad.(ajustado)</b>
99,84%	99,80%

Los coeficientes de determinación en la tabla 3.32 nos indica que tan ajustados están el conjunto de los valores de varianza de los datos a tracción ocasionado que es el mejor modelo establecido para la optimización.

### 3.3.3 Optimización de respuestas

*Tabla 3. 33 Parámetros de optimización [24]*

<b>Variable</b>	<b>Meta</b>	<b>Inferior</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Superior</b>
Esfuerzo	Máximo	19,100	69,70	69,70
Young	Máximo	772,240	5322,10	5322,10
Esfuerzo F	Máximo	42,030	184,76	184,76
Young F	Máximo	34,528	89,83	89,83
Deflexión	Mínimo	1,261	1,26	2,31
Impacto	Máximo	0,683	1,27	1,27

En la tabla 3.33 muestra los valores máximos y mínimos que son resultado del promedio de los tratamientos, los mismos que son utilizados como referencia para encontrar el valor óptimo de la mezcla, donde la meta maximizar establece llegar al

valor más alto teniendo en cuenta los valores del objetivo la misma razón se utiliza para la meta minimizar.

Solución global

**Tabla 3. 34** Composición volumétrica del refuerzo [24].

<b>Fibras</b>	<b>Valor</b>	<b>Porcentaje</b>
FV	0,87 %	0,261
FA	0,010%	0,003
FC	0,12%	0,036
RE	0,7	0,7
Total de la mezcla		100%

A partir de la tabla 3.34 se identifica las fracciones volumétricas que se obtuvo mediante la optimización de los tratamientos, los mismos que a consideración del diseño del material compuesto la matriz posee un volumen constante (70%) y lo que varía son los porcentajes de cada fibra respectivamente.

A partir de dicha combinación en la tabla 3.36 se muestra las nuevas propiedades del compuesto optimizado.

Respuestas pronosticadas

**Tabla 3. 35** Valores por característica [24].

<b>Variable</b>	<b>Valores del programa</b>
Esfuerzo	55,30 MPa
Young	4010,19 MPa
Esfuerzo F	129,12 MPa
Young F	75,28 (T)
Deflexión	1,51 (T)
Impacto	0,97 J

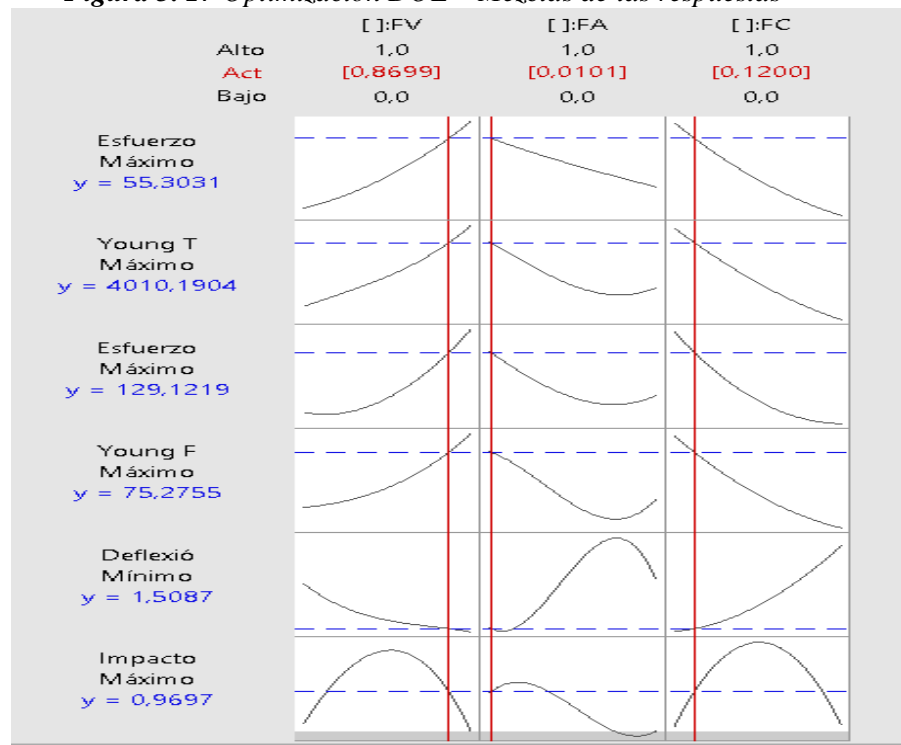
Hay valores que no tienen sus unidades debido a que hay valores que fueron transformados para cumplir los supuestos y estos deben volver a ser tratados para tomar su valor real en este caso el valor del módulo de elasticidad a flexión y la deflexión.

**Tabla 3. 36** Valores tratados

<b>Variable</b>	<b>Valores del programa</b>	<b>Valores reales</b>
Esfuerzo	55,30 MPa	55,30 MPa
Young	4010,19 MPa	4010,19 MPa
Esfuerzo F	129,12 MPa	129,12 MPa
Young F	75,28 (T)	5667,08 MPa
Deflexión	1,51 (T)	4,42 mm
Impacto	0,97 J	0,97 J

Una vez determinado la mejor optimización en función a la figura 3.11 se tiende a establecer las ecuaciones individuales para cada propiedad, esto permite determinar el valor de salida o respuesta (y) la misma que está dada a continuación.

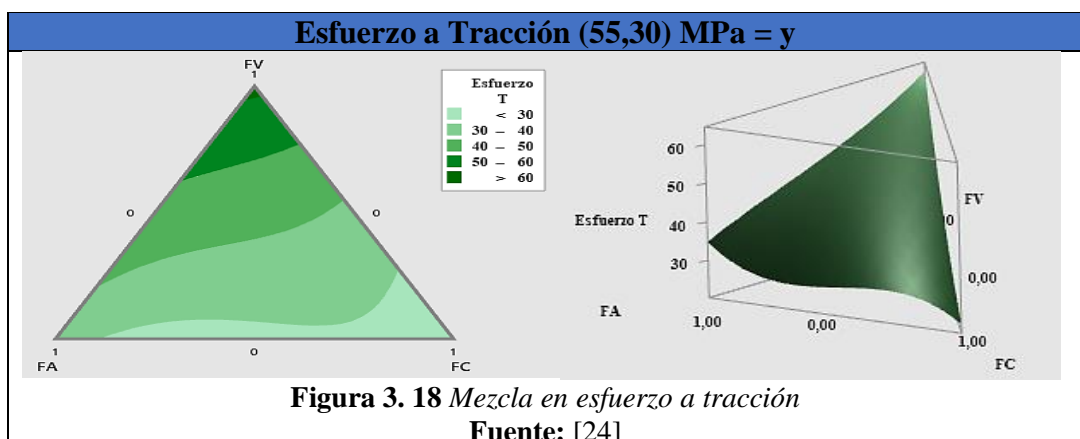
**Figura 3. 17 Optimización DOE – Mezclas de las respuestas**



Fuente: [24]

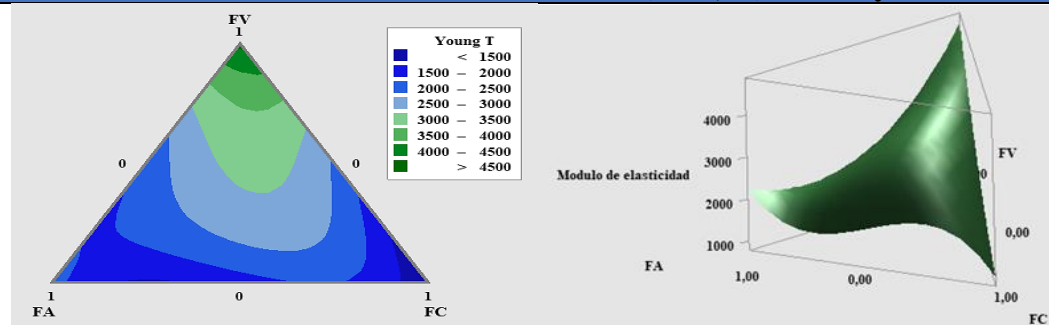
### 3.3.3.1 Ecuaciones de optimización

Los valores mostrados en la tabla 3.37 se receiptan a partir de la tabla de regresión para mezclas de cada propiedad identificada desde el punto 3.3.2 los mismos que están relacionadas con las gráficas de contorno y superficie para la mostrar de mejor manera como se interrelacionan las mezclas en cada propiedad dependiendo de la fibra que participa en dicha respuesta o valor de salida (y).



$$62,33 * FV + 34,78 * FA + 22,73 * FC - 6,30 (FV * FA) - 18,45 (FV * FC) - 4,60 (FA * FC) + 39,8 (FV * FA * FC) - 7,2 ((FV * FA)(FV - FA)) - 40,3 ((FA * FC)(FA - FC)) = y$$

**Módulo de elasticidad a Tracción (4010,19) MPa = y**

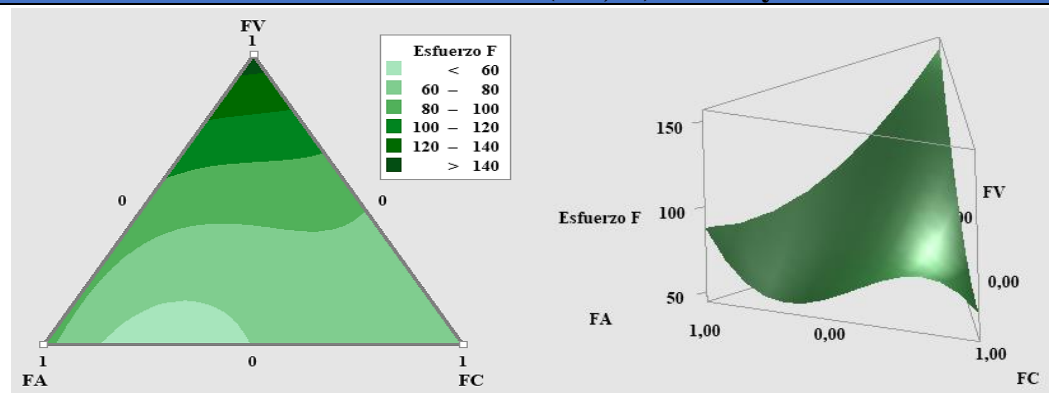


**Figura 3. 19** mezcla en módulo de elasticidad a tracción

Fuente: [24]

$$4668 * FV + 2247 * FA + 1007 * FC - 5164(FV * FA) - 1600 (FV * FC) + 474 (FA * FC) + 26129 (FV * FA * FC) - 585 ((FV * FA)(FV - FA)) - 6400 ((FA * FC)(FA - FC)) = y$$

**Esfuerzo a flexión (129,12) MPa = y**

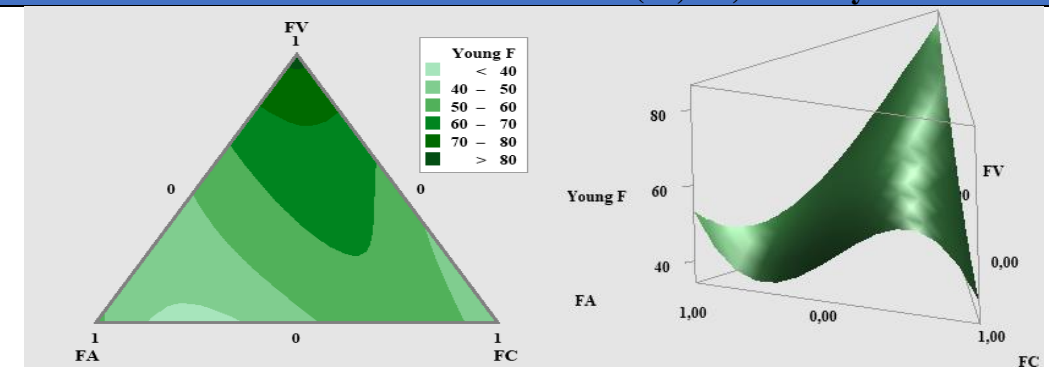


**Figura 3. 20** Mezcla en esfuerzo a flexión

Fuente: [24]

$$150,79 * FV + 87,64 * FA + 60,73 * FC - 97,4(FV * FA) - 90,3 (FV * FC) - 54,7 (FA * FC) + 45 (FV * FA * FC) + 6,9 ((FV * FA)(FV - FA)) - 208,6 ((FA * FC)(FA - FC)) = y$$

**Módulo de elasticidad a flexión (75,275) MPa = y**

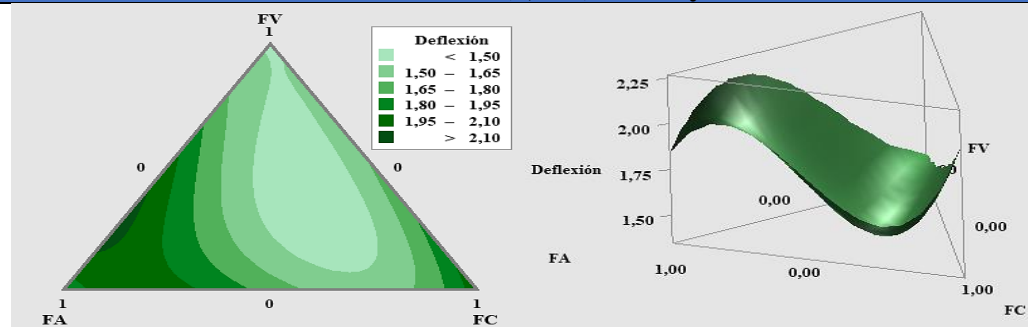


**Figura 3. 21** Mezcla en módulo de elasticidad a flexión

Fuente: [24]

$$83,71 * FV + 53,16 * FA + 40,09 * FC - 70,63(FV * FA) - 27,12 (FV * FC) + 0,67 (FA * FC) + 288,8 (FV * FA * FC) + 31,1 ((FV * FA)(FV - FA)) - 139,5 ((FA * FC)(FA - FC)) = y$$

**Deflexión (1,508) mm = y**

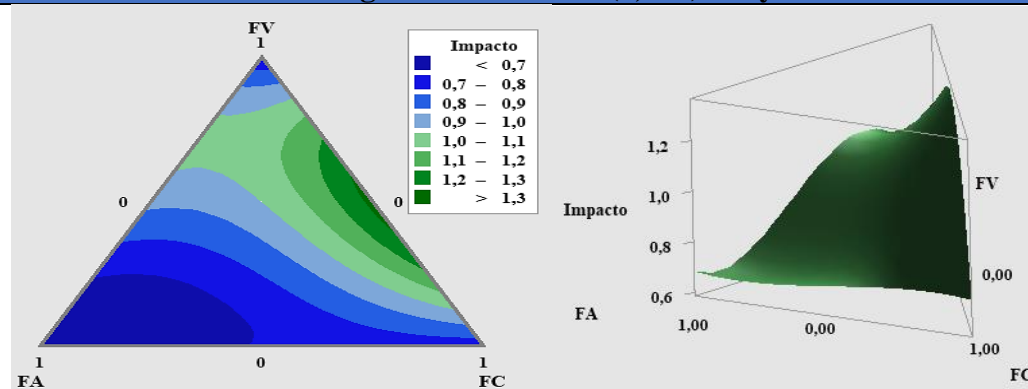


**Figura 3. 22 Mezcla en deflexión**

**Fuente: [24]**

$$1,4871 * FV + 1,8410 * FA + 2,0577 * FC + 1,441(FV * FA) - 0,386 (FV * FC) - 0,830 (FA * FC) - 9,83(FV * FA * FC) - 1,455 ((FV * FA)(FV - FA)) + 2,910 ((FA * FC)(FA - FC)) = y$$

**Energía media de fallo (0,969) J = y**



**Figura 3. 23 Mezcla en energía media de fallo**

**Fuente: [24]**

$$0,68941 * FV + 0,683 * FA + 73259 * FC + 0,9624(FV * FA) + 2,4943(FV * FC) - 0,0104 (FA * FC) - 5,749 (FV * FA * FC) + 1,6483 ((FV * FA)(FV - FA)) - 0,1872((FA * FC)(FA - FC)) = y$$

### 3.4 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

H<sub>0</sub>: Los resultados generados por los ensayos a tracción flexión e impacto del material híbrido de matriz epoxi reforzada con fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio no permitirá optimizarlos mediante el método DOE – Mezclas.

H<sub>1</sub>: Los resultados generados por los ensayos a tracción flexión e impacto del material híbrido de matriz epoxi reforzada con fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio permitirá optimizarlos mediante el método DOE – Mezclas



Para la verificación de la hipótesis se trabajará con la tabla de análisis de varianzas de mezclas que involucra todos los tratamientos, la que facilitará optar por la hipótesis nula o alternativa en función a los valores de significancia del  $p$  - valor.

Análisis de varianza para el Esfuerzo a tracción

**Tabla 3. 37 Esfuerzo de tracción [24].**

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	8	6693,00	6693,00	836,62	48,13	0,000
Lineal	2	6504,11	4572,11	2286,06	131,50	0,000
Cuadrático	3	94,90	84,02	28,01	1,61	0,202
FV*FA	1	0,11	9,83	9,83	0,57	0,456
FV*FC	1	92,08	83,23	83,23	4,79	0,034
FA*FC	1	2,71	5,24	5,24	0,30	0,586
Cúbico especial	1	7,07	7,42	7,42	0,43	0,517
FV*FA*FC	1	7,07	7,42	7,42	0,43	0,517
Cúbico completo	2	86,92	86,92	43,46	2,50	0,095
FV*FA*(-)	1	4,52	2,65	2,65	0,15	0,698
FA*FC*(-)	1	82,40	82,40	82,40	4,74	0,035
Error residual	41	712,74	712,74	17,38		
Falta de ajuste	1	46,46	46,46	46,46	2,79	0,103
Error puro	40	666,28	666,28	16,66		
Total	49	7405,74				

En la tabla 3.37 se identifica el análisis de varianza que refleja el valor  $p$  del esfuerzo a tracción, siendo este valor mayor al valor de la significancia  $0,095 > 0,05$ , esto significa que el valor encontrado no es significativo. Así también considerar que el  $p$  – valor de la regresión es 0,000 por lo tanto explicar que el modelo cúbico completo aplicado es ideal.

Análisis de varianza para el Módulo de elasticidad a tracción

**Tabla 3. 38 Modulo de elasticidad a tracción [24].**

Fuente	GL	SC Sec	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	8	47287939	47287939	5910992	106,29	0,000
Lineal	2	36706015	38556857	19278428	346,65	0,000
Cuadrático	3	5302850	7656911	2552304	45,89	0,000
FV*FA	1	4185324	6603030	6603030	118,73	0,000
FV*FC	1	290307	673933	673933	12,12	0,001
FA*FC	1	827219	55677	55677	1,00	0,323
Cúbico especial	1	3154405	3194727	3194727	57,45	0,000
FV*FA*FC	1	3154405	3194727	3194727	57,45	0,000
Cúbico completo	2	2124670	2124670	1062335	19,10	0,000
FV*FA*(-)	1	44530	17397	17397	0,31	0,579
FA*FC*(-)	1	2080140	2080140	2080140	37,40	0,000
Error residual	41	2280138	2280138	55613		
Falta de ajuste	1	465620	465620	465620	10,26	0,003

Error puro	40	1814519	1814519	45363		
Total	49	49568078				

En la tabla 3.38 se identifica el análisis de varianza que refleja el valor  $p$  del módulo de elasticidad a tracción, siendo este valor menor al valor de la significancia  $0,000 < 0,05$ , esto significa que el valor encontrado es significativo. Así también considerar que el  $p$  – valor de la regresión es 0,000 por lo tanto explicar que el modelo cúbico completo aplicado es ideal.

Análisis de varianza para el Esfuerzo a flexión

**Tabla 3. 39** Esfuerzo a flexión [24].

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	8	36820,2	36820,2	4602,5	17,10	0,000
Lineal	2	30197,5	23717,5	11858,8	44,07	0,000
Cuadrático	3	4404,8	3543,7	1181,2	4,39	0,009
FV*FA	1	1220,5	2348,5	2348,5	8,73	0,005
FV*FC	1	2395,2	1994,4	1994,4	7,41	0,009
FA*FC	1	789,1	740,6	740,6	2,75	0,105
Cúbico especial	1	6,9	9,3	9,3	0,03	0,853
FV*FA*FC	1	6,9	9,3	9,3	0,03	0,853
Cúbico completo	2	2211,0	2211,0	1105,5	4,11	0,024
FV*FA*(-)	1	1,0	2,4	2,4	0,01	0,925
FA*FC*(-)	1	2210,0	2210,0	2210,0	8,21	0,007
Error residual	41	11032,6	11032,6	269,1		
Falta de ajuste	1	237,2	237,2	237,2	0,88	0,354
Error puro	40	10795,4	10795,4	269,9		
Total	49	47852,8				

En la tabla 3.39 se identifica el análisis de varianza que refleja el valor  $p$  del esfuerzo a flexión, siendo este valor menor al valor de la significancia  $0,024 < 0,05$ , esto significa que el valor encontrado es significativo. Así también considerar que el  $p$  – valor de la regresión es 0,000 por lo tanto explicar que el modelo cúbico completo aplicado es ideal.

Análisis de varianza para el módulo de elasticidad a flexión

**Tabla 3. 40** Módulo de elasticidad a flexión [24].

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	8	7842,16	7842,16	980,27	55,13	0,000
Lineal	2	5470,94	5560,49	2780,24	156,35	0,000
Cuadrático	3	976,83	1383,42	461,14	25,93	0,000
FV*FA	1	725,67	1235,36	1235,36	69,47	0,000
FV*FC	1	178,57	179,80	179,80	10,11	0,003
FA*FC	1	72,59	0,11	0,11	0,01	0,937
Cúbico especial	1	377,21	390,33	390,33	21,95	0,000

FV*FA*FC	1	377,21	390,33	390,33	21,95	0,000
<b>Cúbico completo</b>	2	1017,17	1017,17	508,59	28,60	<b>0,000</b>
FV*FA*(-)	1	28,16	49,24	49,24	2,77	0,104
FA*FC*(-)	1	989,01	989,01	989,01	55,62	0,000
Error residual	41	729,09	729,09	17,78		
Falta de ajuste	1	10,25	10,25	10,25	0,57	0,455
Error puro	40	718,84	718,84	17,97		
Total	49	8571,24				

En la tabla 3.40 se identifica el análisis de varianza que refleja el valor  $p$  del módulo de elasticidad a flexión, siendo este valor menor al valor de la significancia  $0,000 < 0,05$ , esto significa que el valor encontrado es significativo. Así también considerar que el  $p$  – valor de la regresión es 0,000 por lo tanto explicar que el modelo cúbico completo aplicado es ideal.

Análisis de varianza para la deflexión

**Tabla 3. 41 Deflexión [24].**

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	8	2,54292	2,54292	0,31787	9,46	<b>0,000</b>
Lineal	2	0,62970	0,92355	0,46178	13,74	0,000
Cuadrático	3	0,95702	0,97691	0,32564	9,69	0,000
FV*FA	1	0,37158	0,51415	0,51415	15,30	0,000
FV*FC	1	0,04797	0,03647	0,03647	1,09	0,304
FA*FC	1	0,53747	0,17045	0,17045	5,07	0,030
Cúbico especial	1	0,44038	0,45180	0,45180	13,45	0,001
FV*FA*FC	1	0,44038	0,45180	0,45180	13,45	0,001
<b>Cúbico completo</b>	2	0,51583	0,51583	0,25791	7,68	<b>0,001</b>
FV*FA*(-)	1	0,08557	0,10754	0,10754	3,20	0,081
FA*FC*(-)	1	0,43026	0,43026	0,43026	12,81	0,001
Falta de ajuste	1	0,09572	0,09572	0,09572	2,99	0,092
Error puro	40	1,28184	1,28184	0,03205		
Total	49	3,92049				

En la tabla 3.41 se identifica el análisis de varianza que refleja el valor  $p$  de la deflexión, siendo este valor menor al valor de la significancia  $0,001 < 0,05$ , esto significa que el valor encontrado es significativo. Así también considerar que el  $p$  – valor de la regresión es 0,000 por lo tanto explicar que el modelo cúbico completo aplicado es ideal.

Análisis de varianza para la Energía media de fallo

**Tabla 3. 42 Energía media de fallo [24].**

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	8	2,41386	2,41386	0,30173	3123,56	<b>0,000</b>
Lineal	2	0,68105	0,00782	0,00391	40,45	0,000

Cuadrático	3	1,43678	1,68996	0,56332	5831,52	0,000
FV*FA	1	0,05235	0,22938	0,22938	2374,59	0,000
FV*FC	1	1,37186	1,52076	1,52076	15743,02	0,000
FA*FC	1	0,01257	0,00003	0,00003	0,28	0,602
Cúbico especial	1	0,15756	0,15467	0,15467	1601,19	0,000
FV*FA*FC	1	0,15756	0,15467	0,15467	1601,19	0,000
Cúbico completo	2	0,13848	0,13848	0,06924	716,78	0,000
FV*FA*(-)	1	0,13670	0,13800	0,13800	1428,58	0,000
FA*FC*(-)	1	0,00178	0,00178	0,00178	18,42	0,000
Error residual	41	0,00396	0,00396	0,00010		
Falta de ajuste	1	0,00396	0,00396	0,00396	*	*
Error puro	40	0,00000	0,00000	0,00000		
Total	49	2,41782				

En la tabla 3.40 se identifica el análisis de varianza que refleja el valor  $p$  de la energía media de fallo, siendo este valor menor al valor de la significancia  $0,000 < 0,05$ , esto significa que el valor encontrado es significativo. Así también considerar que el  $p$  – valor de la regresión es 0,000 por lo tanto explicar que el modelo cúbico completo aplicado es ideal.

Realizado los análisis mediante los resultados en las tablas de la verificación de la hipótesis se identifica las diferencias significativas correspondientes a cada propiedad mecánica.

Obtenido el  $p$  – valor de las seis propiedades mecánicas, en cinco de ellas se ha evidenciado valores completamente significativos y en una de ellas no hay diferencias significativas, por lo tanto, por mayoría se acepta la hipótesis alterna, donde el diseño de experimentos con mezclas nos permite realizar la optimización para mejorar las propiedades mecánicas del compuesto a excepción del esfuerzo a tracción.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 CONCLUSIONES**

- La aplicación del método simplex reticular en el diseño de experimentos con mezclas es factible, debido a que permite generar mezclas de distintos niveles y tratamientos
- Gracias a la aplicación de la normativa ASTM de los ensayos a tracción flexión e impacto se cumplió los procedimientos de fabricación y el número de probetas para cada ensayo.
- Mediante la recolección de datos de los ensayos se obtuvo valores de las propiedades mecánicas los que fueron utilizados para edeterminar la regresión de mezclas.
- Tras la evaluación realizada en la tabla de análisis de varianza de mezclas permitió el análisis de las diferencias significativas y no significativas de las propiedades mecánicas.
- La mejor combinación del material compuesto fue fibra de vidrio en 0,261, fibra de abacá con 0,03 y la fibra de cabuya con un valor de 0,36, considerando que la matriz fue constante con 0,7 de resina epoxi.
- Se determinó que la fibra de vidrio tuvo mayor incidencia sobre las fibras naturales, debido a los altos valores generados en los ensayos donde era 100% fibra de vidrio.

#### **4.2 RECOMENDACIONES**

- Utilizar otros métodos dentro del diseño de experimentos con mezclas tal como el método simplex con centroide o mixto, debido a que estos métodos permiten generar más o menos cantidad de tratamientos y así tener variable de datos.
- Trabajar con moldes de mayor espesor de las placas debido a que por la generación de temperatura de la resina este tiende a perder holgura o a pandearse.

- Utilizar otras disposiciones y orientaciones en las fibras naturales como en las fibras sintéticas dentro del campo de diseño de experimentos con mezclas.
- Trabajar con la totalidad de los datos debido a que si se trabaja con promedios o medias se tiende a perder valores y el error de significancia tiende a crecer.
- Ocupar otro software estadístico que permita comparar el análisis de mezclas y optimización de diseño de experimentos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. J. Anderson and P. J. Whitcomb, "Mixture DOE uncovers formulations quicker," *Rubber & Plastics News*, Tailandia, pp. 16–17, 2002.
- [2] T. E. Juan Esteban, "Caracterización De Materiales Compuestos Mediante El Método De Diseño De Experimentos," Trabajo de fin de grado, Universidad EAFIT, Medellín, 2006.
- [3] J. Cruz-Salgado, S. Alonso-Romero, A. Estrada-Monje, and R. Zitzumbo-Guzman, "Optimización de propiedades mecánicas de un compuesto de PET/madera mediante diseño de experimentos para mezclas," *Rev. Mex. Ing. Química*, vol. 15, no. 2, pp. 643–654, May 2016.
- [4] Z. Jeirani, B. Mohamed Jan, B. Si Ali, I. Mohd. Noor, S. Chun Hwa, and W. Saphanuchart, "The optimal mixture design of experiments: Alternative method in optimizing the aqueous phase composition of a microemulsion," *Chemom. Intell. Lab. Syst.*, vol. 112, pp. 1–7, 2012.
- [5] L. Eriksson, E. Johansson, and C. Wikström, "Mixture design - Design generation, PLS analysis, and model usage," *Chemom. Intell. Lab. Syst.*, vol. 43, no. 1–2, pp. 1–24, 1998.
- [6] Z. Liu, M. Li, Y. Weng, T. N. Wong, and M. J. Tan, "Mixture Design Approach to optimize the rheological properties of the material used in 3D cementitious material printing," *Constr. Build. Mater.*, vol. 198, pp. 245–255, 2019.
- [7] C. Varanda, I. Portugal, J. Ribeiro, A. M. S. Silva, and C. M. Silva, "Optimization of bitumen formulations using mixture design of experiments (MDOE)," *Constr. Build. Mater.*, vol. 156, pp. 611–620, 2017.
- [8] E. D. Pauli, G. B. Malta, P. M. Sanchez, I. C. Moreira, and I. S. Scarminio, "Mixture design analysis of solvent extractor effects on epicatechin, epigallocatechin gallate, epigallocatechin and antioxidant activities of the *Camellia sinensis* L. leaves," *Anal. Chem. Res.*, vol. 2, pp. 23–29, 2014.
- [9] M. T. Yilmaz, Ö. Yildiz, B. Yurt, O. S. Toker, S. Karaman, and A. Baştürk, "A mixture design study to determine interaction effects of wheat, buckwheat, and rice flours in an aqueous model system," *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 61, no. 2, pp. 583–589, 2015.
- [10] S. Furlanetto, M. Cirri, G. Piepel, N. Mennini, and P. Mura, "Mixture

- experiment methods in the development and optimization of microemulsion formulations,” *J. Pharm. Biomed. Anal.*, vol. 55, no. 4, pp. 610–617, 2011.
- [11] J. Dávila *et al.*, “Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales,” pp. 1–390, 2011.
- [12] V. Jaqueline, “Impacto de la aviación sobre el medio ambiente,” *Impacto la Aviac. sobre el medio Ambient.*, p. 210, 2010.
- [13] P. Gutiérrez Humberto and R. De la Vara Salazar, *Análisis y diseño de experimentos*, Segunda Ed. México, 2008.
- [14] M. F. Ashby, *Materials Selection in Mechanical Design Third Edition*, Third. 2005.
- [15] J. Alex, “ESTUDIO DE LA CONFIGURACIÓN DE FIBRAS DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA DE PIÑA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE BUTACAS DEPORTIVAS,” Trabajo de fin de grado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2018.
- [16] C. Willian, “Introduccion a la Ciencia e Ingenieria de los Materiales,” in *Learning Styles and the Nursing Profession*, 7ma ed., Barcelona: Departamento de materiales Ciencia e Ingenieiria, 1998, pp. 531–564.
- [17] Pablo Daniel Mazón, “Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica,” Trabajo de fin de grado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2018.
- [18] 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.
- [19] S. García, “Fibras y Materiales De Refuerzo: Los Poliésteres Reforzados Aplicados a La Realización De Piezas En 3D,” *Rev. Iberoam. Polímeros*, vol. 12, no. 5, pp. 268–282, 2011.
- [20] N. A. Tamayo, “Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliester reforzados con fibra de cabuya mediante estratificacion.,” Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero mecánico,Escuela Politécnica Nacional,Quito, 2012.
- [21] J. G. Paredes Salinas, “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 de fin de Maestría,Universidad Técnica de Ambato,Ambato, 2012.



- [22] E. Rodríguez and M. Desan, “Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán,” pp. 1–29, 2016.
- [23] D. Erazo, “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 de fin de grado, Técnica de Ambato, Ambato, 2011.
- [24] M. ® 19. . Statistical, “Minitab® 19.2.” United States, 2019.

# ANEXOS



Designation: D 3039/D 3039M – 00<sup>1</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 approval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

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

<sup>1</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 Composite 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 – 77T. 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>6</sup>

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>3</sup>

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing<sup>3</sup>

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers<sup>3</sup>

E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus<sup>3</sup>

E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process<sup>3</sup>

E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature<sup>3</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>3</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.



## 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>ε1</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.





# 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>.

129200811:27:41AM single-user license only, copying and networking prohibited.

Downloaded: 129200811:27:41AM single-user license only, copying and networking prohibited.

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

### LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

### ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

TIPO DE MATERIAL:	MATERIAL COMPUESTO
SOLICITADO POR:	TORRES MESIAS DAVID ESTEBAN
FECHA DE INICIO:	15-01-2020
FECHA DE FINALIZACIÓN:	21-01-2020
DETALLE:	CARACTERIZACIÓN MECÁNICA MATERIAL COMPUESTO (ASTM D7264-2015)
MODELO:	MÁQUINA UNIVERSAL INSTRON 880
OBSERVACIONES:	VELOCIDAD DE ENSAYO: 10 mm/min DISTANCIA ENTRE APOYOS: 70 mm

N°	Identificación grupo de muestra	Material de refuerzo	Material base (matriz)	Cantidad
1	PF 1 (20% + 0% +10%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
2	PF 2 ( 0% + 0% + 30%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
3	PF 3 (10% +10%+10%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
4	PF 4 ( 10% + 0%+20%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
5	PF 5 ( 0% +20% +10%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
6	PF 6 ( 30% +0% + 0%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
7	PF 7 ( 0%+ 10% +20%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
8	PF 8 ( 0% +30% + 0%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
9	PF 9 ( 10%+20% +0%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
10	PF 10 ( 20%+10%+0%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
<b>Total</b>				<b>50</b>

Elaborado por:
Ing. Francisco Navas
Encargado del laboratorio de resistencia de materiales

**INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS**  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**RESULTADOS**

Probeta	Identificación de probeta	Dimensiones (mm)	Espesor (mm)	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	PF 1.1	160*13*e	4.03	223,00	112,57	4765,4	4,82	OAB
2	PF 1.2	160*13*e	4.03	180,00	90,87	3229,2	5,75	OAT
3	PF 1.3	160*13*e	4.08	202,00	101,97	4275,8	4,87	OAT
4	PF 1.4	160*13*e	4.04	312,00	157,50	4460,6	7,21	OAB
5	PF 1.5	160*13*e	4.08	130,00	65,63	2891,3	4,63	OAT
6	PF 2.1	160*13*e	4.05	116,00	58,56	1192,2	10,03	OAT
7	PF 2.2	160*13*e	4.02	124,00	62,60	2139,3	5,97	OAT
8	PF 2.3	160*13*e	4.03	105,00	53,00	1506,8	7,18	OAB
9	PF 2.4	160*13*e	4.03	137,00	69,16	1453,9	9,71	OAT
10	PF 2.5	160*13*e	4.06	135,00	68,15	1689,6	8,24	OAT
11	PF 3.1	160*13*e	4.03	118,00	59,57	3252,7	3,74	OAB
12	PF 3.2	160*13*e	4.01	153,00	77,24	3503,4	4,50	OAT
13	PF 3.3	160*13*e	4.05	157,00	79,25	3650,2	4,43	OAT
14	PF 3.4	160*13*e	4.09	110,00	55,53	2873,8	3,95	OAT
15	PF 3.5	160*13*e	4.08	196,00	98,94	3957,0	5,11	OAT

**INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS**

**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**RESULTADOS**

Probeta	Identificación de probeta	Dimensiones (mm)	Espesor (mm)	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (%)	Tipo de falla
16	PF 4.1	160*13*e	4.08	144,00	72,69	1952,3	7,60	OAT
17	PF 4.2	160*13*e	4.03	119,00	60,07	2190,1	5,60	OAT
18	PF 4.3	160*13*e	4.05	88,38	44,61	2336,7	3,90	OAT
19	PF 4.4	160*13*e	4.03	143,00	72,19	2891,6	5,10	OAT
20	PF 4.5	160*13*e	4.01	158,00	79,76	2931,5	5,56	OAT
21	PF 5.1	160*13*e	4.08	91,73	46,31	1212,7	7,80	OAT
22	PF 5.2	160*13*e	4.09	83,25	42,03	1517,8	5,65	OAT
23	PF 5.3	160*13*e	4.03	115,00	58,05	1372,3	8,64	OAT
24	PF 5.4	160*13*e	4.01	113,00	57,04	1958,0	5,95	OAB
25	PF 5.5	160*13*e	4.00	102,00	51,49	1404,1	7,49	OAT
26	PF 6.1	160*13*e	4.03	366,00	184,76	7234,7	5,21	OAT
27	PF 6.2	160*13*e	4.09	311,00	157,00	6998,5	4,58	OAB
28	PF 6.3	160*13*e	4.04	264,00	133,27	6841,6	3,98	OAT
29	PF 6.4	160*13*e	4.08	276,00	139,33	8069,8	3,53	OAT
30	PF 6.5	160*13*e	4.08	261,00	131,75	6228,3	4,32	OAT

**INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS**

**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**RESULTADOS**

Probeta	Identificación de probeta	Dimensiones (mm)	Espesor (mm)	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (%)	Tipo de fallo
31	PF 7.1	160*13*e	4.07	123,00	62,09	2554,3	4,96	OAT
32	PF 7.2	160*13*e	4.05	157,00	79,25	2828,4	5,72	OAB
33	PF 7.3	160*13*e	4.09	114,00	57,55	3196,2	3,68	OAT
34	PF 7.4	160*13*e	4.08	184,00	92,88	3407,1	5,57	OAT
35	PF 7.5	160*13*e	4.01	147,00	74,21	3203,1	4,73	OAB
36	PF 8.1	160*13*e	4.04	175,00	88,34	2736,5	6,59	OAB
37	PF 8.2	160*13*e	4.06	154,00	77,74	2870,2	5,53	OAT
38	PF 8.3	160*13*e	4.09	168,00	84,81	2252,5	7,69	OAT
39	PF 8.4	160*13*e	4.03	153,00	77,24	3353,7	4,70	OAT
40	PF 8.5	160*13*e	4.08	218,00	110,05	2977,5	7,55	OAT
41	PF 9.1	160*13*e	4.02	171,00	86,32	2383,9	7,39	OAT
42	PF 9.2	160*13*e	4.09	168,00	84,81	1807,4	9,58	OAT
43	PF 9.3	160*13*e	4.02	183,00	92,38	2114,7	8,92	OAB
44	PF 9.4	160*13*e	4.05	149,00	75,22	1796,3	8,55	OAT
45	PF 9.5	160*13*e	4.04	185,00	93,39	2183,8	8,73	OAT



46	PF 10.1	160*13*e	4.00	222,00	112,07	4298,4	5,32	OAB
47	PF 10.2	160*13*e	4.04	201,00	101,47	3974,7	5,21	OAB
48	PF 10.3	160*13*e	4.06	235,00	118,63	3770,3	6,42	OAT
49	PF 10.4	160*13*e	4.03	208,00	105,00	3515,5	6,10	OAT
50	PF 10.5	160*13*e	4.07	213,00	107,52	2753,1	7,97	OAT



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA


## INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

### LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

### ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

TIPO DE MATERIAL:	MATERIAL COMPUESTO
SOLICITADO POR:	TORRES MESIAS DAVID ESTEBAN
FECHA DE INICIO:	15-01-2020
FECHA DE FINALIZACIÓN:	21-01-2020
DETALLE:	CARACTERIZACIÓN MECÁNICA MATERIAL COMPUESTO (ASTM D3039-2015)
MODELO:	MÁQUINA UNIVERSAL INSTRON 880
OBSERVACIONES:	VELOCIDAD DE ENSAYO: 10 mm/min

N°	Identificación grupo de muestra	Material de refuerzo	Material base (matriz)	Cantidad
1	PT 1 (20% + 0% +10%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
2	PT 2 ( 0% + 0% + 30%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
3	PT 3 (10% +10%+10%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
4	PT 4 ( 10% + 0%+20%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
5	PT 5 ( 0% +20% +10%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
6	PT 6 ( 30% +0% + 0%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
7	PT 7 ( 0%+ 10% +20%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
8	PT 8 ( 0% +30% + 0%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
9	PT 9 ( 10%+20% +0%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
10	PT 10 ( 20%+10%+0%)	FV+FA+FC	Resina Epoxi	5
<b>Total</b>				<b>50</b>


Elaborado por:
Ing. Francisco Navas
Encargado del laboratorio de resistencia de materiales

**INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS**  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**RESULTADOS**

Probeta	Identificación de probeta	Dimensiones (mm)	Espesor (mm)	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (%)	Tipo de falla
1	PT 1.1	250*25*e	4.03	4736,2	47,4	3115,89	1,5	LGM
2	PT 1.2	250*25*e	4.03	4097,4	41,0	2926,79	1,4	LAT
3	PT 1.3	250*25*e	4.08	4133,4	41,3	2808,57	1,5	AGM
4	PT 1.4	250*25*e	4.04	4765,3	47,7	3108,40	1,5	LGM
5	PT 1.5	250*25*e	4.08	3833,5	38,3	2482,23	1,5	LAT
6	PT 2.1	2337,8	4.05	1100,56	2,1	LAT	2337,8	23,4
7	PT 2.2	1905,6	4.02	772,24	2,5	LAT	1905,6	19,1
8	PT 2.3	1973,1	4.03	1004,61	2,0	LGM	1973,1	19,7
9	PT 2.4	2458,3	4.03	987,58	2,5	LGM	2458,3	24,6
10	PT 2.5	2337,0	4.06	820,32	2,8	LGT	2337,0	23,4
11	PT 3.1	3560,8	4.03	3018,02	1,2	LGM	3560,8	35,6
12	PT 3.2	4256,1	4.01	2635,09	1,6	LGM	4256,1	42,6
13	PT 3.3	4291,3	4.05	2758,16	1,6	LGM	4291,3	42,9
14	PT 3.4	3305,8	4.09	3180,36	1,0	LAT	3305,8	33,1
15	PT 3.5	3629,0	4.08	2860,35	1,3	LAT	3629,0	36,3

**INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS**

**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**RESULTADOS**

Probeta	Identificación de probeta	Dimensiones (mm)	Espesor (mm)	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (%)	Tipo de falla
16	PT 4.1	250*25*e	4.08	3436,8	34,4	2170,8	1,6	AGM
17	PT 4.2	250*25*e	4.03	4063,3	40,6	1949,6	2,1	LGM
18	PT 4.3	250*25*e	4.05	2890,1	28,9	1946,7	1,5	LGM
19	PT 4.4	250*25*e	4.03	3151,0	31,5	2055,7	1,5	LGM
20	PT 4.5	250*25*e	4.01	3336,7	33,4	2137,3	1,6	LAT
21	PT 5.1	250*25*e	4.08	2318,1	23,2	1173,1	2,0	LGM
22	PT 5.2	250*25*e	4.09	3018,3	30,2	1319,1	2,3	AGM
23	PT 5.3	250*25*e	4.03	2633,6	26,3	1769,5	1,5	LGM
24	PT 5.4	250*25*e	4.01	2901,8	29,0	1660,0	1,7	LGM
25	PT 5.5	250*25*e	4.00	2506,8	25,1	1383,7	1,8	LAT
26	PT 6.1	250*25*e	4.03	5857,6	58,6	4492,9	1,3	LGM
27	PT 6.2	250*25*e	4.09	6578,2	65,8	4737,5	1,4	AGM
28	PT 6.3	250*25*e	4.04	6249,9	62,5	5322,1	1,2	LAT
29	PT 6.4	250*25*e	4.08	5852,6	58,5	4445,0	1,3	LGM
30	PT 6.5	250*25*e	4.08	6965,2	69,7	4690,5	1,5	AGM

**INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS**

**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**RESULTADOS**

Probeta	Identificación de probeta	Dimensiones (mm)	Espesor (mm)	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (%)	Tipo de falla
31	PT 7.1	250*25*e	4.07	3038,9	30,4	2062,4	1,5	LAT
32	PT 7.2	250*25*e	4.05	3157,3	31,6	1871,2	1,7	AGM
33	PT 7.3	250*25*e	4.09	2814,5	28,1	2010,0	1,4	LGM
34	PT 7.4	250*25*e	4.08	2716,1	27,2	2102,5	1,3	AGM
35	PT 7.5	250*25*e	4.01	2630,0	26,3	1962,1	1,3	AGM
36	PT 8.1	250*25*e	4.04	3423,7	34,2	2252,8	1,5	LGM
37	PT 8.2	250*25*e	4.06	3657,6	36,6	2121,9	1,7	AGM
38	PT 8.3	250*25*e	4.09	3276,2	32,8	2186,0	1,5	LGM
39	PT 8.4	250*25*e	4.03	3180,6	31,8	2304,8	1,4	AGM
40	PT 8.5	250*25*e	4.08	3853,2	38,5	2367,1	1,6	AGM
41	PT 9.1	250*25*e	4.02	4125,1	41,3	1779,1	2,3	AGM
42	PT 9.2	250*25*e	4.09	4716,3	47,2	2224,6	2,1	AGM
43	PT 9.3	250*25*e	4.02	4255,9	42,6	1792,5	2,4	LAT
44	PT 9.4	250*25*e	4.05	4116,1	41,2	2200,5	1,9	AGM
45	PT 9.5	250*25*e	4.04	4281,5	42,8	1743,0	2,5	AGM

**INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS**

**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**RESULTADOS**

Probeta	Identificación de probeta	Dimensiones (mm)	Espesor (mm)	Carga máxima (N)	Esfuerzo de rotura (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (%)	Tipo de falla
31	PT 7.1	250*25*e	4.07	3038,9	30,4	2062,4	1,5	LAT
32	PT 7.2	250*25*e	4.05	3157,3	31,6	1871,2	1,7	AGM
33	PT 7.3	250*25*e	4.09	2814,5	28,1	2010,0	1,4	LGM
34	PT 7.4	250*25*e	4.08	2716,1	27,2	2102,5	1,3	AGM
35	PT 7.5	250*25*e	4.01	2630,0	26,3	1962,1	1,3	AGM
36	PT 8.1	250*25*e	4.04	3423,7	34,2	2252,8	1,5	LGM
37	PT 8.2	250*25*e	4.06	3657,6	36,6	2121,9	1,7	AGM
38	PT 8.3	250*25*e	4.09	3276,2	32,8	2186,0	1,5	LGM
39	PT 8.4	250*25*e	4.03	3180,6	31,8	2304,8	1,4	AGM
40	PT 8.5	250*25*e	4.08	3853,2	38,5	2367,1	1,6	AGM
41	PT 9.1	250*25*e	4.02	4125,1	41,3	1779,1	2,3	AGM
42	PT 9.2	250*25*e	4.09	4716,3	47,2	2224,6	2,1	AGM
43	PT 9.3	250*25*e	4.02	4255,9	42,6	1792,5	2,4	LAT
44	PT 9.4	250*25*e	4.05	4116,1	41,2	2200,5	1,9	AGM
45	PT 9.5	250*25*e	4.04	4281,5	42,8	1743,0	2,5	AGM

46	PT 10.1	250*25*e	4.00	4580,5	45,8	2672,3	1,7	AGM
47	PT 10.2	250*25*e	4.04	5923,2	59,2	2959,2	2,0	LGM
48	PT 10.3	250*25*e	4.06	4168,2	41,7	2540,9	1,6	LGM
49	PT 10.4	250*25*e	4.03	5293,0	52,9	2400,5	2,2	AGM
50	PT 10.5	250*25*e	4.07	5691,2	56,9	2843,6	2,0	AGM



**Factura del pedido: 100674615388**

OnTheHub &lt;noreply@kivuto.com&gt;

Mié 5/2/2020 11:09

Para: Paredes Salinas Juan Gilberto &lt;jgparedes@uta.edu.ec&gt;

**\*\* Este es un mensaje automático - por favor, no responda ya que no recibirá respuesta. \*\***



Estimado Juan Paredes:

Gracias por el pedido.

Todos los detalles sobre su pedido, incluido cualquier clave del producto, código de activación o vínculo de descarga necesarios (si es el caso), están disponibles en su tienda web en [Su cuenta/Pedidos](#).

Si es redirigido a la página de inicio de sesión interna de su organización, tendrá que iniciar sesión con las credenciales proporcionadas por su organización.

**Resumen de pedido****Información del pedido**

Número de pedido: 100674615388

Fecha del pedido: 2020-02-05 10:36  
Hora estándar del Este

Nombre: Juan Paredes

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.**Dirección de facturación**

Juan Paredes  
Av. Chasquis y Guayllabamba  
Camino real y león febres cordero  
Ambato  
Ecuador



Ítems (Todos los precios están en Dólares estadounidenses)

[Vea los detalles para recuperar los artículos de su pedido.](#)

	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Importe</b>
<b>1. <a href="#">Minitab 19 for Windows (Multilanguage) (12-Month Rental) - Descargar</a></b>	1	\$49.99	\$49.99
<b>2. <a href="#">Extended Access Guarantee (24 months)</a></b>	1	\$5.95	\$5.95
		<b>Subtotal:</b>	\$55.94
		<b>Impuestos:</b>	--
		<b>Total:</b>	\$55.94

Asegúrese de que toda la información listada a continuación sea correcta y guarde esta factura para su registro.

Si tiene alguna pregunta, consulte la [página de Ayuda de la tienda web](#).

Gracias,  
[OnTheHub](#)

## Technical Data

# LAM-125 LAM-224

## LAMINATING EPOXY

### COMBINED FEATURES

**Low viscosity** for quick wet out of synthetic composite fabrics; especially effective with Kevlar® and carbon fiber.

**Fast cure speed** hardener provides 40 minute working time at 77°F (25°C). A typical laminate will be gelled in about 1.5 to 2 hours.

**Optimized** for hand wet out and machine impregnation in contact molding, vacuum bagging and Light RTM applications.

**Room temperature cure** properties suitable for many composite components and structures.

**T<sub>g</sub> as high as 193°F (90°C)** with proper post cure providing excellent temperature stability and great part cosmetics.

**Cost effective, high performance** epoxy formulation for synthetic composite manufacturing.

**Quality-control tinting** is available at no extra charge; simply add "QC" after the product code on your order.

**Shelf life** is 3 years for resin and 2 years for hardener when properly stored<sup>3</sup>.

The New Standard

EPOXIES for  
Laminating  
Infusion  
Tooling  
Assembly

Gougeon Brothers, Inc.  
P.O. Box 908  
Bay City, MI 48707  
prosetepoxy.com  
888-377-6738

ISO9001:2015 Certified

Rev 4 / Dec 2015

©2015 Gougeon Brothers, Inc.

### HANDLING PROPERTIES

Property	Standard	Units	72°F (22°C)	77°F (25°C)	85°F (29°C)
150g Pot Life	ASTM D2471	minutes	15-19	11-15	9-13
500g Pot Life	ASTM D2471	minutes	15-19	10-13	9-13
Viscosity Mixed	ASTM D2196	cP	694	616	501
Viscosity (resin)	ASTM D2196	cP	1731		
Viscosity (hardener)	ASTM D2196	cP	75		

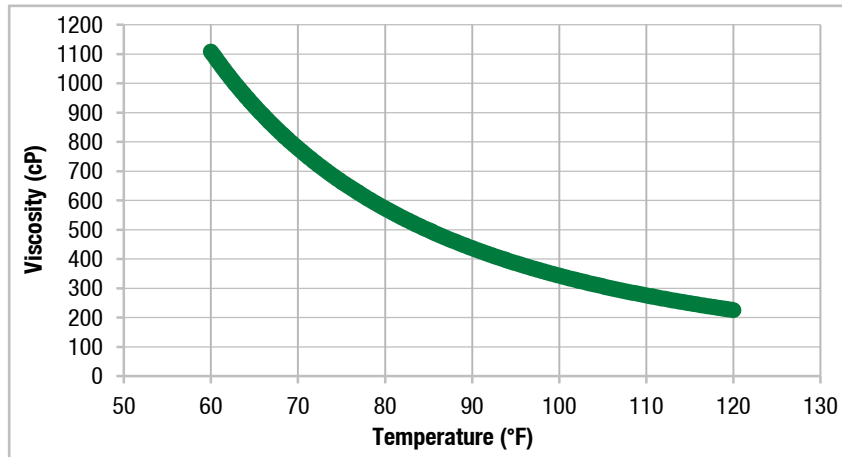
### MIX RATIO

Method	Resin:Hardener	Resin:Hardener
Weight	3.5:1	100:28.6
Weight Range	3.96:1–3.24:1	100:25.2–100:30.8
Volume	3.00:1	100:33.3
Volume Range	3.47:1–2.84:1	100:28.9–100:35.3

### DENSITY

State	Units	72°F (22°C)
Cured	lb/gal (g/cc)	9.69 (1.16)
Resin	lb/gal (g/cc)	9.58 (1.15)
Hardener	lb/gal (g/cc)	8.38 (1.00)

### VISCOSITY VS TEMPERATURE



Test specimens were neat epoxy (without fiber reinforcement).  
Typical values, not to be construed as specification.

# LAM-125~LAM-224

## LAMINATING EPOXY

### MECHANICAL PROPERTIES

Property	Standard	Units	72°F (22°C) x 4 wk	77°F (25°C) x 2 wk	RT Gelation + 120°F (49°C) x 8 hrs	RT Gelation + 140°F (60°C) x 8 hrs	RT Gelation + 180°F (82°C) x 8 hrs
Hardness	ASTM D2240	Type D	85	87	81	82	86
Compression Yield	ASTM D695	psi (MPa)	15,800 (109)	16,300 (112)	14,600 (101)	14,600 (101)	14,600 (101)
Tensile Strength	ASTM D638	psi (MPa)	10,900 (75)	11,400 (79)	11,000 (76)	11,000 (76)	11,100 (77)
Tensile Modulus	ASTM D638	psi (GPa)	5.35E+05 (3.69)	5.72E+05 (3.94)	5.47E+05 (3.77)	5.22E+05 (3.6)	4.95E+05 (3.41)
Tensile Elongation	ASTM D638	%	3.2	4.0	5.6	5.6	5.6
Flexural Strength	ASTM D790	psi (MPa)	17,500 (121)	18,300 (126)	18,900 (130)	18,900 (130)	19,700 (136)
Flexural Modulus	ASTM D790	psi (GPa)	5.26E+05 (3.63)	5.41E+05 (3.73)	5.12E+05 (3.53)	5.07E+05 (3.5)	4.75E+05 (3.28)

### THERMAL PROPERTIES

Property	Standard	Units	72°F (22°C) x 4 wk	77°F (25°C) x 2 wk	RT Gelation + 120°F (49°C) x 8 hrs	RT Gelation + 140°F (60°C) x 8 hrs	RT Gelation + 180°F (82°C) x 8 hrs
Tg DMA Peak Tan Delta	ASTM E1640 <sup>1</sup>	°F (°C)	170 (77)	170 (76)	195 (91)	201 (94)	216 (102)
Tg DMA Onset Storage Modulus	ASTM E1640 <sup>1</sup>	°F (°C)	151 (66)	151 (66)	171 (77)	177 (81)	193 (90)
Tg DSC Onset– 1st Heat	ASTM E1356	°F (°C)	139 (60)	138 (59)	155 (68)	178 (81)	184 (84)
Heat Deflection Temperature	ASTM D648	°F (°C)	135 (57)	137 (58)	148 (64)	161 (72)	179 (82)
Tg DSC Ultimate	ASTM E1356	°F (°C)			192 (89) <sup>2</sup>		

<sup>1</sup> 1 Hz, 3°C per minute.

<sup>2</sup> Additional post cure may be required; contact Technical Department for details.

<sup>3</sup> Store PRO-SET® Epoxy resins and hardeners at room temperature in sealed containers until shortly before use. As with many high-performance epoxy resins, repeated exposure to low temperatures during storage may cause the resin to crystallize. If this occurs, warm the resin to 125° F and stir to dissolve crystals. Hardeners may form carbamation when exposed to CO<sub>2</sub> and moisture in the atmosphere for extended periods of time. Prevent carbamation by protecting hardeners from exposure until immediately prior to processing.

Rev 4 / Dec 2015