



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:

“ANÁLISIS DEL PROCESO DE RANURADO DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRÍZ POLIMÉRICA CON RESINA EPOXI Y POLIÉSTER REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ”.

AUTOR: Luis David Cando Mullo

TUTOR: Ing. Mg. Cristian Pérez

AMBATO – ECUADOR

2019

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, bajo el tema: “**ANÁLISIS DEL PROCESO DE RANURADO DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRÍZ POLIMÉRICA CON RESINA EPOXI Y POLIÉSTER REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ**”, elaborado por el señor, LUIS DAVID CANDO MULLO, portador de la cédula de ciudadanía 0503582710, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico que:

- Que la presente tesis es original de su autoría.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos.
- Está concluido y puede continuar con los trámites correspondiente.

Ambato, abril del 2019

.....
Ing. Mg. Cristian Fabián Pérez Salinas

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Luis David Cando Mullo portador de la C.I. 0503582710, declaro que los criterios emitidos en este trabajo experimental con el tema: “**ANÁLISIS DEL PROCESO DE RANURADO DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRÍZ POLIMÉRICA CON RESINA EPOXI Y POLIÉSTER REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ**”, son auténticos y de absoluta responsabilidad de mi autoría, excepto de las fuentes bibliográficas que se encuentran citadas en este trabajo de investigación.

Los contenidos, ideas, ensayos, análisis, conclusiones y recomendaciones emitidas son de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor del presente trabajo experimental.

Ambato, abril del 2019

.....
Luis David Cando Mullo

0503582710

AUTOR

DERECHOS DEL AUTOR

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

Cedo los derechos de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además, apruebo la reproducción del mismo dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no tenga ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, abril del 2019

.....
Luis David Cando Mullo

0503582710

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el egresado Luis David Cando Mullo, de la Carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: **“ANÁLISIS DEL PROCESO DE RANURADO DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRÍZ POLIMÉRICA CON RESINA EPOXI Y POLIÉSTER REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ”**.

Ambato, abril del 2019

Para constancia firman:

.....

Ing. Mg Santiago Cabrera

.....

Ing. Mg Cristian Castro

DEDICATORIA

La presente tesis quiero dedicarle aquellos seres quienes fueron un motor fundamental para alcanzar mi máspreciado anhelo.

A Dios, por haberme dado la vida, fortaleza, por guiar cada paso que di y por permitirme culminar este proceso tan importante de mi formación profesional.

A mi madre Victoria Mullo, quien a pesar de todas las adversidades que tuvo que superar fue un ejemplo de lucha y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones y sobre todas las cosas me animó a seguir adelante y cumplir mis metas. A mi padre que a pesar de la distancia siento que está conmigo siempre, aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos sé que este momento hubiera sido tan importante para ti como lo es para mí. A las personas más importante de mi vida quienes con su amor y apoyo incondicional lograron también cumplir mis sueños, Blanca Taco y Jhosua Cando. Finalmente, mis queridos hermanos quienes con sus consejos y experiencias en la vida pusieron toda su confianza y esperanza en mi para culminar mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTO

Mediante estas líneas quisiera agradecer a todas las personas quienes me brindaron la ayuda necesaria para poder culminar esta investigación, merece el reconocimiento especial, mi Dios por derramar sobre mí todas sus bendiciones, mi madre quien ha sabido demostrarme su ejemplo de trabajo y honradez. A mis apreciados hermanos que con sus palabras me hacían sentir orgullo de lo que soy y de lo que les puedo enseñar, y deseo que algún día me convierta en esa fuerza para que puedan seguir avanzando en el camino.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, por brindarme la oportunidad de pertenecer a tan prestigiosa familia, ya que, por medio de los docentes, quienes transmitieron sus conocimiento y experiencias a su vez marcaron mi camino para formarme profesionalmente.

De manera especial a mi tutor de tesis, Ing. Cristian Pérez, quien confió en mis capacidades para desarrollar esta investigación que gracias a sus consejos y correcciones pude culminar mi trabajo.

Finalmente, a mis compañeros, y conocidos que me ayudaron a formarme no solo profesionalmente sino también como persona, e inculcar en mí, valores éticos como amistad, lealtad y honestidad.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO	iii
DERECHOS DEL AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN EJECUTIVO	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.2. Fundamentación Teórica	3
1.2.1. Materiales Compuestos	3
1.2.2. Diseño de experimentos (DOE)	20
1.2.3. Supuestos Paramétricos.....	24
1.2.4. Verificación de hipótesis.....	24
1.2.5. Degradación UV en polímeros.....	25
1.3. Objetivos	27
1.3.1. Objetivo General	27
1.3.2. Objetivos Específico	27
CAPÍTULO II	28
2. METODOLOGÍA	28
2.1. Materiales	28
2.2. Métodos	32
2.2.1. Nivel o tipo de investigación.....	32
2.2.2. Hipótesis.....	39
2.2.3. Señalamiento de variables de la hipótesis	39

2.3.	Operacionalización de variables.....	40
2.3.1.	Variable independiente: parámetros de corte.....	40
2.3.2.	Variable dependiente: calidad superficial	41
2.4.	Plan de recolección de información	42
2.4.1.	Documental	42
2.4.2.	Observación.....	42
2.5.	Plan de procesamiento y análisis.....	42
2.5.1.	Diagrama de procesos	42
2.5.2.	Procesamiento de la información recogida	45
2.5.3.	Análisis e interpretación de resultados.....	45
2.6.	Elaboración de muestras.....	45
2.6.1.	Especificación de fracción volumétrica	46
2.6.2.	Elaboración del material compuesto	50
2.6.3.	Acondicionamiento de las placas	53
2.7.	Mecanizado de las probetas.....	54
2.7.1.	Determinación de la rugosidad (Rz)	58
2.7.2.	Determinación del Factor de Delaminación (Fde y Fds).....	60
2.8.	Proceso de degradación UV	61
2.8.1.	Determinación de la resistencia a tracción.....	63
CAPÍTULO III.....		66
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
3.1.	Análisis e interpretación de resultados del proceso de mecanizado.....	66
3.1.1.	Análisis de la rugosidad superficial RZ	67
3.1.2.	Análisis del factor de delaminación del compuesto matriz poliéster y matriz epoxi reforzada con cascarilla de arroz.....	77
3.2.	Verificación de hipótesis	97
3.2.1.	Verificación de hipótesis para la rugosidad superficial (RZ).....	98

3.2.2.	Verificación de hipótesis para el Factor de delaminación de entrada ..	99
3.2.3.	Verificación de hipótesis para el Factor de delaminación de salida ..	100
CAPÍTULO IV		101
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
4.1.	Conclusiones	101
4.2.	Recomendaciones	102
4.3.	Referencias bibliográficas	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Representación de las partes de un material compuesto.....	4
Figura 1.2 Aplicaciones de los materiales compuestos en diversos sectores.....	4
Figura 1.3 Clasificación de los materiales compuestos	6
Figura 1.4 Orientación Unidireccional de las fibras continuas en un material compuesto	7
Figura 1.5 Alineación de las fibras en forma continua y discontinua (alineados y orientado al azar).....	7
Figura 1.6 Clasificación de las fibras naturales	12
Figura 1.7 Cascarilla de arroz	12
Figura 1.8 Proceso de ranurado.....	14
Figura 1.9 Representación de la V_c en el fresado de una superficie sólida	16
Figura 1.10 Velocidad de avance considerado en el fresado	17
Figura 1.11 a) Partes del rugosímetro involucrados en la medición superficial. b) Trayectoria a escala microscópica que recorre el diamante en la medición de la rugosidad.....	18
Figura 1.12 Rugosímetro Mitutoyo.....	18
Figura 1.13 Perfil de rugosidad superficial.....	19
Figura 1.14 Perfil de la rugosidad máxima R_z	19
Figura 1.15 Ilustración de puntos altos (R_e) y puntos mínimos (R_i) medidos desde el centro de referencia	20
Figura 1.16 Diagrama de análisis de superficie de respuesta para la rugosidad frente: (a) velocidad de corte vs velocidad de avance (b) velocidad de corte y profundidad de corte.....	22
Figura 1.17 Diseño de Box-Behnken para dos y tres factores	23
Figura 1.18 Puntos importantes que forman el DCC para 2 factores	24
Figura 1.19 Cámara con luz de arco de xenón modelo Q-Sun Xe-1	26
Figura 2.1 Diagrama de procesos para la obtención del material compuesto.....	44
Figura 2.2 Dimensiones de la plancha establecida para el material compuesto con resina poliéster y epoxi.....	46
Figura 2.3 Distribución gráfica de las posibles combinaciones de ranurado.....	55
Figura 2.4 Muestra para la medición de delaminación de entrada y salida del material compuesto	59

Figura 2.5 Muestras para la medición de la rugosidad	59
Figura 2.6 Identificación de una delaminación y porosidad en el material compuesto: a) delaminación, b) porosidad.....	60
Figura 2.7 Ubicación de muestras en la Cámara de arco de Xenón Q-SUN antes de ensayar.....	63
Figura 3.1 Análisis de varianza de valor ajustado vs residuos.....	68
Figura 3.2 Análisis de independencia de datos de orden de observación vs residuos	69
Figura 3.3 Análisis del Diagrama de Pareto de los efectos significativos para Rz...	69
Figura 3.4 Análisis de residuos de Rz: a) Gráfica de probabilidad de normalidad, b) Gráfica de residuos vs ajustes, c) Gráfica de frecuencias vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.....	70
Figura 3.5 Análisis de residuos de Rz: a) Gráfica de probabilidad de normalidad, b) Gráfica de residuos vs ajustes, c) Gráfica de frecuencias vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.....	71
Figura 3.6 Análisis Pareto de los efectos significativos para Rz del nuevo modelo.	72
Figura 3.7 Análisis de los efectos significativos de probabilidad normal de Rz.	72
Figura 3.8 Análisis de efectos principales para Rz.	73
Figura 3.9 Análisis de interacciones de Rz.	74
Figura 3.10 Superficie de respuesta para Rz vs V_c, V_f ; para resina Poliéster y la....	74
Figura 3.11 Análisis de superficie de respuesta para Rz vs V_c, V_f ; para resina Poliéster y la Fresa 107 D.	75
Figura 3.12 Análisis de superficie de respuesta para Rz vs V_c, V_f ; para resina Epoxi y la Fresa 103 S.	75
Figura 3.13 Análisis de superficie de respuesta para Rz vs V_c, V_f ; para resina Epoxi y la Fresa 107 D.	76
Figura 3.14 Análisis de optimización global de Rz.	76
Figura 3.15 Análisis de Pareto de los efectos significativos para el Fde.	77
Figura 3.16 Análisis de residuos de Fde: a) Gráfica de probabilidad de normalidad, b) Gráfica de residuos vs ajustes, c) Gráfica de frecuencias vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.....	78

Figura 3.17 Análisis de residuos de Fde, transformado: a) Gráfica de probabilidad de normalidad, b) Gráfica de residuos vs ajustes, c) Gráfica de frecuencias vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden	80
Figura 3.18 Análisis de Pareto de los efectos destacados para el Fde	80
Figura 3.19 Análisis de los efectos significativos para la probabilidad normal del Fde	81
Figura 3.20 Análisis de efectos principales del Fde.....	81
Figura 3.21 Análisis de interacciones del Fde.	82
Figura 3.22 Análisis de superficie del Fde vs V_c , V_f ; para resina Poliéster y la Fresa 103S.	83
Figura 3.23 Análisis de superficie del Fde vs V_c , V_f ; para resina Poliéster y la Fresa 107 D.....	83
Figura 3.24 Análisis de superficie del Fde vs V_c , V_f ; para resina Epoxi y la Fresa 103 S.	84
Figura 3.25 Análisis de superficie del Fde vs V_c , V_f ; para resina Epoxi y la Fresa 107 D.....	84
Figura 3.26 Análisis de los factores óptimos para obtener el Fde mínimo.....	85
Figura 3.27 Análisis de Pareto de los efectos para el Fds.....	86
Figura 3.28 Análisis de residuos de Fds: a) Gráfica de probabilidad de normalidad, b) Gráfica de residuos vs ajustes, c) Gráfica de frecuencias vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.....	86
Figura 3.29 Análisis de residuos de Fds transformado: a) Gráfica de probabilidad de normalidad, b) Gráfica de residuos vs ajustes, c) Gráfica de frecuencias vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden	88
Figura 3.30 Análisis de Pareto del nuevo modelo de los efectos destacados para el Fds	88
Figura 3.31 Análisis de los efectos significativos de probabilidad normal del Fds..	89
Figura 3.32 Análisis de efectos principales del Fds.....	90
Figura 3.33 Análisis de interacciones del Fds.....	90
Figura 3.34 Análisis de superficie del Fds vs V_c , V_f ; para resina Poliéster y la herramienta 103 S.	91
Figura 3.35 Análisis de superficie del Fds vs V_c , V_f ; para resina Poliéster y la herramienta 107 D.....	92

Figura 3.36 Análisis de superficie del Fds vs Vc , Vf ; para resina Epoxi y la herramienta 103 S.	92
Figura 3.37 Análisis de superficie del Fds vs Vc , Vf ; para resina Epoxi y la fresa 107 D.....	93
Figura 3.38 Análisis de optimización del Fds.....	93
Figura 3.39 Análisis de optimización global.	94
Figura 3.40 Resultado Final del comportamiento de las muestras RP+CA y RE+CA	96
Figura 3.41 Gráfica de distribución de la zona de aceptación o rechazo de H0	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Matrices poliméricas para materiales compuestos	8
Tabla 1.2 Comparación de propiedades típicas de la resina epoxi y poliéster usados en materiales compuestos	11
Tabla 1.3 Tipos de Ranurado	15
Tabla 1.4 Índices de radiación UV	26
Tabla 2.1 Descripción de materiales utilizados para la elaboración del compuesto .	28
Tabla 2.2 Tipos de herramientas utilizadas para el proceso de ranurado del material compuesto	30
Tabla 2.3 Característica del centro de mecanizado (CNC)	31
Tabla 2.4 Especificación técnica del rugosímetro utilizado para medir la rugosidad del material compuesto	31
Tabla 2.5 Especificación técnica del microscopio utilizado para medir la delaminación del material compuesto.	32
Tabla 2.6 Tipos de factores y niveles utilizados para la aplicación del DOE	34
Tabla 2.7 Matriz del Diseño Experimental	34
Tabla 2.8 Cuadro de resultado final de los factores involucrados del método experimental.....	37
Tabla 2.9 Combinaciones para ejecutar el proceso de ranurado en cada material (RP+CA y RE+CA)	37
Tabla 2.10 Combinaciones obtenidas para el ensayo de degradación UV en cámara de xenón.....	38
Tabla 2.11 Número de probetas obtenidas para el ensayo de tracción una vez aplicado en ensayo UV	39
Tabla 2.12 Variable independiente, parámetros de corte	40
Tabla 2.13 Variables dependientes, rugosidad Superficial y Delaminación.....	41
Tabla 2.14 Densidad de la fibra y resinas	47
Tabla 2.15 Resumen de la cantidad de refuerzo y resinas para el mecanizado.....	50
Tabla 2.16 Resumen de la cantidad de refuerzo y resina para ensayos de degradación UV y tracción	50
Tabla 2.17 Proceso de elaboración de las probetas por estratificación a compresión	51

Tabla 2.18 Planchas de material compuesto RE+CA y RP+CA para el proceso de ranurado y ensayos UV y tracción	54
Tabla 2.19 Parámetros de corte para las fresas 103 S y 107 D	55
Tabla 2.20 Proceso de mecanizado del material compuesto RP+CA y RE+CA	56
Tabla 2.21 Resultado del proceso de ranurado	58
Tabla 2.22 Identificación de nomenclatura para la medición de la delaminación	61
Tabla 2.23 Muestras generadas para ensayo de degradación UV en cámara de Xenón del material compuesto de RP+CA Y RP+CA	62
Tabla 2.24 Muestras generadas para ensayo de tracción después del ensayo de degradación UV en cámara de Xenón y muestras estándar del material compuesto de RP+CA Y RP+CA	63
Tabla 2.25 Resultados del ensayo de tracción del material compuesto	64
Tabla 3.1 Datos obtenidos del ensayo de tracción	66
Tabla 3.2 Verificación del supuesto de normalidad para la rugosidad RZ.....	67
Tabla 3.3 Resultados del análisis de ANOVA para la rugosidad Rz.	70
Tabla 3.4 Valores predichos del punto óptimo de la rugosidad Rz.....	77
Tabla 3.5 ANOVA para el Fde.....	79
Tabla 3.6 Valores predichos del punto óptimo del Fde.....	85
Tabla 3.7 ANOVA para el Fds.....	87
Tabla 3.8 Valores predichos del punto óptimo del Fds.....	94
Tabla 3.9 Valores predichos para el punto óptimo simultaneo.	95
Tabla 3.10 Resumen del valor-p del modelo de regresión lineal de la rugosidad.....	98
Tabla 3.11 Verificación de hipótesis para la rugosidad superficial (Rz)	99
Tabla 3.12 Resumen del P-valor del modelo de regresión lineal del Fde.....	99
Tabla 3.13 Verificación de hipótesis para el Fde	99
Tabla 3.14 Resumen del valor-p del modelo de regresión lineal del Fds	100
Tabla 3.15 Verificación de hipótesis para el Fds	100

RESUMEN EJECUTIVO

Actualmente el mecanizado de composites ha tomado especial importancia en la industria dedicada a la producción de componentes estructurales, sin embargo, debido a las características propias de dichos materiales se contempla sensibilidad especial para evaluar la calidad superficial, por ello como aporte al estudio del mecanizado de materiales compuestos, se desarrolló una investigación experimental enfocada al análisis del proceso de ranurado del material compuesto elaborado de matriz polimérica reforzada con cascarilla de arroz, mismo que puede ser de gran utilidad en la industria carrocera y en el área de construcción como reemplazo de la madera y yeso.

Para el desarrollo del ensayo de ranurado se empleó el método de superficie de respuesta basado en el diseño central compuesto, de donde se obtuvo 104 experimentos para evaluar la calidad superficial, Rugosidad y factor de delaminación (entrada y salida) dejado por el proceso de mecanizado.

A partir del análisis de varianza (ANOVA) se corroboró la adecuación del modelo experimental donde se determinó que el material óptimo para ejecutar un proceso de ranurado es el compuesto de RE+CA aplicando una velocidad de corte de 70 (//min), avance de 0,1 (mm/rev), trabajando con una herramienta 103 S, obteniéndose delaminación de entrada y salida mínima y rugosidad aceptable para dicho proceso.

Adicionalmente se desarrolló ensayos de degradación UV y tracción, para observar el comportamiento del compuesto, notando que el material compuesto de RP +CA expuesto a un intervalo de tiempo de exposición de 0, 50, 100, y 150 horas presentan aumento de resistencia a la tensión a diferencia del material compuesto de RE+CA que muestra una pérdida considerable de la propiedad mecánica.

ABSTRACT

Actually, the machining of composites has taken special importance in the industry dedicated to the production of structural components, however, due to the characteristics of these materials, a special sensitivity is observed to evaluate surface quality, so that as a contribution to the study of the machining of composite materials, an experimental research was developed focused on the analysis of the grooving process of the composite material made of polymer matrix reinforced with rice husk, which can be very useful in the bodywork industry and in the construction area as a replacement for wood and plaster.

For the development of the grooving test, the response surface method based on the central composite design was used, from which 104 experiments were obtained to evaluate the surface quality, roughness and delamination factor (input and output) left by the machining process.

From the analysis of variance (ANOVA) the adequacy of the experimental model was corroborated where it was determined that the optimum material to execute a grooving process is the compound of RE + CA applying a cutting speed of 70 (m / min), advance of 0.1 (mm / rev), working with a 103 S tool, obtaining minimum input and output delamination and acceptable roughness for said process.

In addition, tests of UV degradation and traction were developed to observe the behavior of the compound, noting that the RP + CA composite exposed to an exposure time interval of 0, 50, 100, and 150 hours exhibits increased resistance to tension unlike the composite material of RE + CA that shows a considerable loss of mechanical property.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

El presente trabajo experimental se fundamenta en la revisión de investigaciones relacionados al tema, donde se analiza información necesaria que es de gran aporte para ejecutar el proceso de ranurado en materiales compuestos.

En el estudio ejecutado por el ingeniero Lalaleo Galarza Edison Fernando de la Universidad Técnica de Ambato, en la Carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATIZ POLIESTER REFORZADA CON CASCARILLA DE ARROZ PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES”, en la cual obtuvo un material compuesto estableciendo una fracción volumétrica del 17% de Cascarilla de Arroz y 83% resina poliéster, favoreciendo de esta manera propiedades idóneas para ser utilizado como material alternativo esencialmente en el área de la construcción como reemplazo del cielo Razo.

Ajith Gopinath, M. Senthil Kumar, A. Elayaperumal, (2014), realizaron un estudio sobre “EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS ON MECHANICAL PROPERTIES OF JUTE FIBER REINFORCED COMPOSITES WITH POLYESTER AND EPOXI RESIN MATRICES”, establecieron una fracción volumétrica de 18% de fibra + 82% de resina epoxi y 18% de fibra + 82% de poliéster, donde apreciaron la resistencia a la tracción, compresión, flexión, al impacto y la dureza, concluyendo que el compuesto con matriz epoxi reforzado con fibra de yute mostro mejores propiedades mecánicas que el compuesto con yute-poliéster.

Santiago Córdoba, Daniel Peláez y Santiago Betancourt, desarrollaron un estudio experimental sobre la “INFLUENCIA DEL TIPO DE CARGA SOBRE EL MECANIZADO DE MATERIALES COMPUESTOS DE POLIÉSTER INSATURADO”, donde recomiendan parámetros adecuados como velocidad del

husillo de (6000-800) rpm, profundidad de corte de (1,5-3) mm con un avance de (400-800) mm/s.

Estudios similares sobre mecanizado de materiales compuestos realizado por Chegiani F., Mezghani S., El Mansori M. y Mkaddem A. (2015) con el tema “FIBER TYPE EFFECT ON TRIBOLOGICAL BEHAVIOR WHEN CUTTING NATURAL FIBER REINFORCED PLASTIC”, específico parámetros efectivos para el fresado en materiales compuestos; velocidad de avance “feed rate” 0,12 mm/diente, velocidad de corte “cutting speed” 47 m/min y profundidad de corte “depth of cut” de 1 mm, además asevera que la rugosidad superficial mecanizada se reduce linealmente con la rigidez de la fibra en escalas de sección transversal del haz de fibras.

De la misma manera el estudio realizado por Vásquez Manzano Edwin Patricio de la Universidad Técnica de Ambato, en la Carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “ANÁLISIS DEL PROCESO DE RANURADO EN MATERIALES COMPUESTOS: FIBRA NATURAL (FN)+FIBRA DE VIDRIO (FV)+RESINA POLIÉSTER Y FIBRA NATURAL (FN)+ RESINA POLIÉSTER”, donde obtiene dos materiales híbridos compuestos de matriz poliéster más fibra de vidrio más fibra natural (cabuya y abacá) y un compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de coco, con fracción volumétrica de 70% de matriz polimérica y 30 % de refuerzo, en la cual consigue analizar la rugosidad y delaminación de dichos compuestos, alcanzando resultados favorables para la velocidad de corte en un intervalo de (48 a 60) m/min, y velocidad de avance en (0,1 a 0,15) mm/ rev.

J. Nicholas, M. Mohamed, G. S. Dhaliwal, S. Anandan y K. Chandrashekhara bajo el tema “EFFECTES OF ACCELERATED ENVIRONMENTAL AGAING ON GLASS FIBER REINFORCED THERMOSET POLYURETHANE COMPOSITES”, en la cual se sometieron 70 muestras del material compuesto a una cámara QUV con bombillas Fluorescentes UVA-340, con una longitud de onda de corte solar de 295-365 nm a una irradiación de 0,89 W/m². Las mismas que fueron expuestas a exposición de rayos UV y humedad en 250,500,750 y 1000 horas. La cámara se operó bajo condiciones de ciclo de envejecimiento repetitivo de 8 h de exposición a UV a 60 °C en ambiente seco, con ciclo de condensación de 4 h a 50 °C sin radiación UV.

Estudio similar de López Julio con el tema “ESTUDIO DE LA FOTO DEGRADACIÓN DE RESINAS POLIÉSTER Y SU IMPACTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL GELCOAT”, para este caso se elaboraron 12 probetas, las mismas que fueron sometidas a un tratamiento térmico de 24 horas a 90 °C con el fin de que alcance su máxima dureza, el objetivo fue comparar las propiedades mecánicas en probetas con y sin envejecimiento por radiación ultravioleta para el caso del ensayo a tracción se sometieron 6 muestras a 42 días de exposición en la cual se obtuvo 43,94 MPa de resistencia a la tracción, en las probetas sometidas a envejecimiento acelerado la resistencia mecánica disminuyó 1,41MPa.

1.2.Fundamentación Teórica

Para este estudio se vio la necesidad de investigar diferentes fuentes como aporte para profundizar el conocimiento en lo que respecta a los materiales compuestos, procesos de mecanizado como el ranurado, ensayos de degradación UV y tracción, así como también se abordará temas como la rugosidad superficial y factor de delaminación, los mismos que se facilitará de libros, artículos científicos, tesis, normas siguiendo una secuencia de los temas como se presenta a continuación.

1.2.1. Materiales Compuestos

La ciencia aplicada en los materiales en la actualidad requiere materiales cada vez más sofisticados y especializados, es por ello que los materiales compuestos deben ser diseñados para alcanzar la mejor combinación tomando en cuenta las mejores características de cada componente. [1]

Los materiales compuestos se componen de un sistema de materiales constituido por una combinación a partir de dos o más micro-constituyentes que difieren en forma y composición química y que son esencialmente insolubles entre sí [2], los mismos que están constituidos de dos o más materiales constituyentes (matriz y fibra de refuerzo) que presentan propiedades físicas, mecánicas y químicas significativamente diferentes a los componentes individuales, estos compuestos constituyen refuerzo de fibra natural (coco, algodón, lino, etc.,) incorporado en matriz basada en polímeros o cerámico [3], como especifica la figura 1.1.

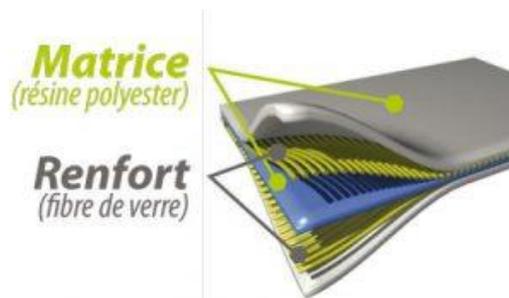


Figura 1.1 Representación de las partes de un material compuesto

Fuente: [4]

Los materiales compuestos para aplicaciones en ingeniería son provechosos, ya que han abierto gran campo en el área de la aeronáutica, navales militares, energética y especialmente en la automotriz, además, en la ingeniería metalúrgica y mecánica [5], presentando buena solución ante la utilización de materiales convencionales a base de combustibles fósiles. En la figura 1.2 se aprecia las diversas aplicaciones industriales que tienen los materiales compuestos en especial en la industria de la construcción, aeronáutica y automotriz que presentan un incremento considerable.

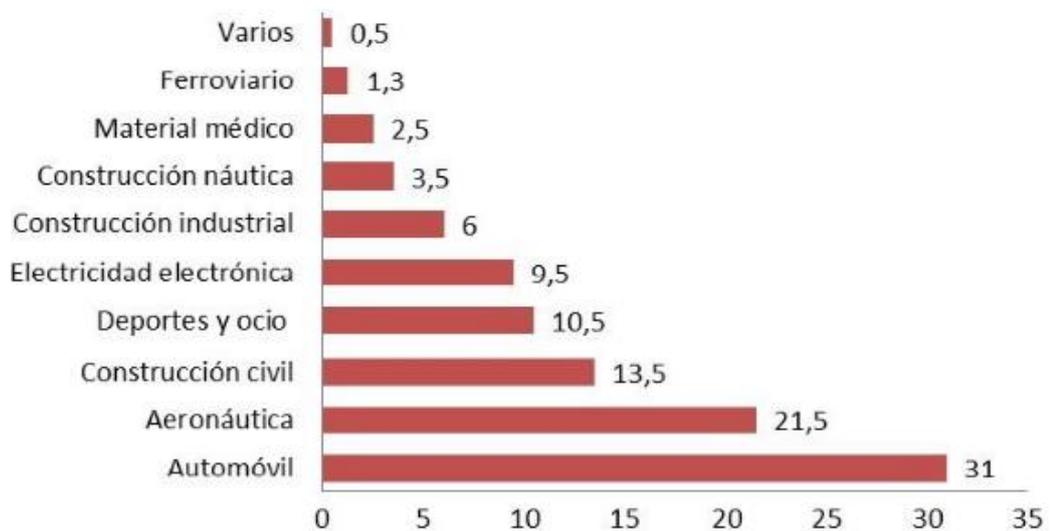


Figura 1.2 Aplicaciones de los materiales compuestos en diversos sectores

Fuente: [5].

1.2.1.1. Tipos de Materiales Compuestos

Los materiales compuestos en ingeniería generalmente se clasifican en función del tipo de matriz o refuerzo que se utilice [6].

1.2.1.1.1. En Función del tipo de matriz

Una de la clasificación más importante que se hace referencia en los materiales compuestos es especialmente de acuerdo a la matriz donde se distingue tres grupos que son [7]:

- **Material compuesto de matriz metálica:** se caracterizan por tener excelentes propiedades mecánicas como alta resistencia a la tensión y desgaste, algunas de las aplicaciones típicas son rodamientos, pistones de automóviles, camisa, anillos de pistones, bielas, contactos electrónicos deslizantes, impulsadores de turbo cargadores, estructuras espaciales [8]. Las principales matrices de metales comunes en aplicaciones estructurales incluyen aluminio, magnesio, cobre y titanio, mientras que para soldadura y soldadura fuerte se destaca la matriz de estaño y matriz de plata respectivamente [9].
- **Material compuesto de matriz cerámica:** por su reciente aparición en la industria, estos materiales ofrecen gran propiedades mecánicas como resistencia a la corrosión y a altas temperaturas, dureza, desgaste y alto módulo de elasticidad, tienen variedades aplicaciones en la industria automotriz, electrónica, mecánica y en la medicina como en implantes dentales y huesos sintéticos [10]. Las principales fibras utilizadas como refuerzo en estos materiales compuestos son de carburo de silicio y óxido de aluminio [7], incluyendo también nitruros, cabe recalcar que la introducción de la fibra de carbono a estos materiales ha demostrado tener excelentes resultados como en carburos, nitruros, oxido de magnesio reforzados con fibra de carbono, etc., sin embargo se debe evitar la utilización de la fibra de carbono en aplicaciones con altas temperaturas ya que tienden a degradarse al producir reacciones [10].
- **Material compuesto de matriz polimérica:** estos materiales están elaborados por resinas de matriz termoestables o termoplásticos reforzados con fibras que básicamente tienen mayor resistencia y rigidez que la matriz. Estos compuestos se caracterizan por ser más ligeros, resistentes y más rígidos que los polímeros no reforzados o metales convencionales. La fibra como material de refuerzo de alto rendimiento son de gran aceptación para aplicaciones militares y componentes aeroespaciales, que generalmente que incluyen fibras de carbono y orgánicas [6].

1.2.1.1.2. En función del tipo de refuerzo

Esta clasificación consta de tres grupos: reforzados con partículas, con fibras y estructurales. Cabe recalcar que en la actualidad se ha introducido un nuevo compuesto el cual se refiere al nano compuesto.

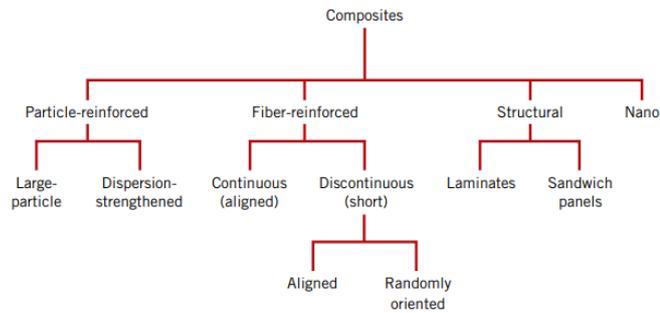


Figura 1.3 Clasificación de los materiales compuestos

Fuente: [1]

- **Compuesto reforzado con partículas**

Los materiales compuestos reforzados con partículas poseen propiedades mecánicas isotrópicas y están constituidos básicamente en las cuales el refuerzo en la matriz está en forma de partículas. La figura 1.3 mostrada anteriormente establece una subdivisión de compuestos con partículas largas y en compuestos consolidado por dispersión. Las partículas grandes son de un tamaño mayor a un micrómetro, por ejemplo, se utiliza en el hormigón y las partículas dispersas normalmente son de un diámetro de 10 -100 nm [11], [12].

- **Compuestos reforzados con fibras**

Este tipo de materiales se clasifica en compuestos con refuerzos continuos y compuestos con refuerzos discontinuos.

- a) **Materiales con refuerzo continuo:** los refuerzos continuos se caracterizan por tener mayor resistencia al estar orientadas unidireccionalmente, sin embargo, muestran baja resistencia en dirección perpendicular a la orientación de la fibra, los materiales compuestos con refuerzo continuo pueden tener propiedades anisotrópicas [13]. En comparación con otros tipos de refuerzos, los

compuestos reforzados con fibras continuas ofrecen la mejor combinación de resistencia y rigidez, además de tener una buena resistencia al aumento de temperatura [14], teniendo especial aplicación en la industria espacial o aeronáutica ya que además brinda bajo peso en el compuesto [15].

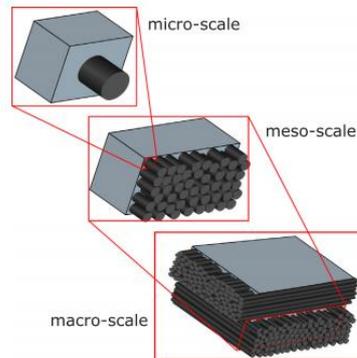


Figura 1.4 Orientación Unidireccional de las fibras continuas en un material compuesto

Fuente: [15]

- b) **Materiales con refuerzo discontinuo:** la principal característica de estos refuerzos es presentarse en forma de partículas, plaquetas, teniendo iguales dimensiones en ambos casos. Además, los podemos encontrar en forma de fibra discontinua o fibra corta en la cual su longitud es mayor a diferencia de la sección transversal. Estos tipos de materiales suelen utilizarse para aplicaciones donde requieren poca responsabilidad estructural [16]. En este grupo se puede encontrar al refuerzo ubicado linealmente y en forma aleatoria, como se aprecia en la figura 1.5.

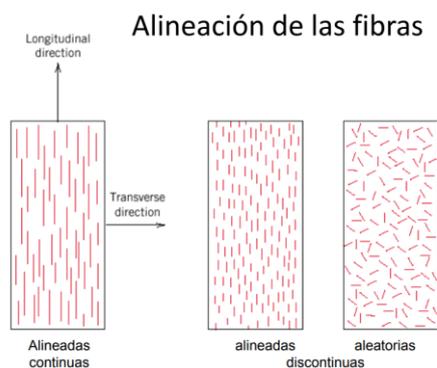


Figura 1.5 Alineación de las fibras en forma continua y discontinua (alineados y orientado al azar)

Fuente: [17]

En este trabajo experimental se hace mayor énfasis a los materiales compuestos con matriz polimérica termoestable, y el refuerzo utilizado puede considerarse como partículas grandes (cascarilla de arroz).

1.2.1.2. Componentes de los materiales compuestos

En los materiales compuestos se debe considerar dos fases constituyentes: una fase denominado matriz y otra llamada refuerzo. La matriz se define como el responsable que otorga propiedades físicas y químicas, pero además se encarga de transmitir los esfuerzos a los elementos del refuerzo. Por otro lado, el refuerzo es el elemento que proporciona las propiedades mecánicas al nuevo material compuesto [18].

Las matrices generalmente pueden ser metales o no metales, este último pueden considerarse como matrices poliméricas que incluyen resinas como poliéster y epoxi. Considerándose, además, a las cerámicas. A diferencia, del refuerzo que está constituido por fibras y/o partículas [19].

1.2.1.2.1. Matrices poliméricas

Son matrices no metálicas que están conformadas por resinas, muy apreciadas en aplicaciones donde demandan baja densidad, adecuadas propiedades a temperatura ambiente, facilidad de conformado y bajo costo [20]. En general, existe tres grupos de matrices poliméricas: termoestables, termoplásticas y elastómeras [11].

La tabla 1.1 describe ejemplos de los tipos de matrices poliméricas más comunes que se pueden encontrar en el mercado.

Tabla 1.1 Matrices poliméricas para materiales compuestos

Tipos	Ejemplos	
Termoestables	Polipropileno (PP) Poliamida (PA) Policarbonato (PC) Poliéster saturado (PET, PBT)	Poliacetales (POM) Polisulfonas (PSU) Polieteretercetonas (PEEK) Polímeros fluorados (PF)
Termoestables	Poliésteres insaturados (UP) Poliépoxis (EP)	Poliimididas (PI) Poliesterilpirioinas (PSP) Fenoplastos (PF)
Elastómeros	Poliuretanos (PU) Siliconas (SI)	

Fuente: [11]

Existen una variedad de resinas que se utilizan como matrices termoestables, si bien las resinas poliéster y epoxi son de mayor utilización en diversas aplicaciones industriales [11]. Puesto que, para este estudio se utilizará estos dos tipos de resina.

- **Resina poliéster**

La mayoría de este tipo de resina son insaturadas y representa el 75% del total de la resina utilizada en composites, generalmente son utilizadas en la industria marítima y automotriz. La resina poliéster insaturado es un termoestable, que puede curarse de estado líquido o sólido cuando es sometido a las condiciones adecuadas. A diferencia del poliéster saturado, no se puede curar de esta manera [21]. Los poliésteres insaturados son polímeros de condensación formados por la reacción de polioles y ácidos poli-carboxílicos, contribuyendo la instauración olefínica por uno de los reactivos que generalmente es el ácido [22].

En aplicaciones de ingeniería, especialmente en área de la construcción la resina poliéster es muy apreciada debido a que es mucho más económica, posee baja densidad y un periodo de curado relativamente corto, sin embargo, la resina poliéster tiene propiedades mecánicas más bajas que otros termoestables, resistencia a la intemperie inferior y alta contracción [23].

La formulación de la resina poliéster básicamente consiste en formar reacciones de poli-condensación entre dos monómeros que generalmente son ácido di-carboxílico y diol, de estos dos uno debe contener instauración. El polímero resultante se disuelve en un medio reactivo con el fin de disminuir la viscosidad de la resina y facilitar la impregnación. El encargado de producir el medio reactivo es el estireno que oscila en un porcentaje entre 40-45%, convirtiéndose en un medio promotor de la estructura reticulada rígida una vez iniciada la reacción de endurecimiento [20].

En el proceso de curado el material compuesto pasa de estado líquido a sólido generalmente este proceso se efectúa a temperatura ambiente, cuando el compuesto tiende a formarse gelatinoso.

Los sistemas de curado para este tipo de resinas consisten en un catalizador y un acelerador. En ausencia de este último la resina catalizada se puede curar

térmicamente, de lo contrario el curado de efectúa en frío o temperatura ambiente. Los catalizadores más frecuentes suelen ser los peróxidos; peróxido de metil etil cetona (**MEKP**) para curado en frío y el peróxido de benzoil (**BP**) para el curado en caliente [24].

Los compuestos elaborados con resinas poliéster frecuentemente son introducidos en cámaras de temperatura como tratamiento de post curado con el objetivo de eliminar el estireno producido durante la reacción de secado y así mejorar el rendimiento termo-mecánico [24].

Las propiedades de la resina poliéster es casi imposible definir debido a que existen una variedad de resinas ya que cada uno depende de las condiciones del fabricante, pero generalmente presenta baja temperatura de transición vitria, y su resistencia y rigidez no son muy elevadas. Durante el endurecimiento tienden a contraerse un 6 y 10 % [7].

- **Resina epoxi**

Es una resina termoestable especialmente utilizada en la industria de la construcción, en comparación con la resina poliéster tiene un uso muy especializado pero limitado. Son termoendurecibles que contienen en sus moléculas dos o varias funciones epoxídicas o glicídicas, se presenta en forma líquida más o menos viscosa que pueden transformarse en material solido infusible mediante la acción de endurecedores apropiados [25]

La resina epoxi presenta mejores propiedades que el poliéster, sin embargo, el proceso de curado es lento ya que llega alcanzar hasta dos horas en alcanzar el estado gelatinoso. [11]. Generalmente, tienen amplia aplicación para la fabricación de componentes de aviones por su buenas propiedades mecánicas y resistencia a la degradación ambiental, además, para la elaboración de embarcaciones ya que posee propiedades adhesivas y alta resistencia a la degradación de agua [21]. Además, se usa para recubrimiento, pinturas y como aislante eléctrico [26]

La formulación de la resina epoxi consiste un átomo de oxígeno unido a dos átomos de carbono ya unidos en cierta medida. Generalmente identificadas por su color ámbar

o marrón, y se curan rápida y fácilmente a cualquier temperatura entre 5 °C y 150 °C, según la elección del agente de curado (endurecedor). Sin embargo, en caso de alta viscosidad, pueden requerirse etapas de postcurado para obtener propiedades finales [21].

Las propiedades de la resina epoxi difieren a la poliéster, puesto que posee gran resistencia a altas temperaturas, buena adherencia a muchos sustratos y baja contracción durante la polimerización [25]. Sin embargo, es importante identificar las propiedades que presentan estos dos tipos de resina, mostrado en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Comparación de propiedades típicas de la resina epoxi y poliéster usados en materiales compuestos

Propiedad	Resina epoxi	Resina poliéster
Densidad g/cm^3	1,1-1,4	1,2-1,5
Módulo de Young GN/m^2	3-6	2-4,5
Relación de Poisson	0,38-0,4	0,37-0,39
Resistencia a la tracción MN/m^2	35-100	40-90
Elongación a la ruptura %	1-6	2
Temperatura de distorsión por calor °C	50-300	50-110
Contracción de curado %	1-2	4-8

Fuente: [27]

1.2.1.3. Fibras Naturales

Las fibras naturales extraídas principalmente de las plantas consisten esencialmente en celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina y otras sustancias cerosas. En aplicaciones diversas se utiliza como refuerzos en compuestos termoplásticos y termoestables [28]. Al combinarse con una matriz polimérica las fibras naturales reduce el bajo costo de la resina, de esta manera mejora tanto la resistencia como la rigidez en los compuestos. Sin embargo, uno de los mayores inconvenientes de estas fibras es que sus propiedades dependen del lugar donde se cultivan, de que planta se obtiene, la madurez, o de qué forma se recolecta, si son cortas, tejidas o no. Estos factores varían las propiedades a comparación de las fibras sintéticas (vidrio, arámdia y carbono) [29]. Un ejemplo de fibras más utilizadas en aplicaciones industriales, en especial para estructuras automovilísticas livianas; es el yute, kenaf, algodón, coco, entre otras [30]. Pero, además, en la actualidad se amplía el uso de la cascarilla de arroz en el área de la construcción como reemplazo de la madera en California [29].

1.2.1.3.1. Clasificación de las Fibras Naturales

La clasificación general de las fibras naturales se describe en la figura 1.6 donde se distinguen a las fibras de origen vegetal, animal y mineral.

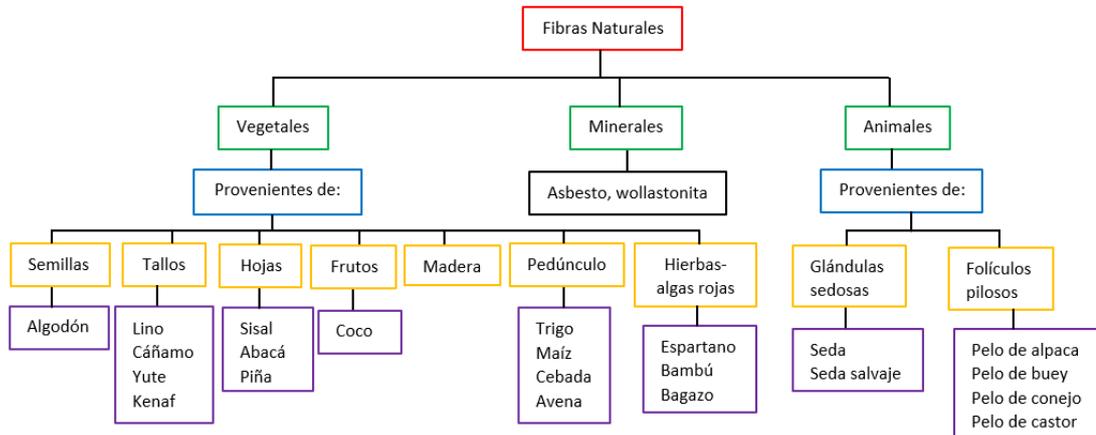


Figura 1.6 Clasificación de las fibras naturales

Fuente: [31]

1.2.1.4. Refuerzo “Cascarilla de Arroz”

La cascarilla de arroz es un residuo orgánico importante en la industria de molienda de arroz y biomasa basada en la agricultura. Es una fibra vegetal que contiene aproximadamente un 40 % de celulosa, 20 % de sílice en forma amorfa y 30 % de grupo de lignina. Además, consta de 60-65% de material volátil, 10-15% de carbono fijo y 17-23% de ceniza, su peso unitario oscila entre 83 a 125 Kg/m³ y es capaz de absorber agua en un rango de 5 a 16% del peso unitario [32].



Figura 1.7 Cascarilla de arroz

Fuente: Autor

La mayor producción de cascarilla de arroz se encuentra en la provincia de Guayas con un rendimiento que alcanza los 4,34 Tm/Ha. Entre las principales características de esta fibra se encuentran la longitud comprendida entre 5 y 11 mm, el ancho entre 2 y 4 mm y una dureza en la escala de Mohs igual a 6; su aspecto superficial es irregular, su estructura ondulada y presenta propiedades altamente abrasivas. [33] [34]

El uso de la cascara de arroz a diferencia que las fibras de madera, es mucho más barata en la producción de bio-compuestos, puesto que, existe producción abundante y se ahorraría los recursos de la madera y petróleo, además, puede usarse en compuestos de matrices termoestables y termoplásticos. Su principal aplicación está dirigida al área de la construcción y específicamente a la fabricación de tableros [35].

1.2.1.5.Mecanizado de los materiales compuestos

Los materiales compuestos pueden ser fabricados por diversos procesos ya sea por devanado de filamentos, colocación manual, por agitación, moldeo por compresión etc., los mismos que después de la fabricación esencialmente requieren ser mecanizados para facilitar el control de medidas y garantizar un montaje preciso y aspectos funcionales [36]. Además, determinar la calidad superficial o transversal que dejan al momento de un proceso de mecanizado.

El mecanizado de materiales se conoce como el proceso de manufactura que se realiza por eliminación o arranque de viruta del material por medios mecánicos y con utilización de herramientas de filo. [37].

Los principales procesos estimados en el mecanizado de materiales por arranque de viruta que comúnmente se puede efectuar en materiales compuestos o convencionales son:

- Fresado (ranurado)
- Taladrado
- Torneado

En procesos de manufactura se distingue de manera especial al fresado y taladrado como operaciones más habituales en los materiales compuestos, mediante la ejecución de corte oblicuo [37].

1.2.1.5.1. Ranurado de los materiales compuestos

En el proceso de ranurado de esta investigación se analizará la influencia de los parámetros de corte tanto como la velocidad de corte y avance, cabe mencionar que la profundidad de corte está fijada de acuerdo al espesor de la probeta (12 mm).

El ranurado es un proceso en el cual se efectúa surcos longitudinal o agujeros alargados sobre una superficie sólida, como se describe en la figura 1.8, con el propósito de generar un ajuste al contorno final, el proceso se ejecuta mediante herramientas de alta velocidad en este caso se utilizaran fresas que representa gran beneficio a la pieza mecanizada [38].

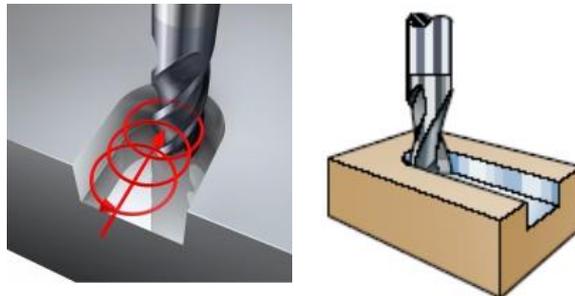


Figura 1.8 Proceso de ranurado

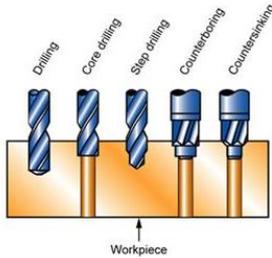
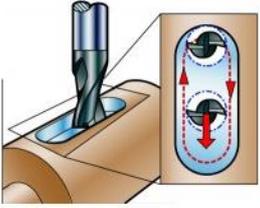
Fuente: [39]

El ranurado de materiales compuestos es considerado una operación muy importante en el ensamble de partes y piezas, pero, existen inconvenientes al momento de evaluar la calidad superficial debido a la falta de homogeneidad de las fibras y características anisotrópicas del material, uno de estos inconvenientes es la delaminación y rugosidad que afectan seriamente en el funcionamiento de piezas mecánicas. [40] que presenta un daño superficial a la geometría mecanizada

1.2.1.5.1.1. Tipos de ranurado

Según la forma geométrica de las ranuras se puede distinguir cuatro tipos de ranuras, tales como: ranuras en T, surcos rectangulares, ranura de cola de milano y surcos en forma de diente [38]. Además, según el tipo de fresado que se utiliza en procesos de manufactura se distinguen el ranurado recto, de forma y de chaveteros [41], como se puede apreciar en la tabla 1.3

Tabla 1.3 Tipos de Ranurado

Tipo de ranura	Definición	Gráfico
Recto	Para esta operación se utilizan fresas cilíndricas con ancho de la ranura, se caracterizan porque tiene tres aristas de corte una lateral y dos laterales.	
De forma	Para este caso se usa fresas adecuadas para el ranurado, estas pueden ser mediante la utilización herramientas en forma de T o de cola de milano.	
Chaveteros	En este tipo de ranura se utiliza fresas tipo cilíndricas con mangos denominadas también como bailarinas	

Fuente: [42]

1.2.1.5.1.2.Herramientas de corte para el mecanizado de ranurado

Para operaciones donde se requiere conformar, vaciar, acanalar ranurar en metales blandos, plásticos y maderas es recomendable la utilización de fresas de alta velocidad, donde el factor más importante es la herramienta. Las características más importantes en la descripción de las fresas es el diámetro, número de dientes, el material con que están constituidos y el diámetro de mando o agujero interno para la instalación en la fresadora [43].

En el ranurado generalmente las fresas más comunes son: fresas de disco, planas, cilíndricas, tangenciales y de periferia. Las herramientas especialmente usadas para el proceso de mecanizado de las ranuras en el material compuesto de este trabajo experimental son exclusivamente para material compuesto específicamente fresas de metal duro para composites. Las comunes son:

Diamante poli cristalino (PCD): posee una increíble resistencia al desgaste y baja conductividad térmica, pero son muy frágiles, las temperaturas de corte no deben exceder los 600 °C y no es recomendable en materiales tenaces [44].

Carburos de metal duro o cementados: las principales son las elaboradas a base de carburo de tungsteno, titanio, tantalio y niobio; cuyo componente principal son las partículas de carburo con un volumen que varía entre el 60 y 95% [44].

Las fresas de carburo de tungsteno contienen una dureza especial y básicamente cuenta con un rectificado único, además, de un diseño especial con múltiples hélices capaz cortar todo tipo de materiales compuestos, incluyendo fibra de vidrio. Contienen un recubrimiento de AlTiN y trabajan a una temperatura de corte entre 90 y 135 °C [45].

Otros tipos de fresas que se utilizan son los carburos cementados recubiertos, cerámicos aceros y aceros rápido.

1.2.1.5.1.3. Parámetros de corte para el ranurado

Al hacer mención a la velocidad de corte, de avance y profundidad de corte, hacemos referencia a los parámetros funcionales de mecanizado; especificando que no es aconsejable utilizar refrigerante en el mecanizado del material compuesto puesto que, puede producirse alteraciones dimensionales en las piezas, además, de modificar las propiedades mecánicas [46].

- **Velocidad de corte:** definida teóricamente como la velocidad recíproca entre la superficie de trabajo y el ángulo de corte de la herramienta; es un parámetro que depende directamente de la velocidad de husillo empleada y del diámetro de corte real [47] [48].

Velocidad de corte en el fresado

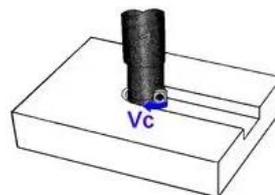


Figura 1.9 Representación de la V_c en el fresado de una superficie sólida

Fuente: [47]

La ecuación 1 establecida por [48], permite calcular la velocidad de corte en el proceso de mecanizado.

$$V_c = \frac{\pi * DC_{cap} * n}{1000} \quad Ec. 1$$

Donde: V_c es la velocidad de corte en m/min, n es la velocidad del husillo en rpm y DC_{cap} es el diámetro real en mm.

- **Velocidad de husillo:** es la velocidad generada por el número de vueltas que realiza la herramienta sobre el husillo en cada minuto, puede ser calculada a partir de la velocidad de corte mediante la ecuación 2 [48].

$$n = \frac{V_c * 1000}{\pi * DC_{cap}} \quad Ec. 2$$

- **Avance por minuto (V_f):** conocido como avance de la mesa de la maquina o velocidad de avance expresada en mm/min, tiene que ver con el desplazamiento que efectúa la herramienta con respecto a la pieza de trabajo, está en función con el avance por diente f_z , además, con el número de dientes de la fresa z_n [48].



Figura 1.10 Velocidad de avance considerado en el fresado

Fuente: [47]

$$V_f = f_z * n * z_n \quad Ec. 3$$

1.2.1.6. Rugosidad de los materiales compuestos

La rugosidad superficial es un parámetro importante que hay que tomar en cuenta después de ejecutar un proceso de fabricación, ya que afecta al comportamiento

tribológico de las superficies [49], porque influye directamente a la calidad de ajuste, tolerancia y fricción entre los elementos, reduciendo al rendimiento funcional de la piezas mecánicas y como consecuencia conlleva a costes, que pueden perjudicar a la industria [40].

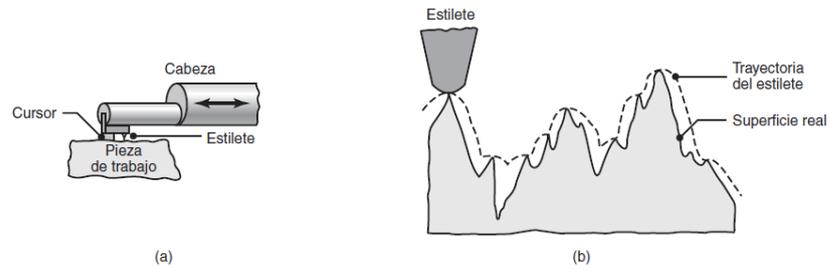


Figura 1.11 a) Partes del rugosímetro involucrados en la medición superficial. b) Trayectoria a escala microscópica que recorre el diamante en la medición de la rugosidad

Fuente: [50]

Para medir la rugosidad en la superficie de la pieza mecánica generalmente se utiliza un instrumento palpador de contacto denominados perfilómetros o rugosímetros palpador de $10\ \mu\text{m}$ de diámetro, que tiene la facilidad de desplazarse linealmente sobre la superficie de la pieza a medir, el desplazamiento es de 0,8 a 2,5 mm, sin embargo en aplicaciones en ingeniería este desplazamiento generalmente es de 0,8 mm [50].



Figura 1.12 Rugosímetro Mitutoyo

Fuente: Autor

La rugosidad transversal depende de la geometría de la herramienta y deja de lado la orientación de las fibras; tomando valores superiores a los de la rugosidad longitudinal, mismos que a su vez dependen de las condiciones de corte apreciadas en el mecanizado [51].

Los parámetros más utilizados en ingeniería es la rugosidad media R_a y rugosidad máxima de 5 picos altos y 5 picos bajos R_z .

1.2.1.6.1. Rugosidad media (R_a)

La rugosidad media según la ISO-1302 se determina sobre una longitud definida por el instrumento de medida, como se aprecia en la figura 1.13.

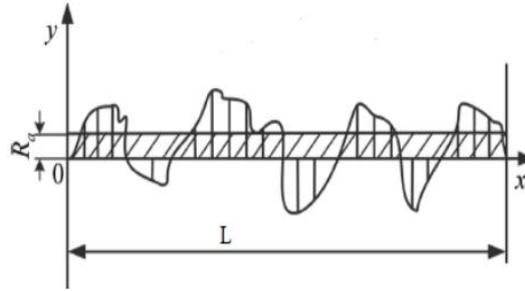


Figura 1.13 Perfil de rugosidad superficial

Fuente: [52]

La expresión establecida por [52], nos permite determinar la rugosidad media promedio (R_a), que se obtiene directamente de los instrumentos de medición.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde: R_a es la rugosidad media aritmética, L es la longitud de la medición, y es la altura de la rugosidad de la línea de referencia y x es la dirección del perfil.

1.2.1.6.2. Rugosidad máxima (R_z)

La rugosidad R_z es la mediación de cinco puntos de altura y profundidad máxima medido en una determinada longitud [53], como se puede apreciar en la figura 1.13.

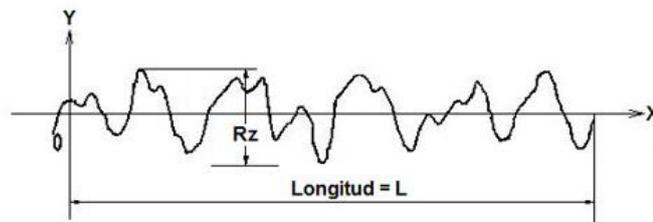


Figura 1.14 Perfil de la rugosidad máxima R_z

Fuente: [53]

La expresión sugerida por [53] permite determinar **Rz** que está en función por **Rt**.

$$R_z = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L R_t$$

Dónde: **Rt** es la rugosidad total, que a su vez es la suma de la altura máxima desde el centro (**Re**) más la altura mínima (**Ri**), es que es medido en una determinada longitud.

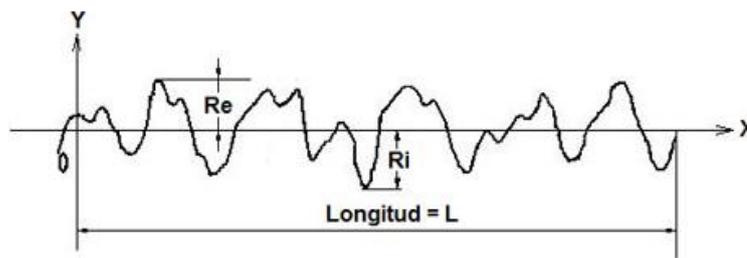


Figura 1.15 Ilustración de puntos altos (**Re**) y puntos mínimos (**Ri**) medidos desde el centro de referencia

Fuente: [53]

1.2.1.7. Delaminación en materiales compuestos

En relación al mecanizado de materiales compuestos el factor más crítico es la delaminación, ya que puede deteriorar gravemente el rendimiento mecánico de los mismos durante el servicio. Además, de reducir la calidad superficial del elemento de trabajo y de acarrear una pérdida de propiedades mecánicas [54] [55].

Para determinar el factor de delaminación en el proceso de ranurado generado por el arranque de viruta se calcula con la ecuación tomado de [55] .

$$F_d = \frac{W_{max}}{W} \quad Ec. 4$$

Donde, **F_d** es el factor de delaminación, **W_{max}** es el espacio máximo de daño y **W** es el ancho nominal de corte.

1.2.2. Diseño de experimentos (DOE)

El diseño de experimentos se compone de métodos estadísticos cuya finalidad es asignar tratamientos experimentales a las muestras en estudio, inspeccionando la

manera de suprimir los efectos de selección para cuantificar el error experimental. Al aplicar los diseños experimentales en el campo industrial, es posible obtener la mayor cantidad necesaria de información con costos mínimos y con mejor eficiencia [56].

El diseño experimental abarca diferentes tipos de diseños, pero los más importantes aplicados en ingeniería son:

- Diseño completamente aleatorizado
- Diseño completo en bloques al azar
- Diseños factoriales
- Método de superficie de respuesta
- Taguchi

De manera particular, para el análisis de datos en la presente investigación se utiliza el Método de Superficie de Respuesta.

1.2.2.1. Método de superficie de respuesta

Conocido por sus siglas (MSR), está vinculado a las técnicas matemáticas y estadísticas usadas para ajustar y analizar el problema en los que una variable de interés es influenciada por otras, cuyo objetivo es optimizar la variable de interés [57].

En el MSR los niveles pertinentes de cada factor se limitan en la región experimental, además, la región de operabilidad, se forman con las posibles combinaciones de las condiciones o tratamientos de un proceso en particular [58].

1.2.2.1.1. Análisis del diseño de superficie de respuesta

El análisis por superficie de respuesta permite la identificación de factores significativos en cada fase, en la cual se realiza una adecuación del modelo y determina la dirección donde se encuentra las condiciones óptimas de experimentación, que particularmente para identificar la mayor influencia que tiene cada factor en la respuesta y examinar la bondad del ajuste del modelo se utiliza el análisis de varianza, a partir de esto se determina la dirección en la cual se encuentra la región óptima mediante el método de máxima pendiente, y de forma particular aceptar o rechazar la hipótesis establecida en la investigación [59].

En la figura 1.16 se representa un análisis efectuado por el diseño de superficie de respuesta donde considerando factores como la velocidad de corte y avance se establece la calidad superficial del mecanizado de un material compuesto en función de la rugosidad obtenida.

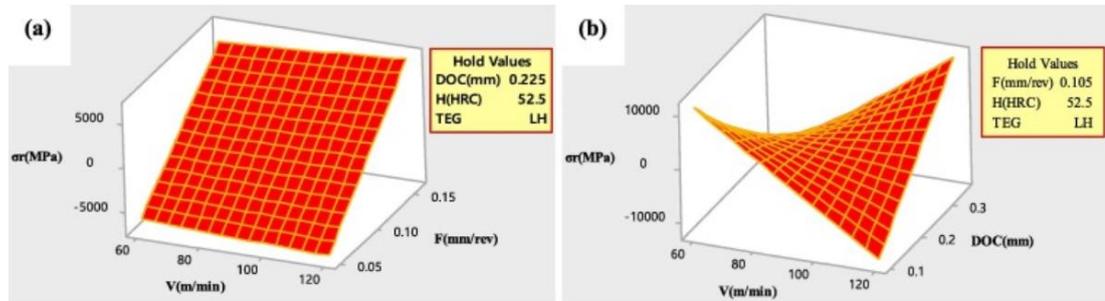


Figura 1.16 Diagrama de análisis de superficie de respuesta para la rugosidad frente: (a) velocidad de corte vs velocidad de avance (b) velocidad de corte y profundidad de corte

Fuente: [60]

Para efectuar el punto óptimo en las superficies de respuestas generadas por el MSR se distinguen tres etapas básicas, las cuales son:

- **Cribado:** se aplica cuando existen más de 6 u 8 factores y que influyen en la variable de interés, y que mediante un diseño precedente se detecta la curvatura de los datos [58].
- **Búsqueda de primer orden:** se aplica cuando existen menos de 5 factores y por ende influyen en la variable de respuesta [58].
- **Búsqueda de segundo orden:** se detecta la existencia de curvas en el que se completa un diseño de segundo orden para definir mejor el área de respuesta y modelar la curva [58].

Los modelos manejados en la superficie de respuesta son básicamente polinomios, puesto que, si se tiene k factores el modelo de primer orden esta expresado por la ecuación 5, que se traducen por:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i * x_i + \varepsilon \quad \text{Ec. 5}$$

Para el modelo de segundo orden se puede expresarse particularmente por:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i * x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} * x_i * x_j + \varepsilon \quad \text{Ec. 6}$$

Usualmente en el diseño de segundo orden se establece dos diseños recomendados, que son el diseño de “Box-Behnken” y el “Diseño Central Compuesto o de composición central”.

- **Box-Behnken:** es un diseño empleado por el método de superficie de respuesta, donde los puntos de tratamiento están limitados sobre una esfera con un punto central y puntos medios. Este diseño es aplicado en procesos físicos y químicos. El número de experimentos es considerado de acuerdo a las exigencias del proceso [61].

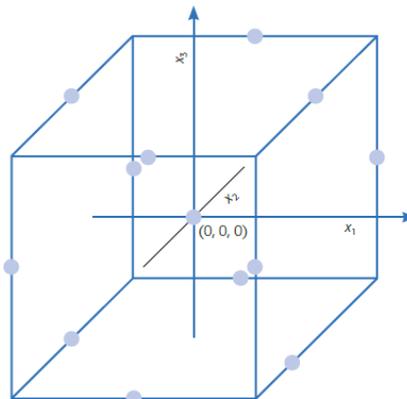


Figura 1.17 Diseño de Box-Behnken para dos y tres factores

Fuente: [58]

- **Central compuesto:** este tipo de diseño se caracteriza porque tienen tratamientos factoriales 2^k , dependiendo de α en los puntos axiales este puede contener diferentes propiedades como ortogonalidad, rotabilidad y uniformidad. La rotabilidad se puede expresar como $\alpha = (2^k)^{1/4}$, α va a variar dependiendo de las réplicas del diseño. [59]

Cabe recalcar que en el DCC se estima tres tipos de puntos importantes, las cuales forman este diseño: puntos de porción factorial, puntos centrales y puntos de porción axial.

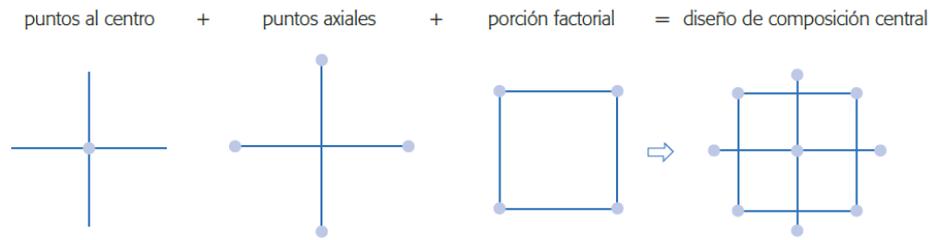


Figura 1.18 Puntos importantes que forman el DCC para 2 factores

Fuente: [58]

1.2.3. Supuestos Paramétricos

Generalmente para la aplicación de las pruebas paramétricas se debe tener en cuenta los criterios del cumplimiento de los supuestos del modelo experimental, es decir que los resultados en cada tratamiento deben tener distribución normal, igualdad de varianzas e independencia de residuos, este último por lo general se cumple al momento que las corridas experimentales se ejecutan aleatorizando los datos [58].

1.2.4. Verificación de hipótesis

La afirmación sobre los valores sobre los parámetros de una población o proceso se efectúa mediante la hipótesis, que es susceptible a probarse a partir de la información contenida en una muestra significativa que es obtenida de la población la misma que viene expresada como [58]:

H_0 : Hipótesis nula

H_1 : Hipótesis alternativa

La significancia predefinida se denota con α , que viene a ser el riesgo máximo que el investigador está dispuesto a correr para rechazar H_0 y por lo general está en un valor de $\alpha = 0,05$ ó $0,01$. En cambio, la significancia calculada u observada, P-valor es el área bajo la distribución de referencia más allá del valor del estadístico de prueba [58].

Los criterios de aceptación o rechazo de la hipótesis nula se basan cuando el p-valor cumple con las siguientes criterios, conociendo que el nivel de significancia α es del 5%.

$P - \text{valor} \geq \alpha, \text{aceptar } H_0$

$P - \text{valor} \leq \alpha, \text{aceptar } H_1$

1.2.5. Degradación UV en polímeros

Se entiende por degradación de los polímeros a la transformación que afecta la composición original del compuesto y repercute en sus propiedades y presentaciones iniciales estos cambios inestables pueden ser cambios físicos (descoloración) y químicos (roturas de enlace), además, afecta a las propiedades mecánicas [62].

1.2.5.1.1. Tipos de degradación

Se puede mencionar los diferentes tipos de degradación UV.

- **Exposición a la intemperie:** se presenta cuando los materiales son expuestos a condiciones ambientales tales como el calor, lluvia, polvo, con la desventaja que este puede tomar días, semanas, meses e incluso hasta años [63].
- **Exposición a radiación UV:** se trata de un proceso donde las muestras experimentales se exponen a envejecimiento acelerado en cámaras de luz de arco de xenón, que emiten radiación de luz solar en el rango de (300-400 nm), además, tienen la capacidad de simular exposición a la luz diurna, ciclos de oscuridad y lluvia [63]. Estos ensayos se rigen la norma ASTM D 5071-06, (Práctica estándar para la exposición de plásticos fotodegradables en un aparato de arco de xenón) pero en la actualidad, también se puede utilizar la UNE-EN-ISO-4892-1:2017.
- **Exposición a degradación térmica:** este proceso se ejecuta en una estufa programable a temperatura de 63 °C, usando cámara de envejecimiento, acorde a la norma ASTM D 6954-04, (Guía Estándar para Exposición y Ensayo de Plásticos que se Degradan en el Ambiente por una Combinación de Oxidación y Biodegradación) [63].

Cabe recalcar que las resinas poliéster curadas son susceptibles a sufrir por la radiación UV, dando como resultado la descoloración de la resina a un color amarillento, y en casos extremos una coloración parduzca. Además, las resinas insaturadas halogenadas son más sensibles a los rayos UV que los tipos no halogenados [64].

1.2.5.1.2. Índice de UV.

La tabla 1.4 establece la forma de evaluar el índice de degradación mediante diferentes colores.

Tabla 1.4 Índices de radiación UV

Color	Riesgo	Índice UV
 Verde	Bajo	< 0 – 2
 Amarillo	Moderado	3 – 5
 Naranja	Alto	6 – 7
 Rojo	Muy alto	8 – 10
 Morado	Extremadamente alto	> 11

Fuente: [65]

1.2.5.1.3. Cámara de luz de arco de xenón

Este tipo de cámaras de cámara de luz de arco de xenón modelo Q-Sun Xe-1 produce los daños causados por la radiación solar d espectro completo y por la lluvia, en pocos días o semanas, además, producen daños en las probetas ensayadas por meses o incluso años a la intemperie [66].

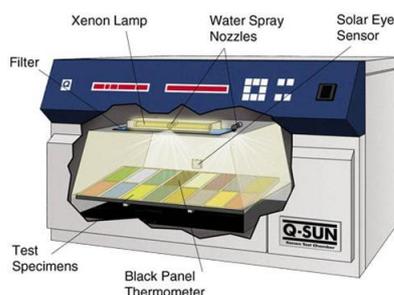


Figura 1.19 Cámara con luz de arco de xenón modelo Q-Sun Xe-1

Fuente: [66]

1.2.6. Ensayo de tracción de materiales compuestos

El ensayo a tracción tiene como propósito evaluar el esfuerzo máximo a la tracción y porcentaje de elongación a la ruptura del material, el mismo que se realiza bajo consideración de la norma ASTM-D 3039-08, mediante el empleo de una máquina de

ensayo universal para polímeros Metrotest, modelo MTE-50, generalmente aplica una fuerza de 50 KN en materiales polímeros, cerámicos y compuestos, al caracterizar dichos materiales se obtiene las siguientes propiedades:

- Esfuerzo máximo a la tracción: carga máxima permisible por la probeta al aplicar una fuerza.
- Módulo de elasticidad: relacionada con la tensión y la deformación unitaria
- Elongación: mayor alargamiento plástico que alcanza las probetas

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Analizar el proceso de ranurado del material compuesto de matriz polimérica con resina epoxi y poliéster reforzado con cascarilla de arroz.

1.3.2. Objetivos Específico

- Determinar el modelo experimental de indagación del proceso de ranurado del material compuesto.
- Elaborar las muestras de los materiales compuestos de resina epóxica mas cascarilla de arroz y resina poliéster más cascarilla de arroz.
- Realizar pruebas experimentales modificando los parámetros en el ranurado como velocidad de corte y avance.
- Evaluar la rugosidad y delaminación superficial utilizando factores convencionales para cada tipo.
- Efectuar ensayos de degradación UV y tracción al material compuesto bajo la norma UNE-EN-ISO-4892-1:2017 y ASTM D 3039-08 respectivamente.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

- **Materiales y Equipos utilizados**

Los Materiales utilizados para la elaboración del material compuesto aplicando el método por estratificación a compresión se especifica en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Descripción de materiales utilizados para la elaboración del compuesto

Designación	Descripción	Ilustración
Cascarilla de arroz	Es una fibra natural generalmente corta con longitud variable de 5 a 11 mm, ancho de 2-4 mm, de estructura ondulada u superficie irregular.	
Molde de madera	Es un componente esencial para la elaboración del compuesto, que consta de tres piezas, la tapa, base, el marco con espesores de 2,5 (tapa y base) y 1,2 cm respectivamente, con las medidas establecidas para el material compuesto (490x350x12mm)	
Resina poliéster (RP)	La resina poliéster insaturado generalmente se utiliza para fabricar composites con fibras naturales y sintéticas, generalmente son de coloración	

	marrón o rosado, dependiendo del área de aplicación	
Peróxido- MEKP (Peróxido de Metil Etil Cetano)	Se emplea generalmente para el curado a temperatura ambiente de materiales compuestos con resinas poliéster insaturados	
Resina epóxica (RE)	Es una resina para aplicaciones especiales en la industria aeronáutica y marina, básicamente para la elaboración de materiales compuestos se utiliza un componente A y componente B.	
Cera desmoldante	La cera desmoldante elaborada a base de caras vegetales y minerales tiene amplia utilización para el desmolde de piezas elaborados con resinas y fibras.	
Guaípe	Utilizado para la aplicación de la cera desmoldante y limpieza del molde	
Balanza electrónica	Equipo utilizado para pesar la cantidad de masa del refuerzo y la resina en la elaboración del material de acuerdo a las fracciones volumétricas pertinentes	

Equipos de seguridad personal	<ul style="list-style-type: none"> • El mandil protege el cuerpo del contacto directo con las resinas y otras sumancias. • Los guantes protegen el contacto directo de las manos de las de resina utilizado en la elaboración de material compuesto. • La mascarilla bloquea la inhalación directa de los fuertes olores de las resinas en especial del MEKP 	
-------------------------------	---	---

Fuente: Autor

- **Herramientas**

Tabla 2.2 Tipos de herramientas utilizadas para el proceso de ranurado del material compuesto

Especificación de la herramienta para el proceso de ranurado			
Designación	Descripción	Diámetro	Ilustración
103-S-1001025-72	Fresa de metal duro para aplicaciones de aleaciones ligeras, composites y plásticos, de 5 dientes helicoidales a 45 ° C	10 mm	
107-D-10X30X72	Fresa 107-Dentado en forma de Diamante con corte frontal de 10mm de diámetro	10 mm	

Fuente: Autor

- **Máquina**

Las máquinas y equipos utilizados durante el proceso de mecanizado y posteriormente para las mediciones de la rugosidad y delaminación de entrada y salida se especifican las características técnicas en las tablas 2.3, 2.4 y 2.5 respectivamente.

Tabla 2.3 Característica del centro de mecanizado (CNC)

Especificación del centro de mecanizado	
Modelo	M-1000 "TRAVIS"
Voltaje	220V.
Potencia	Motor principal (continuo/ 30 minutos) 15/25 HP
Revoluciones	0-8000 Revoluciones
Mesa de trabajo	1200x505 mm



Fuente: Autor

- **Equipos**

Tabla 2.4 Especificación técnica del rugosímetro utilizado para medir la rugosidad del material compuesto

Especificación técnicas del Rugosímetro	
Modelo	Mitutoyo SJ-210
Rango de medición	17,5 mm
Velocidad de medición	0,25; 0,5; 0,75 mm/ s -1 mm/s (vuelta)
Rango detector	3600 um (-200 micrómetros a 160 micras)
Palpador de radio de punta	2 micras
Material del palpador	Diamante
Suministro de energía con adaptador	9V: 500 mA
Rango de temperatura de operación:	5 C-40 C



Fuente: Autor

Tabla 2.5 Especificación técnica del microscopio utilizado para medir la delaminación del material compuesto.

Especificación técnicas del microscopio	
Modelo	1000-X
Material	Plástico
Sensor	CMOS
Optical Zoom	Superior a 40x
Tubo enfocador	Monocular
Fuente de alimentación	Puerto USB (5 VCC)
Accesorios	Galga de calibración



Fuente: Autor

2.2.Métodos

2.2.1. Nivel o tipo de investigación

Para el presente estudio experimental se vio la necesidad de emplear los siguientes niveles de investigación.

2.2.1.1. Investigación exploratoria

Este tipo de investigación se basa en la recopilación de investigaciones previas semejantes al tema de investigación, el cual permite considerar las variables de investigación como los parámetros de mecanizado (V_c y V_f), fracción volumétrica, utilizado en composites con los cuales se obtuvieron buenos resultados en el estudio con el fin dar solución a tema de investigación.

2.2.1.2. Investigación descriptiva

Con este método se puede determinar datos en términos cuantitativos y cualitativos como son el número de probetas para en estudio, parámetros de corte, propiedades mecánicas necesario para el experimento.

2.2.1.3. Investigación bibliográfica

Permite una amplia recaudación de información por lo cual está dirigido a la investigación fuentes confiables como: artículos técnicos, libros páginas web, trabajos de titulación, etc., los mismos que se encuentren familiarizados con el mecanizado de

materiales compuestos, donde se enfatizara sobre los parámetros de corte sugeridos para lograr un acabado superficial de calidad tras un proceso de ranurado.

2.2.1.4. Investigación experimental

Este tipo de investigación analiza el efecto producido por la acción o manipulación de uno o más variables, sean estas dependiente o independientes con el fin de observar las consecuencias causadas por los efectos de medición.

2.2.2. Población y muestra

2.2.2.1. Población

Se constituido por las probetas o planchas de material compuesto de matriz polimérica con resina poliéster y epoxi reforzado con cascarilla de arroz. Para lo cual se estima una fracción volumétrica del 17 % de refuerzo y 83% de matriz, la misma que se obtuvo buenos resultados en [20] realizando ensayos de tracción, flexión e impacto. Las planchas (490x350x12 mm) se obtendrán mediante estratificación a compresión, que se someterán al proceso de ranurado, además, como un aporte al tema de estudio se ejecutarán ensayo de degradación acelerada en cámaras de arco de xenón que posteriormente serán expuestas al ensayo de tracción cuyas dimensiones se establecerán planchas de (420x250x3,2 mm), esto con el propósito de obtener propiedades mecánicas adicionales y observar el comportamiento del material compuesto ante efectos de degradación.

2.2.2.2. Muestra

La muestra estimada para el trabajo experimental se basa en la aplicación del diseño experimental (DOE), basado en el Método de Análisis de Respuesta de Superficie, del tipo Central compuesto, el cual nos permitirá analizar la influencia de los parámetros de mecanizado de la rugosidad superficial y factor delaminación, para lo cual se apreció los respectivos factores y niveles como se muestra en la tabla 2.6.

- **Método de análisis de superficie de respuesta**

Para la aplicación de este método se determinó dos factores continuos o cuantitativos (V_c , V_f) y dos factores categóricos o cualitativos (Tipo de herramienta y tipo de resina.

- **Proceso de Ranurado**

Tabla 2.6 Tipos de factores y niveles utilizados para la aplicación del DOE

Tipos de factores	Factores	Niveles	
Cuantitativos	Velocidad de corte (V_c)	Bajo	70 mm/ min
		Medio	57,5 mm/ min
		Alto	45 m/ min
	Velocidad de avance (V_f)	Bajo	0,1 mm/rev
		Medio	0,125 mm/rev
		Alto	0,15 mm/rev
Cualitativos	Tipo de herramienta	$(Fresa_1)$: 103 S-1001025-72	
		$(Fresa_2)$: 107 D-10X30X72	
	Tipo de resina	(R_p) :Poliéster	
		(R_E) : Epoxi	

Fuente: Autor

- **Resultado del método**

Para obtener el número total de corridas experimentales generado por el Método de superficie de respuestas, ya que por la existencia de dos factores continuos el desarrollo se orientó por el diseño central compuesto debido a que este tipo de diseño nos permite trabajar desde dos factores continuos (velocidad de corte y avance) en adelante como mínimo, además, no se desea obtener un punto axial, pero, si puntos centrales para estimar la existencia de curvatura en el diseño, que permitirán apreciar la variación de los parámetros de mecanizado.

Tabla 2.7 Matriz del Diseño Experimental

Orden Estadístico	Orden Corrida	Tipo Punto	V_c m/min	V_f min/rev	Resinas	Herramienta (Fresas)
1	1	1	45	0,1	Poliéster	103-S
2	2	1	70	0,1	Poliéster	103-S
3	3	1	45	0,15	Poliéster	103-S
4	4	1	70	0,15	Poliéster	103-S
5	5	-1	45	0,125	Poliéster	103-S
6	6	-1	70	0,125	Poliéster	103-S
7	7	-1	57,5	0,1	Poliéster	103-S
8	8	-1	57,5	0,15	Poliéster	103-S
9	9	0	57,5	0,125	Poliéster	103-S
10	10	0	57,5	0,125	Poliéster	103-S
11	11	0	57,5	0,125	Poliéster	103-S
d	12	0	57,5	0,125	Poliéster	103-S

13	13	0	57,5	0,125	Poliéster	103-S
14	14	1	45	0,1	Epoxi	103-S
15	15	1	70	0,1	Epoxi	103-S
16	16	1	45	0,15	Epoxi	103-S
17	17	1	70	0,15	Epoxi	103-S
18	18	-1	45	0,125	Epoxi	103-S
19	19	-1	70	0,125	Epoxi	103-S
20	20	-1	57,5	0,1	Epoxi	103-S
21	21	-1	57,5	0,15	Epoxi	103-S
22	22	0	57,5	0,125	Epoxi	103-S
23	23	0	57,5	0,125	Epoxi	103-S
24	24	0	57,5	0,125	Epoxi	103-S
25	25	0	57,5	0,125	Epoxi	103-S
26	26	0	57,5	0,125	Epoxi	103-S
27	27	1	45	0,1	Poliéster	107-D
28	28	1	70	0,1	Poliéster	107-D
29	29	1	45	0,15	Poliéster	107-D
30	30	1	70	0,15	Poliéster	107-D
31	31	-1	45	0,125	Poliéster	107-D
32	32	-1	70	0,125	Poliéster	107-D
33	33	-1	57,5	0,1	Poliéster	107-D
34	34	-1	57,5	0,15	Poliéster	107-D
35	35	0	57,5	0,125	Poliéster	107-D
36	36	0	57,5	0,125	Poliéster	107-D
37	37	0	57,5	0,125	Poliéster	107-D
38	38	0	57,5	0,125	Poliéster	107-D
39	39	0	57,5	0,125	Poliéster	107-D
40	40	1	45	0,1	Epoxi	107-D
41	41	1	70	0,1	Epoxi	107-D
42	42	1	45	0,15	Epoxi	107-D
43	43	1	70	0,15	Epoxi	107-D
44	44	-1	45	0,125	Epoxi	107-D
45	45	-1	70	0,125	Epoxi	107-D
46	46	-1	57,5	0,1	Epoxi	107-D
47	47	-1	57,5	0,15	Epoxi	107-D
48	48	0	57,5	0,125	Epoxi	107-D
49	49	0	57,5	0,125	Epoxi	107-D
50	50	0	57,5	0,125	Epoxi	107-D
51	51	0	57,5	0,125	Epoxi	107-D
52	52	0	57,5	0,125	Epoxi	107-D
53	53	1	45	0,1	Poliéster	103-S
54	54	1	70	0,1	Poliéster	103-S
55	55	1	45	0,15	Poliéster	103-S
56	56	1	70	0,15	Poliéster	103-S

57	57	-1	45	0,125	Poliéster	103-S
58	58	-1	70	0,125	Poliéster	103-S
59	59	-1	57,5	0,1	Poliéster	103-S
60	60	-1	57,5	0,15	Poliéster	103-S
61	61	0	57,5	0,125	Poliéster	103-S
62	62	0	57,5	0,125	Poliéster	103-S
63	63	0	57,5	0,125	Poliéster	103-S
64	64	0	57,5	0,125	Poliéster	103-S
65	65	0	57,5	0,125	Poliéster	103-S
66	66	1	45	0,1	Epoxi	103-S
67	67	1	70	0,1	Epoxi	103-S
68	68	1	45	0,15	Epoxi	103-S
69	69	1	70	0,15	Epoxi	103-S
70	70	-1	45	0,125	Epoxi	103-S
71	71	-1	70	0,125	Epoxi	103-S
72	72	-1	57,5	0,1	Epoxi	103-S
73	73	-1	57,5	0,15	Epoxi	103-S
74	74	0	57,5	0,125	Epoxi	103-S
75	75	0	57,5	0,125	Epoxi	103-S
76	76	0	57,5	0,125	Epoxi	103-S
77	77	0	57,5	0,125	Epoxi	103-S
78	78	0	57,5	0,125	Epoxi	103-S
79	79	1	45	0,1	Poliéster	107-D
80	80	1	70	0,1	Poliéster	107-D
81	81	1	45	0,15	Poliéster	107-D
82	82	1	70	0,15	Poliéster	107-D
83	83	-1	45	0,125	Poliéster	107-D
84	84	-1	70	0,125	Poliéster	107-D
85	85	-1	57,5	0,1	Poliéster	107-D
86	86	-1	57,5	0,15	Poliéster	107-D
87	87	0	57,5	0,125	Poliéster	107-D
88	88	0	57,5	0,125	Poliéster	107-D
89	89	0	57,5	0,125	Poliéster	107-D
90	90	0	57,5	0,125	Poliéster	107-D
91	91	0	57,5	0,125	Poliéster	107-D
92	92	1	45	0,1	Epoxi	107-D
93	93	1	70	0,1	Epoxi	107-D
94	94	1	45	0,15	Epoxi	107-D
95	95	1	70	0,15	Epoxi	107-D
96	96	-1	45	0,125	Epoxi	107-D
97	97	-1	70	0,125	Epoxi	107-D
98	98	-1	57,5	0,1	Epoxi	107-D
99	99	-1	57,5	0,15	Epoxi	107-D
100	100	0	57,5	0,125	Epoxi	107-D

101	101	0	57,5	0,125	Epoxi	107-D
102	102	0	57,5	0,125	Epoxi	107-D
103	103	0	57,5	0,125	Epoxi	107-D
104	104	0	57,5	0,125	Epoxi	107-D

Fuente: Autor

En la tabla 2.7 se especifica la matriz de diseño ordenada obtenido al crear el Método de Superficie de Respuesta, una vez introducido los factores mostradas en la tabla 2.6, esto, con el propósito de facilitar el proceso de mecanizado, cabe recalcar que para realizar el análisis experimental de los datos es importante aleatorizar los mismos para de esta manera considerar la eliminación de la variabilidad por factores que no se están o no se pueden controlar

Tabla 2.8 Cuadro de resultado final de los factores involucrados del método experimental

Diseño Central Compuesto			
Factores	4	Réplicas	2
Corridas base	52	Total de corridas	104
Bloques base	1	Total de bloques	1
Factorial de dos niveles		Factorial completo	
Puntos del cubo		32	
Puntos centrales en el cubo		40	
Puntos axiales		32	
Puntos centrales en axial		0	
α		1	

Fuente: Autor

En la tabla 2.9 se establece la combinación de los parámetros de corte y avance desarrollado por las pruebas experimentales donde se observa 9 combinaciones y 5 puntos centrales definiendo así 13 combinaciones en total, por cada herramienta estableciendo corridas aleatorizadas para un análisis veras de los datos.

Tabla 2.9 Combinaciones para ejecutar el proceso de ranurado en cada material (RP+CA y RE+CA)

Combinaciones	Tipo-Fresa	Combinaciones	Tipo-Fresa
1	70/0,1/103-S	1	70/0,1/107-D
2	70/0,125/10-S	2	70/0,12,5/107-D
3	70/0,15/103-S	3	70/0,15/107-D
4	57,5/0,1/103-S	4	57,5/0,1/107-D
5	57,5/0,125/103-S	5	57,5/0,125/107-D
6	57,5/0,125/103-S	6	57,5/0,125/107-D
7	57,5/0,125/103-S	7	57,5/0,125/107-D
8	57,5/0,125/103-S	8	57,5/0,125/107-D

9	57,5/0,125/103-S	9	57,5/0,125/107-D
10	57,5/0,15/103-S	10	57,5/0,15/107-D
11	45/0,1/103-S	11	45/0,1/107-D
12	45/0,125/103-S	12	45/0,125/107-D
13	45/0,15/103-S	13	45/0,15/107-D

Fuente: Autor

Adicionalmente al proceso de ranurado se realizan ensayos de degradación UV y tracción bajo norma establecida a continuación en los siguientes apartados, con el propósito de obtener propiedades adicionales al proceso de mecanizado para incorporar los materiales compuestos analizados en el estudio en el campo industrial

- **Ensayo de degradación UV en cámara de Xenón**

En cuanto a la aplicación del ensayo de degradación UV en cámara de xenón. Este ensayo se ejecutó tomando en consideración la norma ASTM D 5071-06, (Práctica estándar para la exposición de plásticos fotodegradables en un aparato de arco de xenón”) así mismo la UNE-EN-ISO-4892-1:2017, para los cuales se determinó las siguientes muestras como se especifica en la siguiente tabla 2.10.

Tabla 2.10 Combinaciones obtenidas para el ensayo de degradación UV en cámara de xenón

Ensayo UV en cámara de xenón					
Refuerzo	Matriz	50 horas	100 horas	150 horas	Total
CA	RP	3	3	3	9
	RE	3	3	3	9
Total					18

Fuente: Autor

CA: cascarilla de arroz

RP: resina poliéster

RE: resina epoxi.

- **Ensayo de tracción**

El siguiente ensayo a tracción se ejecutará una vez aplicado los ensayos UV, teniendo en cuenta la norma “ASTM D3039-2015”, mediante el empleo de una máquina de ensayo universal para polímeros Metrotest, modelo MTE-50, serie 8210M002, a una

velocidad de ensayo de 10 mm/min, con una carga o fuerza máxima de recomendado de 50KN. Las dimensiones de las probetas según la norma son de 3,2x25x250 mm

Tabla 2.11 Número de probetas obtenidas para el ensayo de tracción una vez aplicado en ensayo UV

Exposición UV	Refuerzo	Fracción Volumétrica	Matriz		Total
			RP	RE	
50 horas	CA	Matriz: 83%	3	3	6
100 horas			3	3	6
150 horas		Refuerzo: 17%	3	3	6
Total					18

Fuente: Autor

La norma establece un número mínimo de probetas estándar para la aplicación del ensayo de tracción, así, que se consideró 5 probetas de material compuesto de matriz poliéster y 5 probetas con matriz epoxi.

2.2.2. Hipótesis

La variación de los parámetros de corte (V_c y V_f) y el tipo de herramienta usados en el mecanizado del material compuesto: matriz polimérica de resina poliéster y epóxica más cascarilla de arroz influye en la rugosidad y delaminación del material.

2.2.3. Señalamiento de variables de la hipótesis

2.2.3.1. Variable independiente

Variación de los parámetros de corte y tipo de herramienta en los dos tipos de material compuesto.

2.2.3.2. Variable dependiente.

Rugosidad y delaminación

2.3.Operacionalización de variables

2.3.1. Variable independiente: parámetros de corte

Tabla 2.12 Variable independiente, parámetros de corte

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Herramienta
El ranurado es un proceso de mecanizado que consiste en realizar un surcamiento o acanalamiento sobre un elemento solido mediante la utilización de herramientas de filo lateral de alta velocidad.	Parámetros de corte indicado	Velocidad de corte (V_c)	<ul style="list-style-type: none"> • Baja: 45 m/min • Media: 57,5 m/min • Alta:70 m/min 	Registro de datos Cuaderno de datos Método DOE
		Velocidad de avance (V_f)	<ul style="list-style-type: none"> • Baja: 0,1 min/rev • Media: 0,125 min/rev • Alta: 0,15 min/rev 	Investigación bibliográfica
	Herramienta de ranurado	Tipos de fresas	<ul style="list-style-type: none"> • 103-S-1001025-72 (10 mm) • 107 -D-10X30X72 (10 mm) 	Observación Ficha técnica Catálogos Investigación bibliográfica

Fuente: Autor

2.3.2. Variable dependiente: calidad superficial

Tabla 2.13 Variables dependientes, rugosidad Superficial y Delaminación

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Herramienta
La calidad superficial está considerada como un conjunto de imperfecciones presentes en la superficies de los elementos que fueron sometidos a los procesos de mecanizado una vez terminada la operación [50].	Rugosidad superficial	Rugosidad superficial	¿Cuál será la rugosidad optima R_z ?	Investigación bibliográfica Registro de datos Rugosímetro
	Delaminación superficial	Factor de Delaminación	¿Cuál será el factor de Delaminación (Fd_e y Fd_s) ? optima?	Recolección de datos Aplicación de formulas

Fuente: Autor

2.4. Plan de recolección de información

2.4.1. Documental

Se dio mediante la revisión pertinentes de libros, artículos de revista, páginas web y tesis con el fin de obtener un procedimiento adecuado para los ensayos del material compuesto.

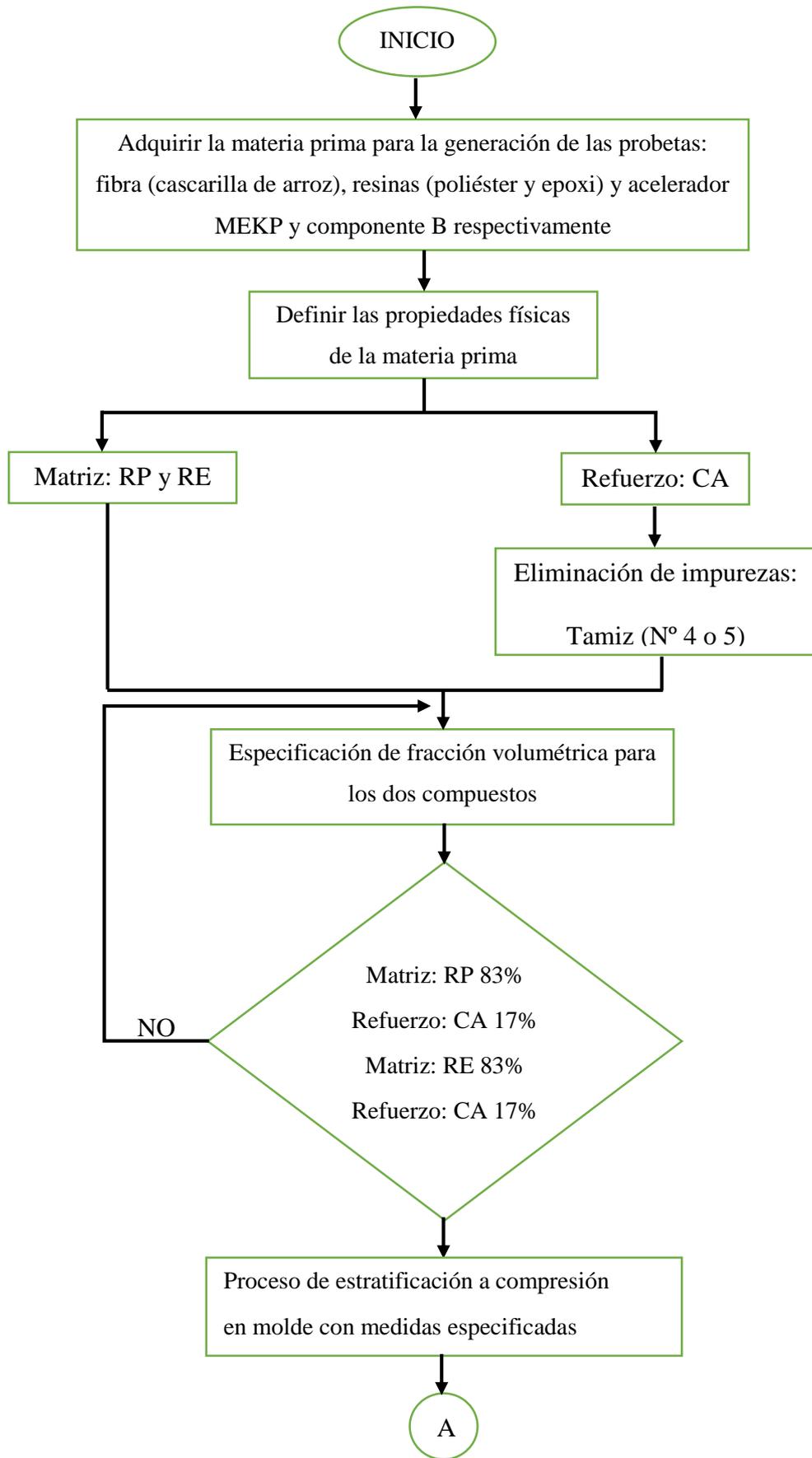
2.4.2. Observación

Los pertinentes ensayos sean estos de la medición de la rugosidad, factor de delaminación, ensayos UV y ensayos mecánicos se registran en tablas y gráficas para facilidad de análisis.

2.5. Plan de procesamiento y análisis

2.5.1. Diagrama de procesos

Todo el proceso que se llevará a cabo para la realización del trabajo experimental se describe en el siguiente diagrama de procesos, mostrada en la figura 2.1, el cual detalla ordenadamente el proceso de obtención del material hasta el análisis de los resultados y verificación de hipótesis.



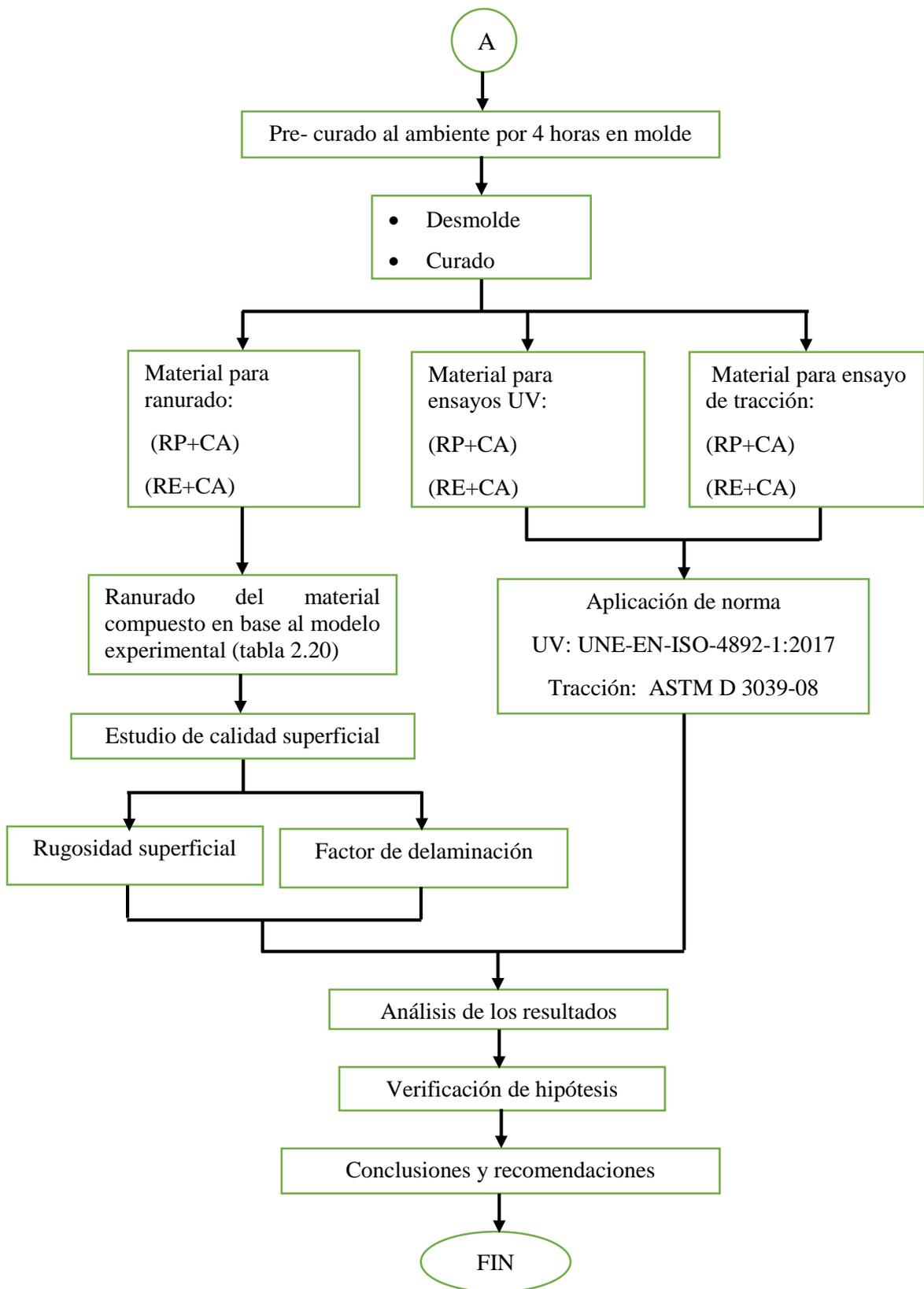


Figura 2.1 Diagrama de procesos para la obtención del material compuesto

Fuente: Autor

2.5.2. Procesamiento de la información recogida

Con el fin de facilitar el análisis de la hipótesis planteada el registro y procesamiento obtenido en los diferentes ensayos de las probetas se registrarán en tablas, fotos y fichas técnicas.

2.5.3. Análisis e interpretación de resultados

Los datos conseguidos en las mediciones de la rugosidad superficial y factor de delaminación, se analizarán estadísticamente comparando entre la matriz polimérica poliéster más cascarilla de arroz y matriz polimérica epoxi más cascarilla de arroz, para analizar la influencia de los parámetros de mecanizado y así validar la hipótesis. Mientras que, los ensayos UV y mecánicos se analizará a través de gráficas y se analizará el comportamiento de la resistencia en los diferentes tiempos de exposición ensayados.

2.6. Elaboración de muestras

Con una fracción volumétrica correspondiente al 83% de matriz polimérica y un refuerzo del 17% se elaboró un material compuesto elaborado con matriz polimérica y cascarilla de arroz [20], ya que, mediante ensayos de tracción, flexión e impacto se obtuvo mejores propiedades mecánicas con un porcentaje de aceptación del 90,91 % en comparación con otras fracciones volumétricas. Cabe recalcar, que para establecer el volumen requerido se deben tomar en consideración ciertos parámetros importantes como:

- Dimensiones de la plancha del material compuesto, para ejecutar el proceso de mecanizado y los ensayos a tracción y UV.
- Pérdidas del volumen de la resina al momento de ejecutar el proceso de preparación u aplicación del molde.
- El espacio disponible del molde para obtención de las diferentes muestras.

Material para ranurado

Tomando en cuenta los apartados anteriores, se determina las respectivas dimensiones para la obtención del material compuesto de 490 mm de largo, 350mm de ancho y 12

mm de espesor, como se muestra en la siguiente figura 2.2, donde se va ejecutar el proceso de ranurado.

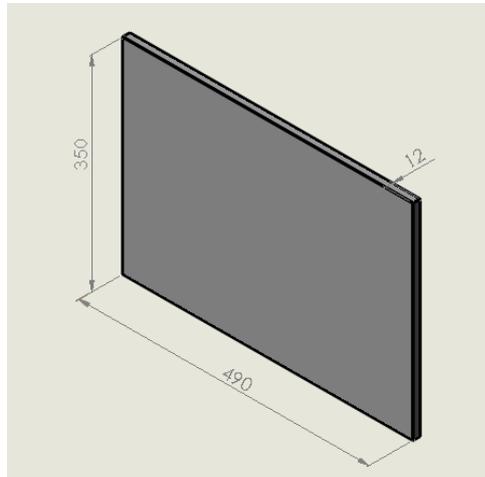


Figura 2.2 Dimensiones de la plancha establecida para el material compuesto con resina poliéster y epoxi

Fuente: Autor

- **Volumen requerido para el molde**

$$V_{requerido} = \text{largo} * \text{ancho} * \text{espesor}$$

$$V_{requerido} = 490 \times 350 \times 12$$

$$V_{requerido} = 2058000 \text{ mm}^3$$

$$V_{requerido} = 2058 \text{ cm}^3$$

El volumen total requerido para elaborar la plancha del material compuesto para la matriz polimérica reforzado con cascarilla de arroz es de 2058 cm^3

2.6.1. Especificación de fracción volumétrica

Masa de Refuerzo y Matriz polimérica

Los datos como la densidad de la cascarilla y la resina poliéster y epoxi se obtuvo de [20] y [27], respectivamente.

Tabla 2.14 Densidad de la fibra y resinas

Densidad	g/cm ³
Poliéster	1,27
Epoxi	1,3
Cascarilla de arroz	0,75

fracción volumétrica de la cascarilla: 17% = 0,17

fracción volumétrica de la matriz: 83% = 0,83

- **Volumen de la matriz (resina poliéster)**

$$V_{requerido} = 2058 \text{ cm}^3$$

fracción volumétrica de la matriz = 0,83

$$V_{Matriz P} = V_{requerido} * 0,83$$

$$V_{Matriz P} = 2058 * 0,83$$

$$V_{Matriz P} = 1708,14 \text{ cm}^3$$

- **Masa de la matriz**

$$masa_{Matriz P} = \delta * V_{Matriz P}$$

$$masa_{Matriz P} = 1,27 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 1708,14 \text{ cm}^3$$

$$masa_{Matriz P} = 2169,34 \text{ g}$$

Este es el volumen necesario para realizar la plancha de material compuesto, además se necesita de agregar a la resina el catalizador MEKP, cantidad que se requiere como mínimo de 0,01 kg por cada kg de resina, cantidad que se utilizó para el proceso.

- **Masa de la Refuerzo (cascarilla de arroz)**

$$V_{requerido} = 2058 \text{ cm}^3$$

fracción volumétrica de la cascailla de arroz = 0,17

$$V_{\text{Refuerzo}} = V_{\text{requerido}} * 0,17$$

$$V_{\text{Refuerzo}} = 2058 \times 0,17$$

$$V_{\text{Refuerzo}} = 349,86 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\text{masa}_{\text{refuerzo}} = \rho_f \times V_{\text{refuerzo}}$$

$$\text{masa}_{\text{refuerzo}} = 0,75 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 349,86 \text{ cm}^3$$

$$\text{masa}_{\text{refuerzo}} = 262,395 \text{ g}$$

- **Volumen de la matriz (resina epoxi)**

$$V_{\text{requerido}} = 2058 \text{ cm}^3$$

$$\text{fracción volumétrica de la matriz} = 0,83$$

$$V_{\text{Matriz E}} = V_{\text{requerido}} * 0,83$$

$$V_{\text{Matriz E}} = 2058 \times 0,83$$

$$V_{\text{Matriz E}} = 1708,14 \text{ cm}^3$$

- **Masa de la matriz**

$$\text{masa}_{\text{Matriz E}} = \delta * V_{\text{Matriz E}}$$

$$\text{masa}_{\text{Matriz E}} = 1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 1708,14 \text{ cm}^3$$

$$\text{masa}_{\text{Matriz E}} = 2220,582 \text{ g}$$

- **Masa del Refuerzo (cascarilla de arroz)**

$$V_{\text{requerido}} = 2058 \text{ cm}^3$$

fracción volumétrica de la cascailla de arroz = 0,17

$$V_{Refuerzo} = V_{requerido} * 0,17$$

$$V_{Refuerzo} = 2058x0,17$$

$$V_{Refuerzo} = 349,86 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$masa_{refuerzo} = \rho_f x V_{refuerzo}$$

$$masa_{refuerzo} = 0,75 \frac{g}{\text{cm}^3} x 349,86 \text{ cm}^3$$

$$masa_{refuerzo} = 262,34 \text{ g}$$

En el caso de la resina epóxica es prudente apreciar un 80 % de la masa total de matriz en volumen para la resina epoxi denominado (Componente A) y un 20 % de la masa total de matriz en volumen para el catalizador denominado (Componente B)

Componente A:

$$\text{masa total}_{\text{Matriz E}} = \text{masa}_{\text{Matriz E}} * 0,8$$

$$\text{masa total}_{\text{Matriz E}} = 2220,582 \text{ g} * 0,8 = 1776,582 \text{ g}$$

Componente B:

$$\text{masa total}_{\text{Matriz E}} = \text{masa}_{\text{Matriz E}} * 0,2$$

$$\text{masa total}_{\text{Matriz E}} = 2220,582 \text{ g} * 0,2 = 444,12 \text{ g}$$

La tabla 2.15 se presenta de, manera resumida la cantidad necesaria a utilizar de matriz polimérica de poliéster y epoxi, además, el refuerzo (cascailla de arroz).

Tabla 2.15 Resumen de la cantidad de refuerzo y resinas para el mecanizado

Descripción	Cantidad de fibra y resinas (g)				
	CA	RP	MEKP	RE	
				Componente A	Componente B
Material compuesto (CA+RP)	262,395	2169,34	20		
Material compuesto (CA+RE)	262,395			1776,582	444,12
TOTAL	524,79	2169,34	20	1776,582	444,12

Fuente: autor

Material para ensayo UV y tracción

Para este caso la norma ASTM D-3039 donde establece un mínimo número de probetas para realizar este ensayo, en este caso se determinó 5 probetas estándar, 9 para ensayos UV en matriz poliéster y 9 en matriz epoxi. De esta manera se consideró las ecuaciones pertinentes para determinar la cantidad total de refuerzo y matriz polimérica como se muestra en la tabla 2.16, por estudios realizados el espesor que se toma como referencia es de 3,2 mm, entonces según la norma las dimensiones de las probetas se establecen de 250x25x3,2mm. Para lo cual se define las dimensiones de la plancha de: 420x250x3,2 mm.

Tabla 2.16 Resumen de la cantidad de refuerzo y resina para ensayos de degradación UV y tracción

Descripción	Cantidad de fibra y resinas (g)				
	CA	RP	MEKP	RE	
				Componente A	Componente B
Material compuesto (CA+RP)	50	400	3,3	-	-
Material compuesto (CA+RE)	50	-	-	328	82
TOTAL	100	400	3,3	328	82

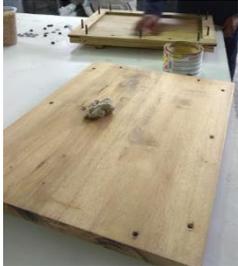
Fuente: Autor

2.6.2. Elaboración del material compuesto

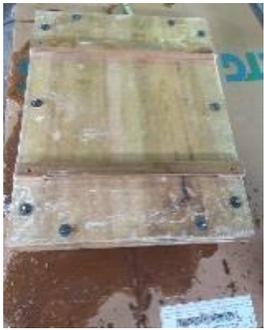
Para la obtención del material compuesto de matriz polimérica reforzado con cascarilla de arroz se establece el Método por estratificación a compresión por ajuste mecánico normal.

Una vez obtenido el volumen requerido para matriz (resina poliéster y epóxica), además, la cantidad de masa del refuerzo (cascarilla de arroz), se procede a la elaboración del compuesto, mediante estratificación a compresión en un molde de madera.

Tabla 2.17 Proceso de elaboración de las probetas por estratificación a compresión

Obtención de las probetas		
Pasos	Detalle	Ilustración
Eliminación de impurezas del refuerzo (cascarilla de arroz).	Con un rodillo realizamos varias pasadas continuamente sobre el refuerzo con la finalidad de eliminar los espacios entre abiertos en la cascarilla de arroz	
Tamizado de la cascarilla arroz	Después de efectuar el pre-proceso de eliminación de espacios vacíos, tamizamos el refuerzo utilizando un tamiz numero 4 esto con el objetivo que los gránulos existentes de arroz quede en el tamíz y la cascarilla de arroz pase por los orificios	
Limpieza y aplicación de cera desmoldante	Para retirar las impurezas existentes en el molde se limpia la base con un guaipe para después aplicarle cera desmoldante, es recomendable aplicar 5 capas de cera cada 2 minutos, tratando de cubrir las tres partes del molde: base, marco y tapa	 

<p>Pesado del refuerzo (cascarilla de arroz)</p>	<p>Con la ayuda de una balanza electrónica pesamos la cantidad de masa del refuerzo considerando la fracción volumétrica establecida para el mismo.</p>	
<p>Preparación de la matriz (resina poliéster) más MEKP</p>	<p>Resina Poliéster</p> <p>Se pesa la cantidad de resina poliéster en una balanza electrónica considerando que por cada kg de resina se aplica 0,01 kg de MEKP, o lo que es lo mismo el 1% del mismo</p>	
	<p>Resina Epoxi</p> <p>Para la resina epoxi es necesario que se considera la siguiente relación:</p> <p>Comparte A: masa total_{Matriz E} = masa_{Matriz E} * 0,8</p> <p>Comparte B: masa total_{Matriz E} = masa_{Matriz E} * 0,2</p>	
<p>Mezcla de la resina con el catalizador</p>	<p>En un recipiente plástico mezclador aproximadamente 5 minutos hasta conseguir una mezcla homogénea, la resina con el MEKP o componente B según sea el caso de la poliéster o epoxi</p>	

<p>Aplicación de la capa inicial de matriz polimérica en el molde</p>	<p>Con ayuda de una brocha se aplica una capa inicial de resina, esto con la finalidad de mejorar la absorción de la resina y el refuerzo, para eliminar los espacio vacíos propios de la cascarilla de arroz</p>	
<p>Compactación del compuesto</p>	<p>Distribución de la mezcla (resina + refuerzo)</p> <p>Con ayuda de una brocha distribuimos la mezcla del material compuestos uniformemente, tratando de que todo el compuesto se ubique por todo el molde.</p>	
	<p>Estratificación a compresión</p> <p>Ubicamos la tapa en el molde haciendo presión con la ayuda de una llave 14 para obtener la compactación del compuesto</p>	

Fuente: Autor

2.6.3. Acondicionamiento de las planchas

Los materiales compuestos con resina poliéster generalmente tiene un secado al ambiente aproximadamente de 15 días, mientras que los compuestos con resina epóxica necesitan de un tiempo alrededor de 30 días en curarse, es por esto que las planchas de material compuesto se sometieron a un curado acelerado en un horno de radiación ultravioleta a una temperatura de 50° C. Las planchas tuvieron un secado de 24 horas en el horno de radiación ultravioleta, 2 horas con el horno encendido y el tiempo restante con el horno apagado, esto con el fin de obtener un secado óptimo para poder ejecutar los procesos de manera eficiente.

Tabla 2.18 Planchas de material compuesto RE+CA y RP+CA para el proceso de ranurado y ensayos UV y tracción

Planchas para proceso de ranurado	
RP+CA de 490x350x12 mm	RE+CA de 490x350x12 mm
	
Planchas para ensayos UV Y Tracción	
RP+CA de 420x250x3,2 mm	RE+CA de 420x250x3,2 mm
	

Fuente: Autor

2.7.Mecanizado de las probetas

Para generar el proceso de ranurado se hace uso de las herramientas (fresas-END mil flat), para materiales compuestos, el cual se hará uso de dos tipos de fresas (103S-Super Acabado Plexiglás 45°, Ø 10mm y 107-Dentado Diamante con corte frontal, Ø 10mm) para cada tipo de compuesto, los mismo que se variarán los parámetros de velocidad de corte y avance a una profundidad de corte de 12mm, 6 pasadas de 2mm.

En la tabla 2.9 mencionada anteriormente se establece las posibles combinaciones determinados por el método de análisis de respuesta se superficie con dos factores cuantitativos (Vc y Vf) y dos factores cualitativos (tipo de resina y herramental), de donde se consiguió generar las ranuras respectivas como muestra la figura 2.3, para lo

cual las ranuras generadas tendrán un recorrido de 50 mm esto consistirá en 52 ranuras por plancha, 26 por cada herramental, esto con el fin analizar la rugosidad y delaminación dejada por el proceso.

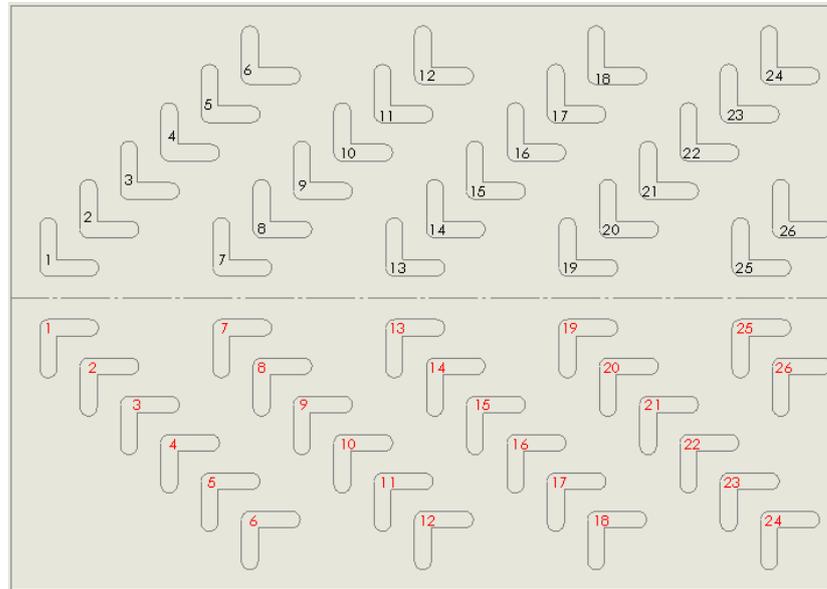


Figura 2.3 Distribución gráfica de las posibles combinaciones de ranurado

Fuente: Autor

La tabla 2.19 muestra las primeras 26 corridas experimentales para mecanizar material de matriz polimérica de poliéster y cascarilla de arroz, utilizando la fresa 103 S y 107 D respectivamente para cada material, por ejemplo, la primera corrida corresponde a mecanizar la ranura a una velocidad de corte de 70 m/min con un avance de 0,15 min/rev.

Tabla 2.19 Parámetros de corte para las fresas 103 S y 107 D

Parámetros de corte para la herramienta 103 S y 107 D																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Vc	70	70	70	70	70	70	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	58	58	45	45	45	45	45	45
Vf	0,15	0,15	0,125	0,125	0,1	0,1	0,15	0,15	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,1	0,1	0,15	0,15	0,125	0,125	0,1	0,1

Fuente: Autor

Generado el orden para el mecanizado del material compuesto para cada tipo de herramienta se establece el procedimiento pertinente del mecanizado establecido por la tabla 2.20.

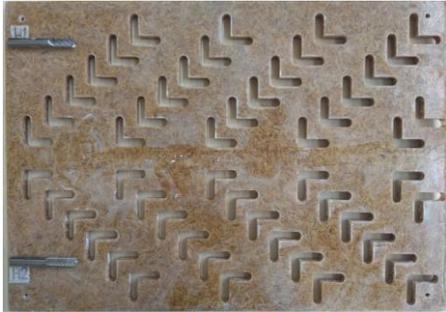
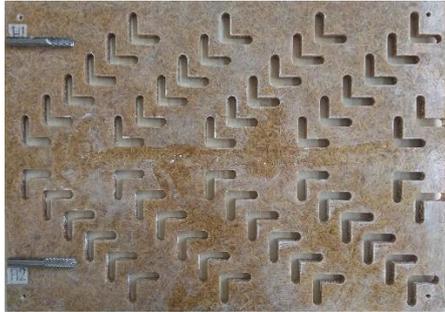
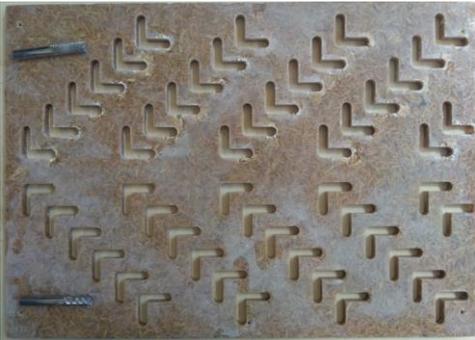
Tabla 2.20 Proceso de mecanizado del material compuesto RP+CA y RE+CA

Descripción	Ilustración
Ubicación de la fresa en el husillo	
Ubicación de la plancha en la mesa de trabajo	
Fijación del punto cero de la herramienta y el material	
Inicio del ranurado con la fresa 103 S	

<p>Inicio de ranurado con la fresa 107 D</p>	
<p>Finalización del proceso de ranurado</p>	
<p>Recolección de la Viruta generada por el mecanizado del material compuesto por cada tipo de herramental</p>	<p>Viruta generada por el materia compuesto (RP+CA) con la fresa 103 S</p>
	
	<p>Viruta generada por el material compuesto (RE+CA) con la fresa 107 D</p>
	

Fuente: Autor

Tabla 2.21 Resultado del proceso de ranurado

Resultados del proceso de ranurado	
Entrada de la herramienta	
Poliéster	Epoxi
	
Salida de la herramienta	
	

Fuente: Autor

2.7.1. Determinación de la rugosidad (R_z)

Para determinar la rugosidad de cada una de las ranuras realizadas en el proceso de mecanizado de las ranuras se ejecutará mediante el uso del Rugosímetro SJ-210 Mitutoyo, la medición se establecerá en la sección transversal; en sentido de ingreso y salida de la herramienta, los mismo que se obtendrán valores del ensayo y la réplica por cada combinación.

Cabe recalcar que las réplicas son el procesamiento de un material con las mismas condiciones de operación.

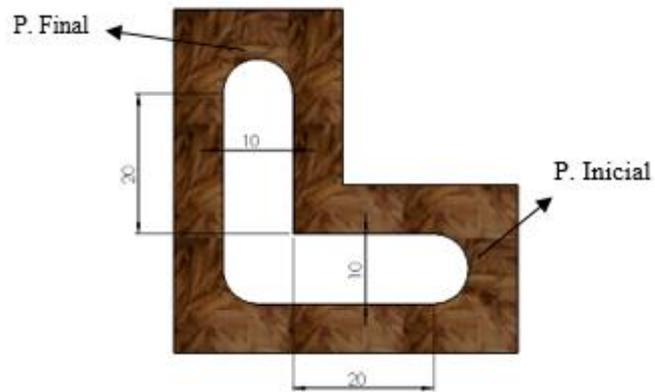


Figura 2.4 Muestra para la medición de delaminación de entrada y salida del material compuesto

Fuente: Autor

Para la toma de mediciones de la rugosidad no fue necesario cortar las probetas ya que se dispone de un espacio de trabajo libre (10mm), espacio adecuado para el desplazamiento del palpador, el mismo que se realizó con ayuda de un soporte regulable, (ver anexo O).

Se tomarán 8 mediciones por cada ranura 4 en la zona horizontal y 4 en la zona vertical. Para lo cual se parte de la calibración del equipo a 2,94 μm de acuerdo a la Norma ISO 97, el recorrido del palpador será de 0,8 mm a una velocidad de 0,5 m/s.

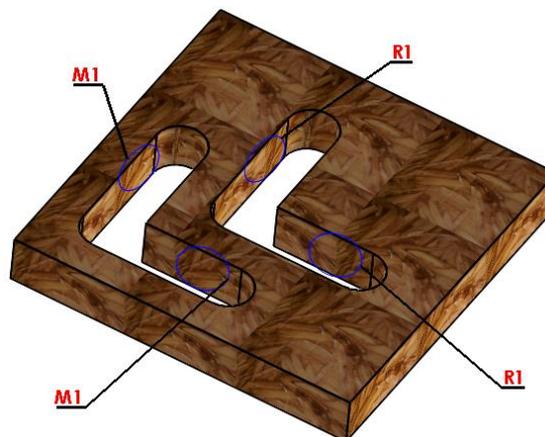


Figura 2.5 Muestras para la medición de la rugosidad

Fuente: Autor

2.7.2. Determinación del Factor de Delaminación (Fd_e y Fd_s)

Para determinar el factor de delaminación en el material compuesto RP+CA y RE+CA, se ejecutará mediante la utilización de un microscopio USB, modelo 1000X, el mismo que permitirá observar la máxima delaminación generada por el proceso de mecanizado. La medición se ejecutará tomando en consideración el número de ensayos y réplicas en las ranuras, (52 muestras por cada plancha) como se muestra en la figura 2.5. Cabe recalcar que se tomarán mediciones de delaminación de la entrada y salida, tomando en cuenta el punto inicial y el punto final del avance de la herramienta. Las mediciones ejecutadas se visualizan en los anexos M y N.

Generalmente la delaminación producida por el mecanizado del material compuesto se presenta en forma de cresta o valle, como se presenta en la figura 2.5, cabe recalcar que no hay que confundirse con el daño producido por estratificación o daño por mecanizado, el daño por estratificación pueden ser poros generados por la elaboración del material compuesto.

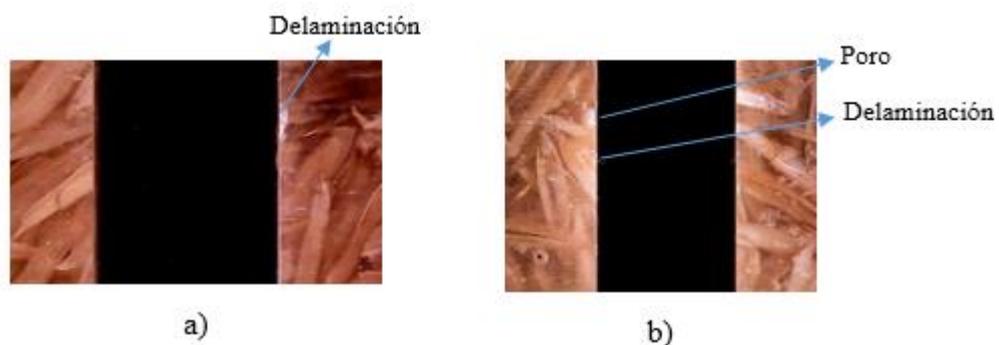


Figura 2.6 Identificación de una delaminación y porosidad en el material compuesto: a) delaminación, b) porosidad

Fuente: Autor

Antes de iniciar el proceso de medición de la delaminación es prudente calibrar el microscopio. En el anexo L se puede observar la forma de calibración del equipo.

Nomenclatura de medición: En la siguiente tabla 2.2 se detalla la nomenclatura respectiva tomando en cuenta el tipo de matriz, refuerzo, V_c (m/min), V_f (min/rev) y tipo de herramienta, además en las fichas técnicas se especifica si se trata de un ensayo o réplica para cada medición.

Tabla 2.22 Identificación de nomenclatura para la medición de la delaminación

Nomenclatura	Detalle
RP-CA-70/0,15/103S	Muestra de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz, velocidad de corte de 70 m/min, avance de 0,15 min/rev. y se utiliza la herramienta para composites 103S-Super Acabado Plexiglás 45°, Ø 10mm
RP-CA-70/0,15/103S	Muestra de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz, velocidad de corte de 70 m/min, avance de 0,15 min/rev. y se utiliza la herramienta para composites 103S-Super Acabado Plexiglás 45°, Ø 10mm
RE-CA-70/0,15/107 D	Muestra de matriz epoxi reforzada con cascarilla de arroz, velocidad de corte de 70 m/min, avance de 0,15 min/rev. y se utiliza la herramienta para composites 107-Dentado de Diamante con corte frontal, Ø 10mm
RE-CA-70/0,15/107 D	Muestra de matriz epoxi reforzada con cascarilla de arroz, velocidad de corte de 70 m/min, avance de 0,15 min/rev. y se utiliza la herramienta para composites 107-Dentado de Diamante con corte frontal, Ø 10mm

Fuente: Autor

2.8. Proceso de degradación UV

Las mediciones experimentales para los ensayos de exposición a radiación UV se ejecutó tomando muestras a intervalo definidos de tiempo a (50, 100 y 150 horas), con la finalidad de evaluar las propiedades mecánicas de las mismas, para determinar el comportamiento de la resistencia antes y después de que las probetas sean expuestas a los ensayos pertinentes. Cabe recalcar que las probetas estándar consideradas para el respectivo ensayo son principales para comprar el cambio de las muestras una vez ensayadas en los tiempos establecidos.

Tabla 2.23 Muestras generadas para ensayo de degradación UV en cámara de Xenón del material compuesto de RP+CA Y RP+CA

Material compuesto RP +CA	Material compuesto RE +CA
	
	

Fuente: Autor

Las probetas se expusieron a radiación UV en una cámara de envejecimiento acelerado de arco de xenón modelo QSUN Xe 1S, mostrado en la figura 2.7, la misma que es capaz de emitir una radiación en el rango requerido del espectro de luz solar de 300-400 nm, además tiene la capacidad de simular exposición diurna, ciclos de oscuridad y lluvia.

Generalmente la toma de muestras para evaluar las propiedades mecánicas se realizan en un rango de 0 a 150 horas [63].



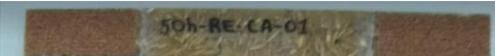
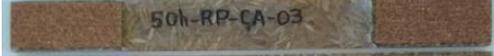
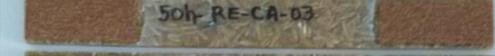
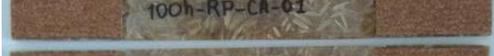
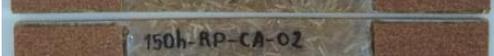
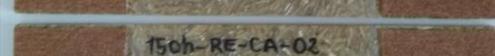
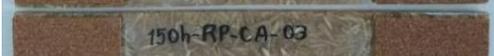
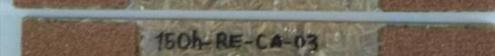
Figura 2.7 Ubicación de muestras en la Cámara de arco de Xenón Q-SUN antes de ensayar

Fuente: CIAP (Politécnica Nacional)

2.8.1. Determinación de la resistencia a tracción

La tabla 2.24 muestra las probetas establecida para los respectivos ensayos de tracción una vez ejecutado los ensayos UV de los materiales compuestos, para lo cual fue necesario colocar lijas número 50 y pegar pedazos de las mismas de 55x24 mm al borde de las probetas, esto, con la finalidad de evitar al momento de ejecutar los ensayos que las probetas se desprendan de las mordazas de la máquina de ensayo, además fue necesario codificar cada probeta para evitar inconvenientes en el ensayo.

Tabla 2.24 Muestras generadas para ensayo de tracción después del ensayo de degradación UV en cámara de Xenón y muestras estándar del material compuesto de RP+CA Y RP+CA

Material compuesto RP +CA	Material compuesto RE +CA
	
	
	
	
	
	
	
	
	

Muestras estandar RP +CA	Muestras estandar RE +CA
	

Fuente: Autor

El ensayo de tracción se ejecutó en el Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero mediante la utilización de la máquina de ensayos Universal de Polímeros Metrotest 50 KN, modelo MTE-50, serie 82100M002 a una velocidad de ensayo de 10 mm/min, la aplicación de la fuerza para tracción de las probetas se establece en el anexo U, ya que en este estudio no se hace énfasis en el comportamiento del material a una fuerza establecida. Cabe recalcar que las primeras probetas ensayadas fueron los estándares con el fin de comparar las mismas con las de degradación UV expuestas a diferentes horas de exposición. Las fracturas provocadas durante la ejecución del ensayo de tracción en la probeta de matiz polimérica de poliéster y epoxi reforzada con cascarilla de arroz se visualizan en la tabla 2.25, donde se puede ver claramente que las fracturas en los materiales compuestos fueron provocadas en diferentes zonas establecidas el mismo que se especifica en el anexo U.

Tabla 2.25 Resultados del ensayo de tracción del material compuesto

Material compuesto RP +CA (estándar)	Material compuesto RE +CA (estándar)
	

Muestras ensayadas RP +CA	Muestras ensayadas RE +CA
	

Fuente: Autor

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis e interpretación de resultados del proceso de mecanizado

Los datos recolectados tanto de la medición de la rugosidad superficial y delaminación de entrada y salida del material de matriz poliéster y epoxi reforzado con cascarilla de arroz se adjunta en el anexo A y B respectivamente, de manera similar, los resultados conseguidos del ensayo de degradación UV aplicado al material compuesto de matriz polimérica reforzado con cascarilla de arroz se detalla en el anexo T.

La tabla 3.1, muestra los valores de resistencia a la tracción del material compuesto elaborado con matriz polimérica, luego de ser sometido a exposición Uv durante diferentes tiempos.

Tabla 3.1 Datos obtenidos del ensayo de tracción

Exposición (Horas)	Resistencia a la tracción (Mpa)	
	RP	PE
0	4,88	9,55
0	7,15	10,78
0	3,53	8,28
0	5,74	11,77
0	3,59	10,2
50	5,83	11,75
50	6,66	9,86
50	8,36	13,67
100	8,34	11,18
100	8,72	8,64
100	5,99	8,7
150	7,46	9,65
150	8,46	7,77
150	7,48	7,83

Fuente: Autor

3.1.1. Análisis de la rugosidad superficial R_z

Teniendo en cuenta que el análisis de respuesta de superficie pertenece al conjunto de las pruebas paramétricas es necesario verificar que los datos recopilados de la rugosidad cumplan con los supuestos para la aplicación de dichas pruebas, estos, con el fin de contar con la veracidad de los resultados.

3.1.1.1. Verificación de supuestos

Para la aplicación de pruebas paramétrica los datos deben cumplir con los supuestos establecidos de: distribución de normalidad, igualdad de varianzas e independencia de los residuos o de datos.

3.1.1.1.1. Prueba de normalidad

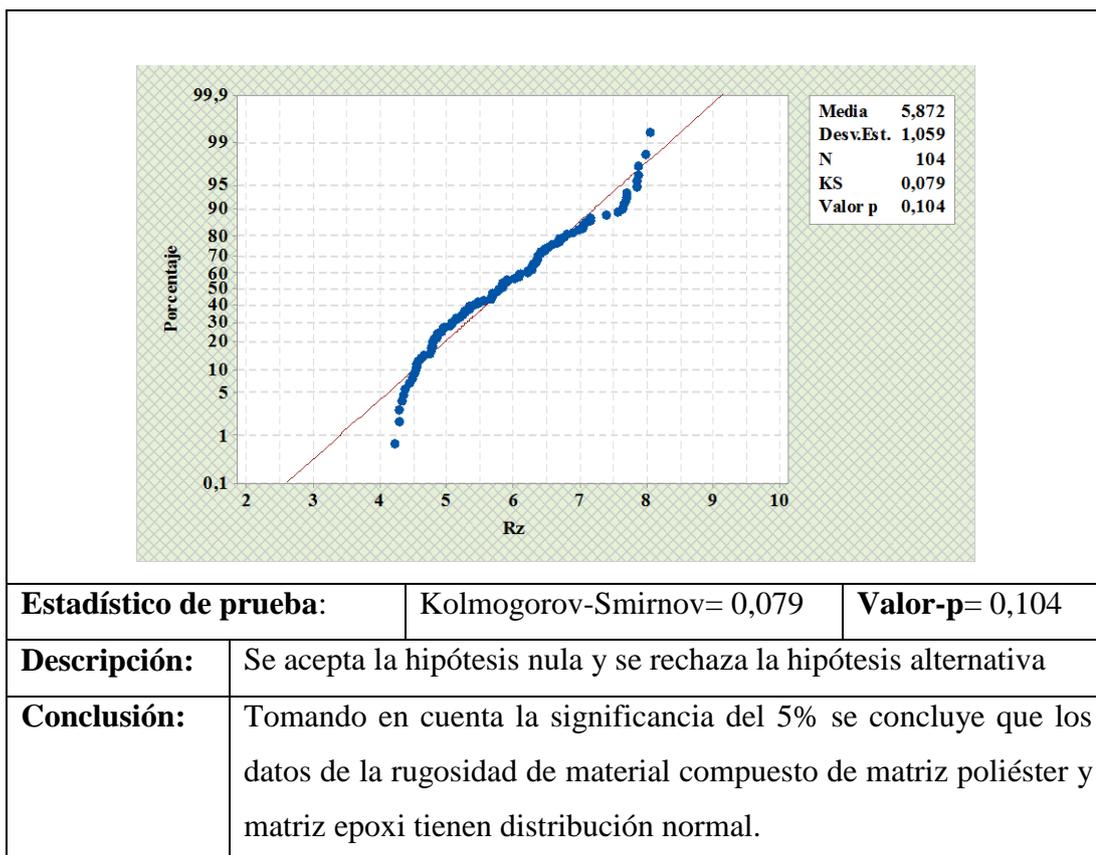
Se emplea la prueba de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, ya que esta prueba es adecuada cuando las muestras son grandes por lo general mayor a 30 y menor a 200 experimentos, para verificar el supuesto de normalidad de los datos la rugosidad. La tabla 3.2 muestra el comportamiento de los datos de la rugosidad una vez aplicado la prueba KS, en este caso los datos cumplen con el supuesto de normalidad ya que para no rechazar H_0 , es necesario que el valor-p sea mayor a 0,05.

H_0 : hipótesis nula

H_1 : hipótesis alternativa

Tabla 3.2 Verificación del supuesto de normalidad para la rugosidad R_z

Hipótesis	H_0 : “Los datos de rugosidad en el material compuesto de matriz poliéster y matriz epoxi reforzado con cascarilla de arroz presentan distribución normal”.		
	H_1 : “Los datos de rugosidad en el material compuesto de matriz poliéster y matriz epoxi reforzado con cascarilla de arroz no presentan distribución normal”.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$	Numero de experimentos	$N = 104$



Fuente: Autor

3.1.1.1.2. Verificación de igualdad de varianzas

Para verificar la igualdad de varianzas de los datos de rugosidad es necesario analizar el gráfico de los predichos versus los residuos. En la figura 3.1 se observa que los residuos se mantienen constante a razón que crecen los ajustes, distribuyéndose los puntos uniformemente en una banda horizontal alrededor de 0, además se nota en la ordenada vertical se tienen valores de 1 a -1, esto indica que los datos cumplen el supuesto de igualdad de varianzas.

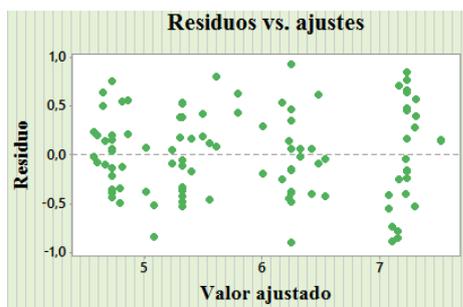


Figura 3.1 Análisis de varianza de valor ajustado vs residuos

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.1.1.1.3. Verificación de independencia de residuos

La figura 3.2 se puede emplear para verificar que existen independencia de residuos en la rugosidad del material compuesto de matriz poliéster y matriz epoxi más cascarilla de arroz en la cual indica que no existe un patrón definido, por lo que se puede concluir que existe independencia de residuos para la rugosidad de dichos materiales.

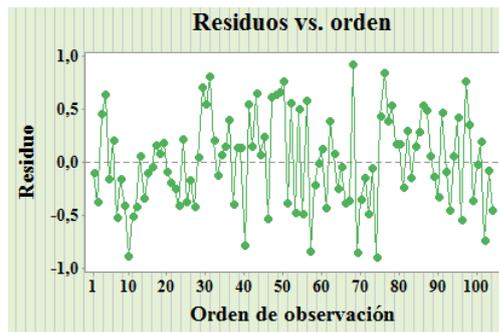


Figura 3.2 Análisis de independencia de datos de orden de observación vs residuos

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.1.1.2. Análisis de varianza

Se efectúa un análisis inicial involucrando todos los términos de un modelo cuadrático completo, con el fin de generar tras la aplicación del ANOVA el diagrama de Pareto de los efectos, como se visualiza en la figura 3.3; para poder descartar efectos que no influyan significativamente en la rugosidad.

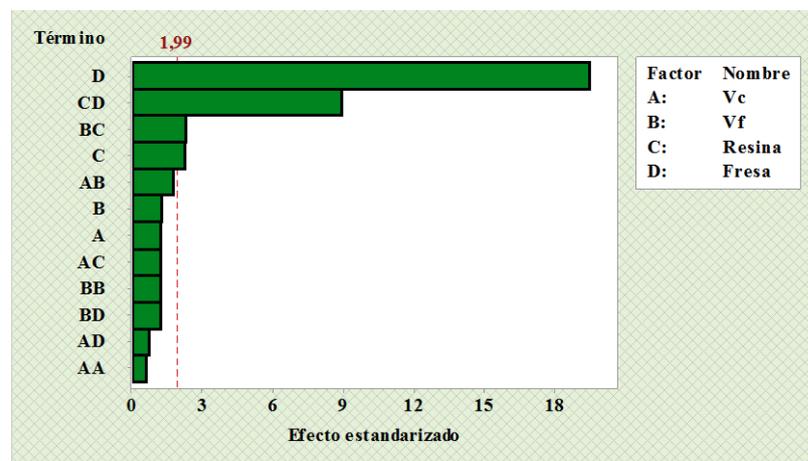


Figura 3.3 Análisis del Diagrama de Pareto de los efectos significativos para Rz.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de la interacción entre la velocidad de corte con la velocidad de avance, está cerca de ser estadísticamente significativos, por lo que a criterio del investigador se consideran importantes y se incluyen en el modelo posteriormente analizado.

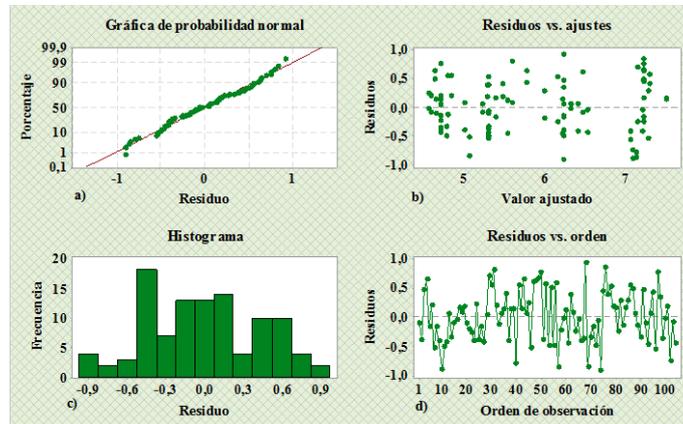


Figura 3.4 Análisis de residuos de Rz: a) Gráfica de probabilidad de normalidad, b) Gráfica de residuos vs ajustes, c) Gráfica de frecuencias vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la figura 3.4 se incluye la gráfica de probabilidad normal, en la cual se puede notar un patrón normal, ya que los puntos se acercan a la línea recta; también podemos visualizar la gráfica de residuos versus ajustes, con la que se verifica el supuesto de igualdad de varianza, en este caso si cumple dicho supuesto al notar que la dispersión de residuos se mantiene constante al aumentarse los ajustes; finalmente revisamos la gráfica de residuos versus orden, en la que los residuos no presentan tendencias o patrones, mostrando que existe independencia entre ellos, con esto se corrobora los supuesto de las pruebas paramétricas mencionados anteriormente.

Para plantear el nuevo modelo, es necesario; únicamente la eliminación de términos no significativos.

Tabla 3.3 Resultados del análisis de ANOVA para la rugosidad Rz.

Fuente de Variación	G. L.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor-p
Modelo	7	96,185	13,7407	67,88	0,000
Vc	1	0,314	0,314	1,55	0,216
Vf	1	0,349	0,349	1,73	0,192
Resina	1	1,012	1,012	5,00	0,028
Fresa	1	76,651	76,651	378,66	0,000
Vc* Vf	1	0,626	0,626	3,09	0,082

Vf * Resina	1	1,094	1,094	5,40	0,022
Resina * Fresa	1	16,138	16,138	79,72	0,000
Error	96	19,433	0,2024		
Falta de ajuste	28	9,392	0,3354	2,27	0,003
Error puro	68	10,041	0,148		
Total	103	115,618			

Fuente: Autor

Con el nuevo modelo, el cual no cuenta con términos cuadráticos, se analiza la variabilidad presente mediante el ANOVA que se detalla en la tabla 3.3, ahí se visualiza que existen diferencias significativas en las medias poblacionales de cada tratamiento, contrastando las significancias calculada y predefinida de 0,000 y 0,05; respectivamente, además se entiende que el modelo explica un ajuste del 83,19% de la variabilidad de la rugosidad.

Para saber que se cuenta con la exactitud de los valores de significancia calculada, es necesario que se verifiquen nuevamente los supuestos de los residuos del nuevo modelo, como se muestran en la figura 3.5, por lo que, se examinan: la gráfica de probabilidad normal observándose que los puntos se acercan de igual forma a la línea recta; la gráfica de residuos versus ajustes, en la que la dispersión de los residuos se mantiene constante conforme aumenta el ajuste y la gráfica de residuos versus orden, en la que los residuos siguen sin presentar alguna tendencia o patrón.

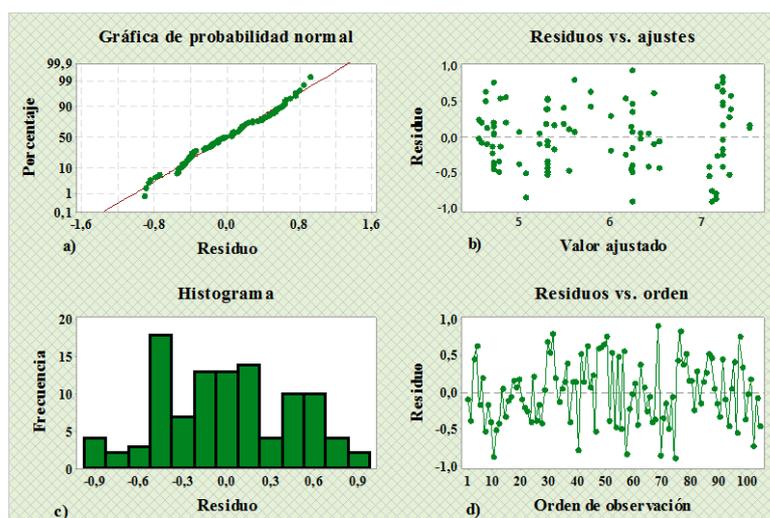


Figura 3.5 Análisis de residuos de Rz: a) Gráfica de probabilidad de normalidad, b) Gráfica de residuos vs ajustes, c) Gráfica de frecuencias vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden

Fuente: Minitab® Statistical Software.

Para tener una interpretación más gráfica de lo que ocurre con cada término del modelo y sus respectivos efectos, se analiza en la figura 3.6, el diagrama de Pareto del modelo final.

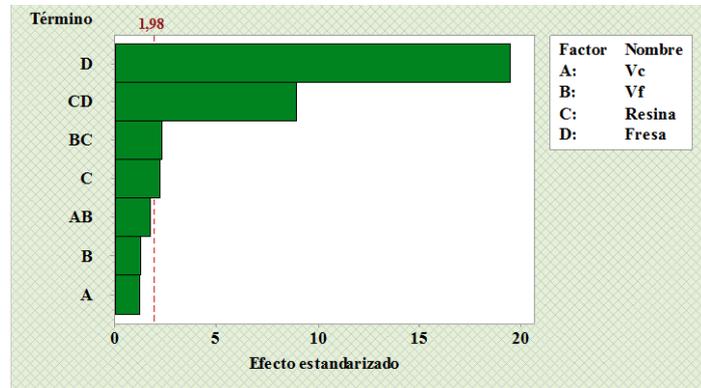


Figura 3.6 Análisis Pareto de los efectos significativos para Rz del nuevo modelo.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Con el diagrama de Pareto se reafirma la marcada influencia de los efectos del tipo de herramienta y de la interacción entre el tipo de resina y tipo de herramienta, hay que reiterar que se incluyó en el modelo final los efectos de la velocidad de corte con la velocidad de avance, a pesar de que se haya obtenido una significancia calculada de 0,082; a criterio del investigador se cree que la variabilidad de este efecto es importante para la rugosidad.

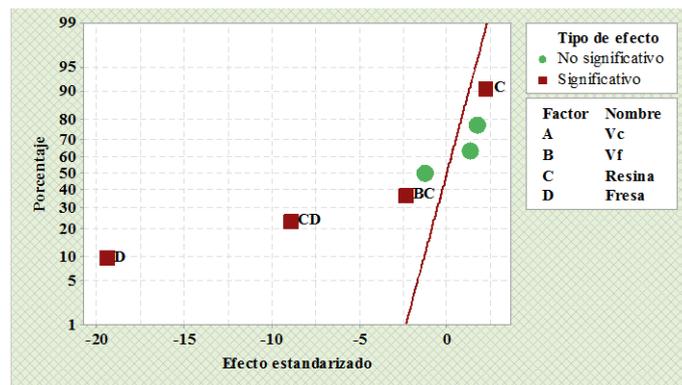


Figura 3.7 Análisis de los efectos significativos de probabilidad normal de Rz.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para entender la manera de cómo cada parámetro afecta a la rugosidad, se examina la gráfica de probabilidad normal de los efectos en la figura 3.7, con la que se puede asegurar que conforme el nivel del tipo de herramienta sube, la interacción del tipo de

resina con el tipo de herramienta y la interacción de la velocidad de avance con el tipo de resina; la rugosidad aumenta. Sin embargo, conforme se aumenta el nivel del tipo de resina; la rugosidad disminuye.

De manera particular se visualiza en la figura 3.8 los efectos principales de cada factor, con el que se entiende el efecto no significativo de las velocidades de corte y de avance al evidenciar gráficamente que las líneas correspondientes a cada factor, no presentan pendientes pronunciadas; contrario a esto, el tipo de resina y el tipo de herramienta si influyen significativamente en la rugosidad, entendiéndose esto, por lo pronunciado de las pendientes de sus líneas.

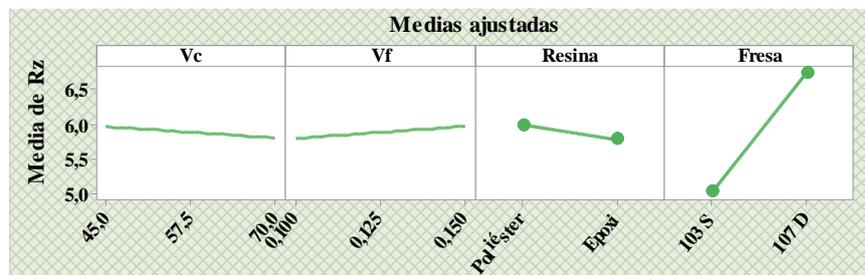


Figura 3.8 Análisis de efectos principales para Rz.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Al igual que se pueden visualizar los efectos principales; en la figura 3.9 podemos apreciar los efectos de interacción presentes en el modelo final analizado, de esta gráfica se entiende que la notable diferencia entre las pendientes de las líneas en una misma gráfica de interacción, indica que existe efecto de interacción entre los factores de dicha gráfica, contrastando que son significativos los efectos de interacción entre: la velocidad de corte con la velocidad de avance, la velocidad de avance con el tipo de resina y el tipo de resina con el tipo de herramienta.

Para completar el análisis en base a la relación entre los parámetros de corte y la rugosidad, es necesario examinar las superficies generadas mediante las ecuaciones de regresión del ANOVA, hay que recordar que, debido a los dos factores categóricos empleados en el análisis, se obtienen 4 ecuaciones de regresión.

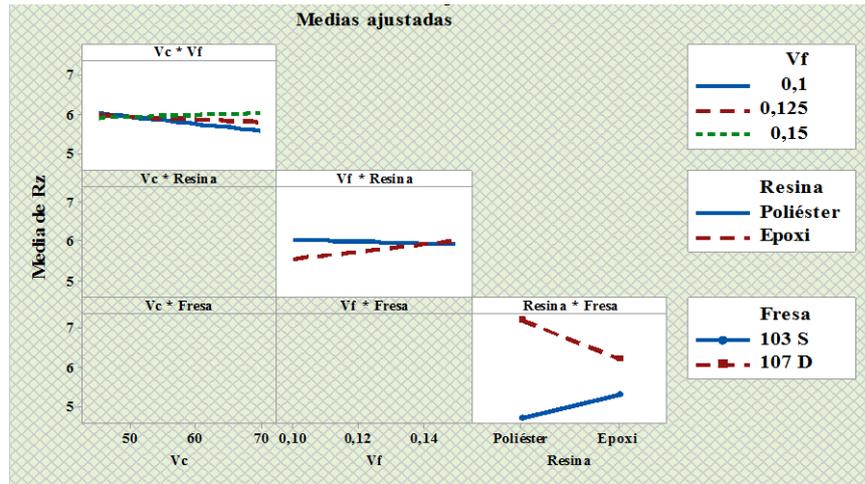


Figura 3.9 Análisis de interacciones de Rz.

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la figura 3.10 se aprecian los valores que toma la rugosidad en función de la velocidad de corte y de la velocidad de avance; en una matriz de resina Poliéster, con la herramienta 103 S. En esta gráfica se combinan los factores categóricos especificados anteriormente, analizando de esta manera que el punto en el que se obtiene el valor de rugosidad más bajo, es al combinar una alta velocidad de corte y una baja velocidad de avance; pero, al combinar bajas velocidades de corte y de avance, la rugosidad aumenta.

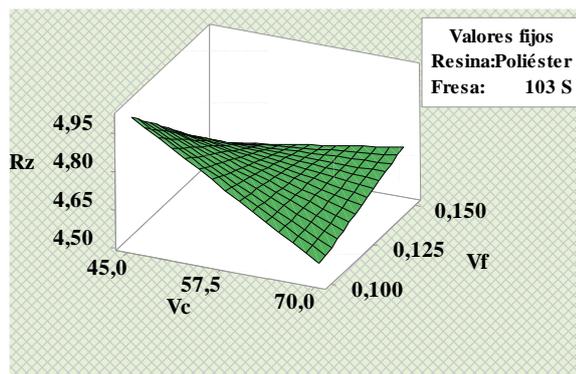


Figura 3.10 Superficie de respuesta para Rz vs V_c, V_f ; para resina Poliéster y la Fresa 103S.

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la figura 3.11 se representa los valores que la rugosidad toma, en función de la velocidad de corte y de la velocidad de avance; en una matriz de resina Poliéster, con la herramienta 107 D, estableciendo la combinación de los factores categóricos,

expresando el punto en el que se obtiene el valor más bajo de rugosidad es al combinar una alta velocidad de corte y una baja velocidad de avance; sin embargo, al combinar bajas velocidades de corte y de avance, la rugosidad aumenta.

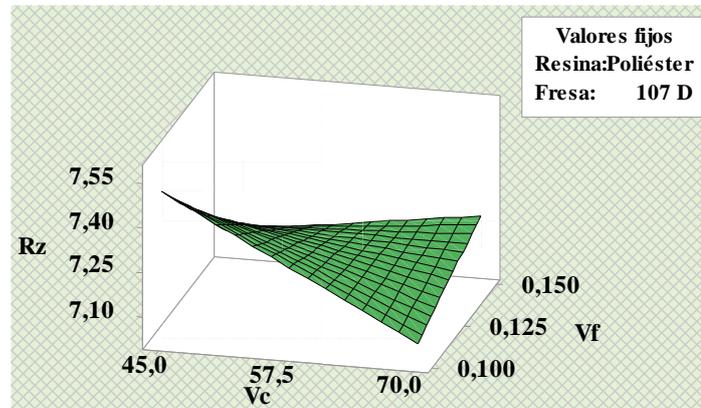


Figura 3.11 Análisis de superficie de respuesta para Rz vs V_c , V_f ; para resina Poliéster y la Fresa 107 D.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los valores que la rugosidad toma, en función de la velocidad de corte y de la velocidad de avance; en una matriz de resina Epoxi, con la herramienta 103 S, establecida por la figura 3.12. se aprecia de manera concisa la combinación de los factores categóricos, analizando así que el punto en el que se obtiene el valor más bajo de rugosidad es al combinar una alta velocidad de corte y una baja velocidad de avance; por lo contrario, al combinar altas velocidades de corte y de avance, la rugosidad aumenta.

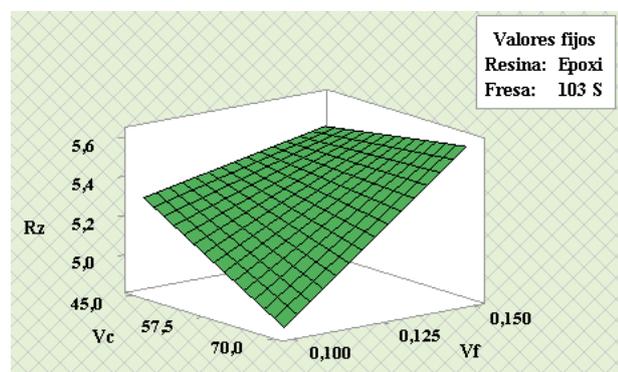


Figura 3.12 Análisis de superficie de respuesta para Rz vs V_c , V_f ; para resina Epoxi y la Fresa 103 S.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Finalmente, en la figura 3.13, se aprecia los valores que toma la rugosidad en función de la velocidad de corte y de la velocidad de avance; en una matriz Epoxi, con herramienta 107 D, proponiendo analíticamente la combinación de los factores categóricos, verificando que al combinar una alta velocidad de corte y una baja velocidad de avance se consigue una rugosidad baja; mientras que, al combinar altas velocidades de corte y de avance, la rugosidad aumenta.

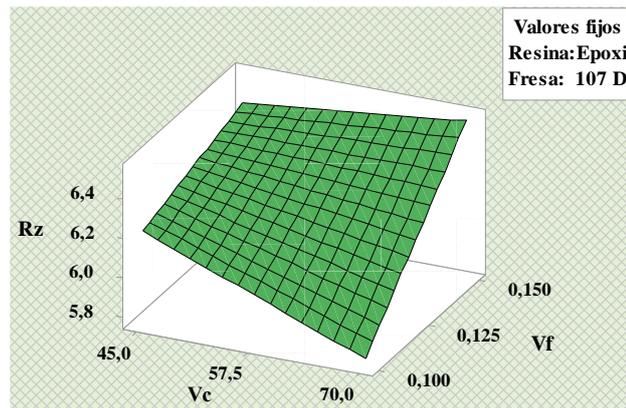


Figura 3.13 Análisis de superficie de respuesta para R_z vs V_c , V_f ; para resina Epoxi y la Fresa 107 D.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Optimización de la rugosidad R_z

Utilizando la función de deseabilidad, se logra englobar los cuatro factores analizados y poder definir una única combinación como óptima para la rugosidad, esto se describe en la figura 3.14. La base del análisis de la función de deseabilidad radica en estudiar las respuestas predichas por el modelo.

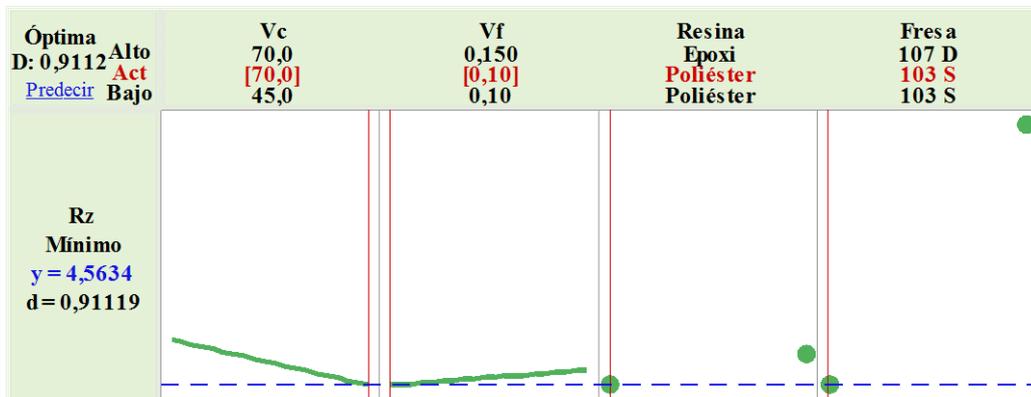


Figura 3.14 Análisis de optimización global de R_z .

Fuente: Minitab® Statistical Software

El punto óptimo, con los respectivos niveles de cada parámetro de corte, se detalla en la tabla 3.4. Los parámetros o factores optimizados son: velocidad de corte, velocidad de avance, tipo de resina y tipo de herramienta.

Tabla 3.4 Valores predichos del punto óptimo de la rugosidad Rz.

Factores	Velocidad corte (m/min)	70
	Velocidad avance (min/rev)	0,10
	Resina	Poliéster
	Fresa	103 S
Respuesta	Rugosidad (μm)	4,563

Fuente: Autor

3.1.2. Análisis del factor de delaminación del compuesto matriz poliéster y matriz epoxi reforzada con cascarilla de arroz

3.1.2.1. Factor de Delaminación de entrada (Fd_e)

Para analizar los datos del factor de delaminación d entrada se involucran todos los términos de un modelo cuadrático completo, se efectúa el análisis inicial, con el fin de generar en base a la aplicación del ANOVA el diagrama de Pareto de los efectos, como se visualiza en la figura 3.15; para poder apartar efectos que no influyan significativamente en el factor de delaminación de entrada.

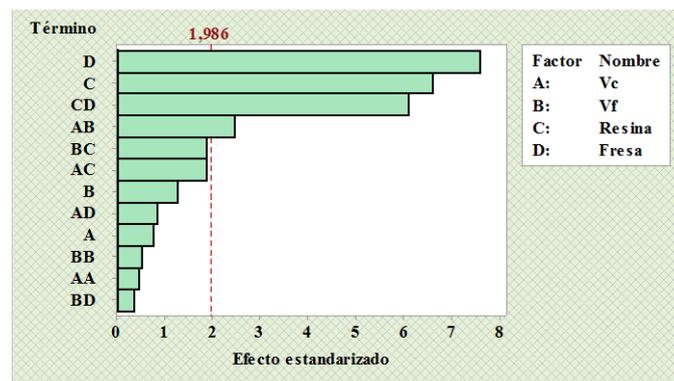


Figura 3.15 Análisis de Pareto de los efectos significativos para el Fde.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de las interacciones de la velocidad de avance con el tipo de resina y de la velocidad de corte con el tipo de resina, están cerca de ser estadísticamente significativos, por lo que a criterio del investigador se consideran importantes y se incluyen en el modelo posteriormente analizado.

Adicional al diagrama de Pareto, nos interesa conocer si los datos analizados cumplen con los supuestos paramétricos, por lo que en la figura 3.16; se verifica normalidad, igualdad de varianza e independencia en los residuos del factor de delaminación de entrada, hay que entender que el cumplimiento de los supuestos en los residuos se traduce en el cumplimiento de los supuestos en los datos.

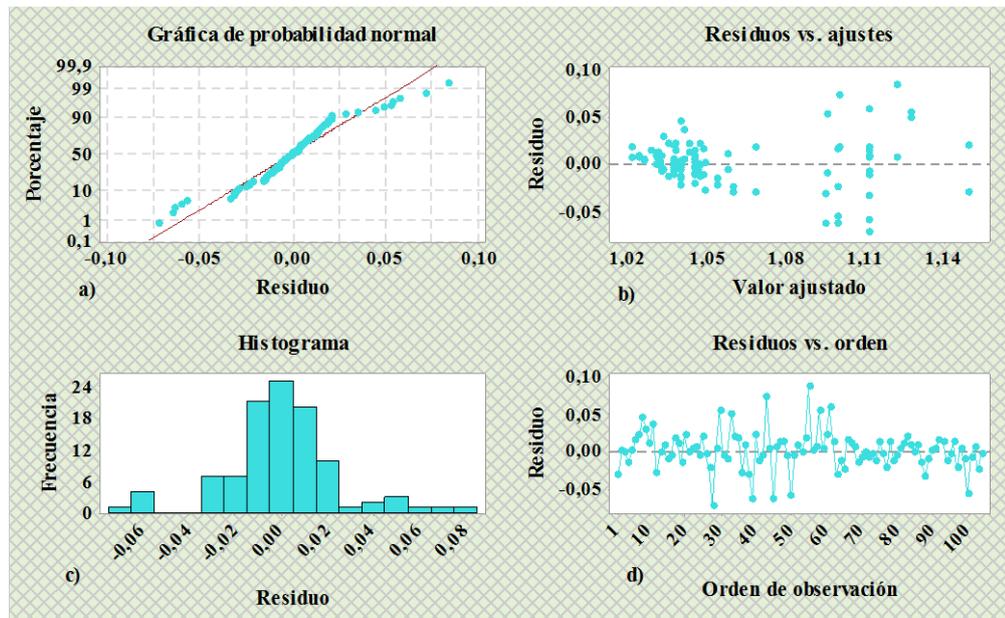


Figura 3.16 Análisis de residuos de Fde: a) Gráfica de probabilidad de normalidad, b) Gráfica de residuos vs ajustes, c) Gráfica de frecuencias vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la figura 3.16 se incluye la gráfica de probabilidad normal, en la cual se puede notar un patrón no normal, debido a la existencia de puntos que se alejan demasiado de la línea recta; también podemos visualizar la gráfica de residuos versus ajustes, con la que se verifica el supuesto de igualdad de varianza, en este caso no cumple dicho supuesto al notar que la dispersión de residuos crece al aumentarse los ajustes; finalmente revisamos la gráfica de residuos versus orden, en la que los residuos no presentan tendencias o patrones, mostrando que existe independencia entre ellos.

Para plantear el nuevo modelo, es necesario; adicional a la eliminación de términos no significativos, transformar los datos originalmente medidos para conseguir que cumplan con los supuestos paramétricos anteriormente evaluados.

Tabla 3.5 ANOVA para el Fde.

Fuente de Variación	G. L.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor-p
Modelo	8	0,07972	0,00997	20,76	0,000
Vc	1	0,00014	0,00014	0,30	0,587
Vf	1	0,00061	0,00061	1,28	0,262
Resina	1	0,02165	0,02165	45,09	0,000
Fresa	1	0,03180	0,03180	66,26	0,000
Vc * Vf	1	0,00339	0,00339	7,06	0,009
Vc * Resina	1	0,00190	0,00190	3,95	0,050
Vf * Resina	1	0,00176	0,00176	3,66	0,059
Resina * Fresa	1	0,01848	0,01848	38,49	0,000
Error	95	0,045602	0,00048		
Falta de ajuste	27	0,02213	0,00082	2,37	0,002
Error puro	68	0,02348	0,00035		
Total	103	0,12533			

Fuente: Autor

Con el nuevo modelo, el cual no cuenta con términos cuadráticos, se analiza la variabilidad presente mediante el ANOVA que se detalla en la tabla 3.5, en la cual se visualiza que hay diferencias significativas en las medias poblacionales de cada tratamiento, contrastando las significancias calculada y predefinida de 0,000 y 0,05; respectivamente, además se entiende que la variabilidad del factor de delaminación de entrada el modelo explica el 63,61%.

Para saber que se cuenta con la exactitud de los valores de significancia calculada, es necesario que se verifiquen los supuestos de los residuos del nuevo modelo con los datos convertidos, al igual que en la gráfica de residuos de datos originales en la figura 3.17, se inspeccionan la gráfica de probabilidad normal en la que esta vez los puntos están más cerca de la línea recta; la gráfica de residuos versus ajustes, donde se visualiza que la dispersión de los residuos se mantiene constante conforme el ajuste aumenta y la gráfica de residuos versus orden, en la que los residuos siguen sin presentar alguna tendencia o patrón, por lo que se afirma que estos datos no cumplen dichos supuestos, sin embargo en para analizar la influencia de los parámetros de mecanizado en el Fde se ve la necesidad de aplicar el método.

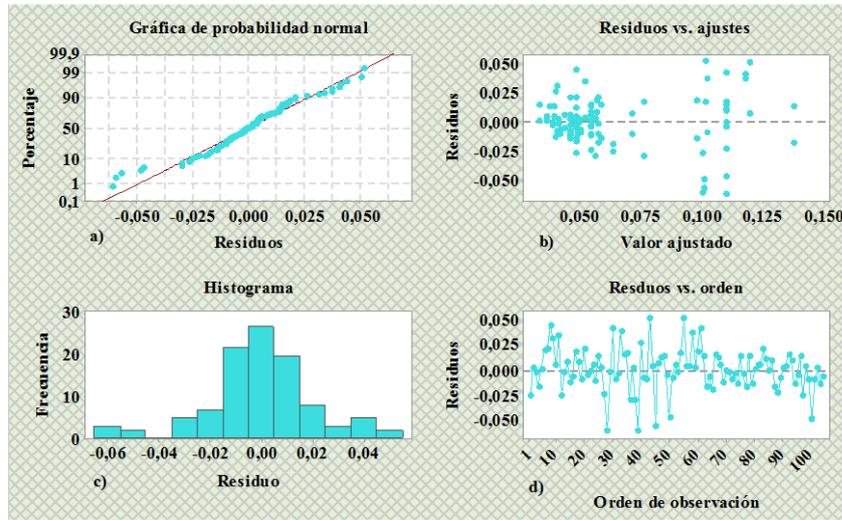


Figura 3.17 Análisis de residuos de Fde, transformado: a) Gráfica de probabilidad de normalidad, b) Gráfica de residuos vs ajustes, c) Gráfica de frecuencias vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden

Fuente: Minitab® Statistical Software

Ya verificando el cumplimiento de los supuestos y para tener una interpretación más gráfica de lo que ocurre con cada término del modelo y sus respectivos efectos, se analiza en la figura 3,18, el diagrama de Pareto del modelo final.

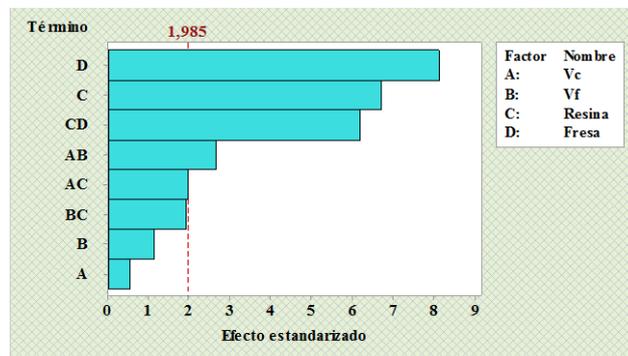


Figura 3.18 Análisis de Pareto de los efectos destacados para el Fde

Fuente: Minitab® Statistical Software

Con el diagrama de Pareto se reafirma la marcada influencia de los efectos del tipo de resina, del tipo de herramienta y de la interacción entre estos dos efectos, hay que recalcar que se incluyó en el modelo final los efectos de la velocidad de avance con el tipo de resina, a pesar de que se haya obtenido una significancia calculada de 0,059; a criterio del investigador se cree que la variabilidad de este efecto es importante para el factor de delaminación de entrada.

En la figura 3.19 se analiza la probabilidad normal de los efectos, esto con el fin de entender la manera de cómo cada parámetro afecta al factor de delaminación de entrada, de manera que se puede aseverar que conforme el nivel del tipo de herramienta sube, del tipo de resina, la interacción del tipo de resina con el tipo de herramienta y la interacción de la velocidad de corte con la velocidad de avance; existe un aumento del factor de delaminación de entrada. Sin embargo, a medida que aumenta el nivel de la interacción de la velocidad de corte con el tipo de resina y de la velocidad de avance con el tipo de resina; hay una disminución del factor de delaminación de entrada.

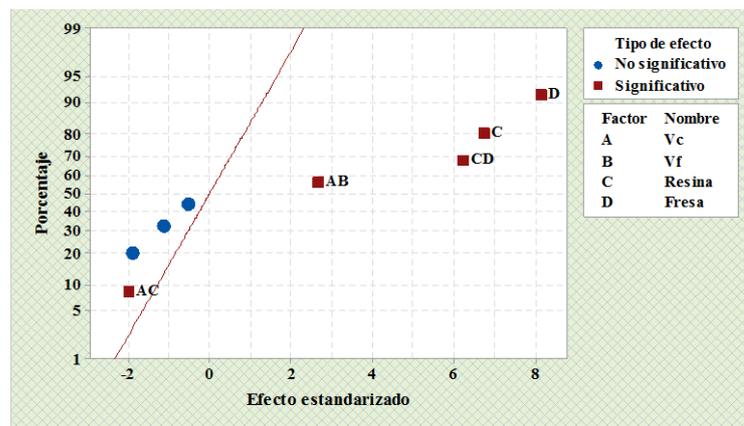


Figura 3.19 Análisis de los efectos significativos para la probabilidad normal del Fde

Fuente: Minitab® Statistical Software

De manera particular se visualiza en la figura 3.20 los efectos principales de cada factor, con el que se entiende el efecto no significativo de las velocidades de corte y de avance al evidenciar gráficamente que las líneas correspondientes a cada factor, no presentan pendientes pronunciadas; contrario a esto, el tipo de resina y el tipo de herramienta si influyen significativamente en el factor de delaminación de entrada, entendiéndose esto, por lo pronunciado de las pendientes de sus líneas.

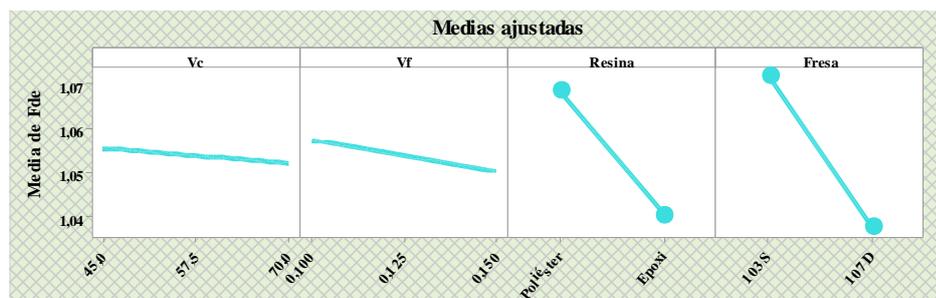


Figura 3.20 Análisis de efectos principales del Fde.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Al igual que se pueden visualizar los efectos principales; en la figura 3.21 podemos apreciar los efectos de interacción presentes en el modelo final analizado, de esta gráfica se entiende que la notable diferencia entre las pendientes de las líneas en una misma gráfica de interacción, indica que existe efecto de interacción entre los factores de dicha gráfica.

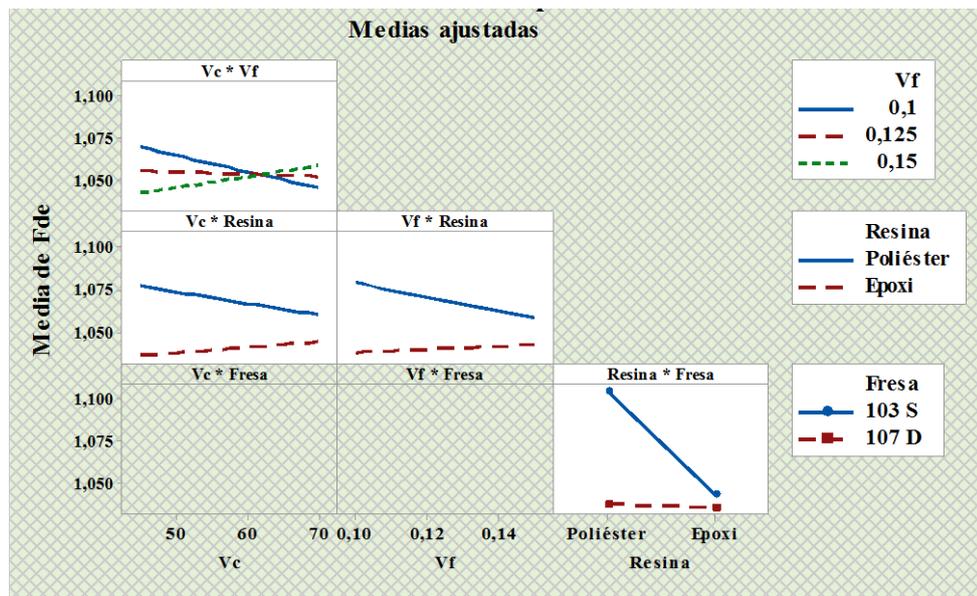


Figura 3.21 Análisis de interacciones del Fde.

Fuente: Minitab® Statistical Software

De esta manera son significativos los efectos de interacción entre: la velocidad de corte con la velocidad de avance, la velocidad de corte con el tipo de resina, la velocidad de avance con el tipo de resina y el tipo de resina con el tipo de herramienta.

Para completar el análisis en base a la relación entre los parámetros de corte y el factor de delaminación de entrada, es necesario examinar las superficies generadas mediante las ecuaciones de regresión del ANOVA, hay que recordar que, debido a los dos factores categóricos empleados en el análisis, se obtienen 4 ecuaciones de regresión.

En la figura 3.22, se visualiza los valores que el factor de delaminación de entrada toma, en función de la velocidad de corte y de la velocidad de avance; en una matriz de resina Poliéster, con la herramienta 103 S. En esta gráfica que combina los factores categóricos especificados anteriormente, se observa que el punto en el que se obtiene el valor más bajo del factor de delaminación de entrada es al combinar altas

velocidades de corte y de avance; contrario a esto, al combinar bajas velocidades de corte y de avance, el factor de delaminación de entrada aumenta.

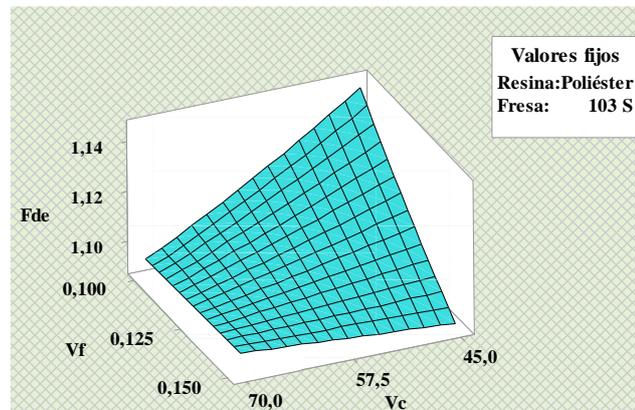


Figura 3.22 Análisis de superficie del Fde vs V_c , V_f ; para resina Poliéster y la Fresa 103S.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Se puede visualizar en la figura 3.23, los valores que el factor de delaminación de entrada toma, en función de la velocidad de corte y de la velocidad de avance; en una matriz de resina Poliéster, con la herramienta 107 D. En esta gráfica que combina los factores categóricos especificados anteriormente, se observa que el punto en el que se obtiene el valor más bajo del factor de delaminación de entrada es al combinar una velocidad de corte baja y una velocidad de avance alta; contrario a esto, al combinar bajas velocidades de corte y de avance, el factor de delaminación de entrada aumenta.

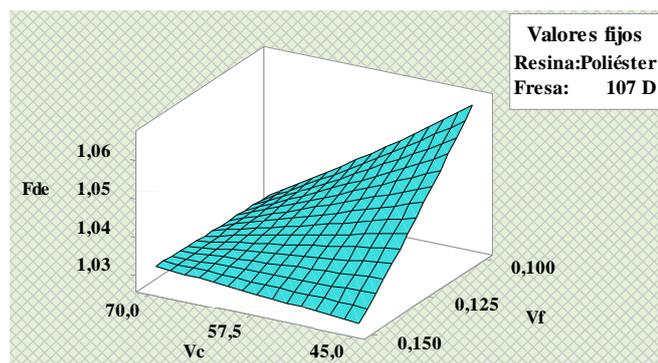


Figura 3.23 Análisis de superficie del Fde vs V_c , V_f ; para resina Poliéster y la Fresa 107 D.

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la figura 3.24 se visualiza los valores que el factor de delaminación de entrada toma, en función de la velocidad de corte y de la velocidad de avance; en una matriz de resina Epoxi, con la herramienta 103 S. En esta gráfica que combina los factores

categoricos especificados anteriormente, se observa que el punto en el que se obtiene el valor más bajo del factor de delaminación de entrada es al combinar una velocidad de corte baja y una velocidad de avance alta; contrario a esto, al combinar altas velocidades de corte y de avance, el factor de delaminación de entrada aumenta.

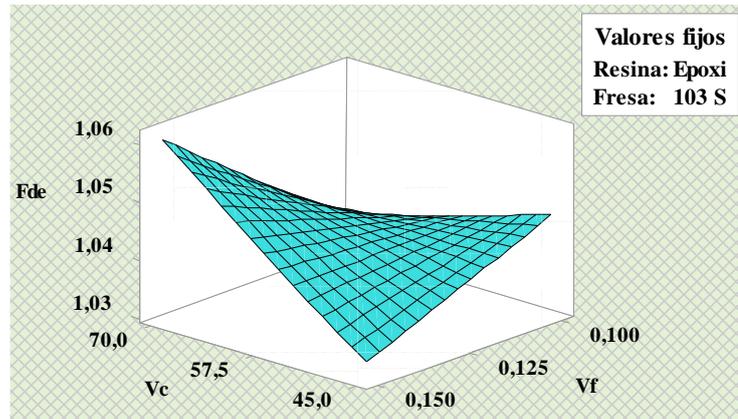


Figura 3.24 Análisis de superficie del Fde vs V_c , V_f ; para resina Epoxi y la Fresa 103 S.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Se visualiza en la figura 3.25, los valores que el factor de delaminación de entrada toma, en función de la velocidad de corte y de la velocidad de avance; en una matriz de resina Epoxi, con la herramienta 107 D. En esta gráfica que combina los factores categoricos especificados anteriormente, se observa que el punto en el que se obtiene el valor más bajo del factor de delaminación de entrada es al combinar una velocidad de corte baja y una velocidad de avance alta; contrario a esto, al combinar altas velocidades de corte y de avance, el factor de delaminación de entrada aumenta.

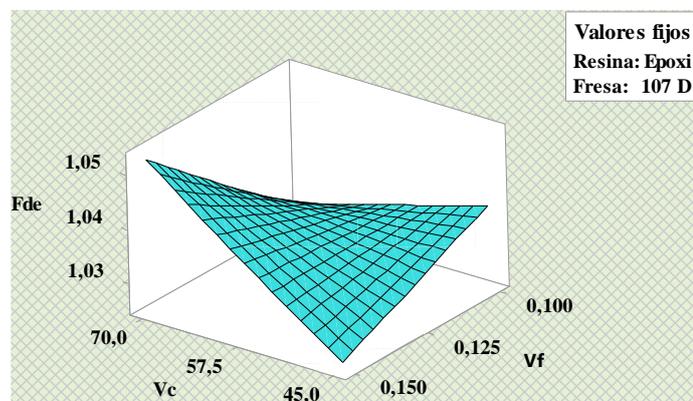


Figura 3.25 Análisis de superficie del Fde vs V_c , V_f ; para resina Epoxi y la Fresa 107 D.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Optimización del Factor de delaminación de entrada

Utilizando la función de deseabilidad, se logra englobar los cuatro factores analizados y poder definir una única combinación como óptima para el factor de delaminación de entrada, esto se describe en la figura 3.26. La base del análisis de la función de deseabilidad radica en estudiar las respuestas predichas por el modelo.

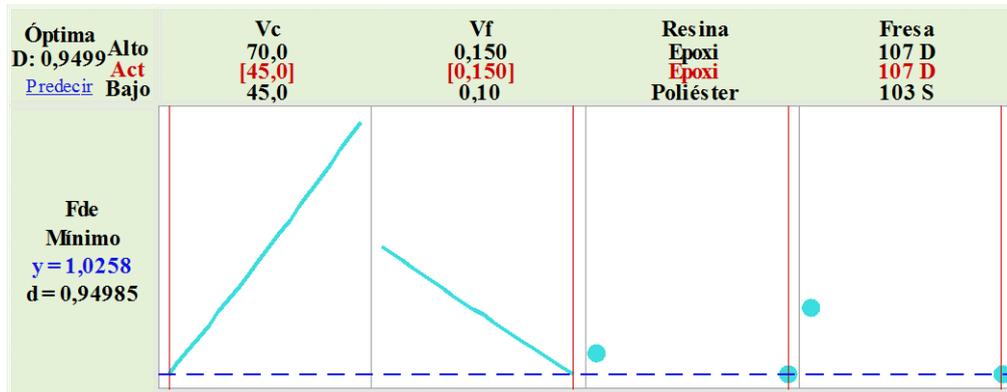


Figura 3.26 Análisis de los factores óptimos para obtener el Fde mínimo.

Fuente: Minitab® Statistical Software

El punto óptimo, con los respectivos niveles de cada parámetro de corte, se detalla en la tabla 3.6. Los parámetros o factores optimizados son: velocidad de corte, velocidad de avance, tipo de resina y tipo de herramienta.

Tabla 3.6 Valores predichos del punto óptimo del Fde

Factores	Velocidad corte (m/min)	45
	Velocidad avance (min/rev)	0,15
	Resina	Epoxi
	Fresa	107 D
Respuesta	Factor de delaminación de entrada	1,02580

Fuente: Autor

3.1.2.2. Factor de delaminación de salida (Fd_s)

Se efectúa un análisis inicial involucrando todos los términos de un modelo cuadrático completo, con el fin de generar tras la aplicación del ANOVA el diagrama de Pareto de los efectos, como se visualiza en la figura 3.27; para poder descartar efectos que no influyan significativamente en el factor de delaminación de salida.

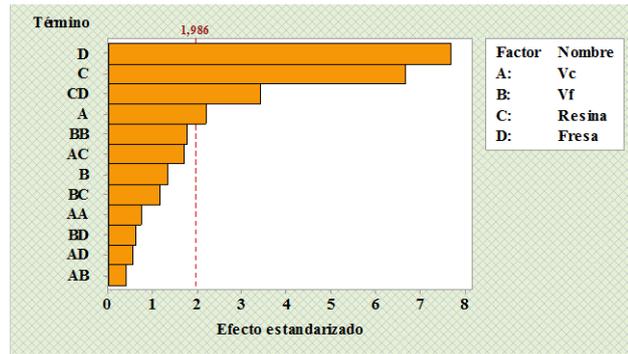


Figura 3.27 Análisis de Pareto de los efectos para el Fds.

Fuente: Minitab® Statistical Software

El efecto del término cuadrático de la velocidad de avance y el efecto de la interacción de la velocidad de corte con el tipo de resina, están cerca de ser estadísticamente significativos, por lo que a criterio del investigador se consideran importantes y se incluyen en el modelo posteriormente analizado.

Adicional al diagrama de Pareto, nos interesa conocer si los datos analizados cumplen con los supuestos paramétricos, por lo que en la figura 3.28; se verifica normalidad, igualdad de varianza e independencia en los residuos del factor de delaminación de salida, hay que entender que el cumplimiento de los supuestos en los residuos se traduce en el cumplimiento de los supuestos en los datos.

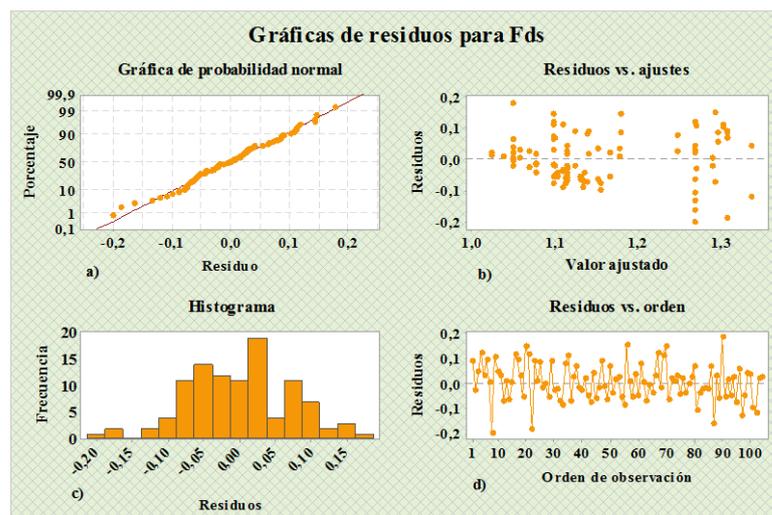


Figura 3.28 Análisis de residuos de Fds: a) Gráfica de probabilidad de normalidad, b) Gráfica de residuos vs ajustes, c) Gráfica de frecuencias vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la figura 3.28 se incluye la gráfica de probabilidad normal, en la cual se puede notar un patrón no normal, debido a la existencia de puntos que se alejan demasiado de la línea recta; también podemos visualizar la gráfica de residuos versus ajustes, con la que se verifica el supuesto de igualdad de varianzas, en este caso no cumple dicho supuesto al notar que la dispersión de residuos crece al aumentarse los ajustes; finalmente revisamos la gráfica de residuos versus orden, en la que los residuos no presentan tendencias o patrones, mostrando que existe independencia entre ellos.

Para plantear el nuevo modelo, es necesario; adicional a la eliminación de términos no significativos, transformar los datos originalmente medidos para conseguir que cumplan con los supuestos paramétricos anteriormente evaluados.

Tabla 3.7 ANOVA para el Fds.

Fuente de Variación	G. L.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor-p
Modelo	7	0,59011	0,084302	17,70	0,000
Vc	1	0,03594	0,035944	7,55	0,007
Vf	1	0,00901	0,009013	1,89	0,172
Resina	1	0,20507	0,205066	43,06	0,000
Herramienta	1	0,27684	0,276841	58,13	0,000
Vf * Vf	1	0,01664	0,016636	3,49	0,065
Vc * Resina	1	0,01857	0,018568	3,90	0,051
Resina * Fresa	1	0,02804	0,028043	5,89	0,017
Error	96	0,45719	0,004762		
Falta de ajuste	28	0,18594	0,006641	1,66	0,045
Error puro	68	0,27126	0,003989		
Total	103	1,04731			

Fuente: Autor

Con el nuevo modelo, se analiza la variabilidad presente mediante el ANOVA que se detalla en la tabla 3.7, ahí se visualiza que hay diferencias significativas en las medias poblacionales de cada tratamiento, contrastando las significancias calculada y predefinida de 0,000 y 0,05; respectivamente, además se entiende que el modelo explica el 56,35 % de la variabilidad del factor de delaminación de salida.

Para saber que se cuenta con la exactitud de los valores de significancia calculada, es necesario que se verifiquen los supuestos de los residuos del nuevo modelo con los datos transformados.

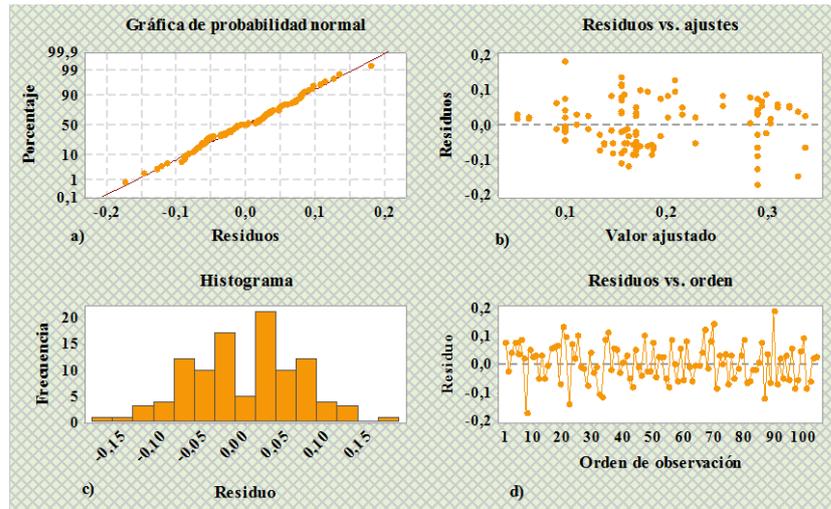


Figura 3.29 Análisis de residuos de Fds transformado: a) Gráfica de probabilidad de normalidad, b) Gráfica de residuos vs ajustes, c) Gráfica de frecuencias vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden

Fuente: Minitab® Statistical Software

Es prudente corroborar, la gráfica de probabilidad normal donde se ve que los puntos se acercan mucho más a la línea recta; la gráfica de residuos versus ajustes, en la que la dispersión de los residuos se mantiene constante conforme aumenta el ajuste y la gráfica de residuos versus orden, en la cual los residuos siguen sin presentar alguna tendencia o patrón.

Ya verificando el cumplimiento de los supuestos y para tener una interpretación más gráfica de lo que ocurre con cada término del modelo y sus respectivos efectos, se analiza en la figura 3.30, el diagrama de Pareto del modelo final.

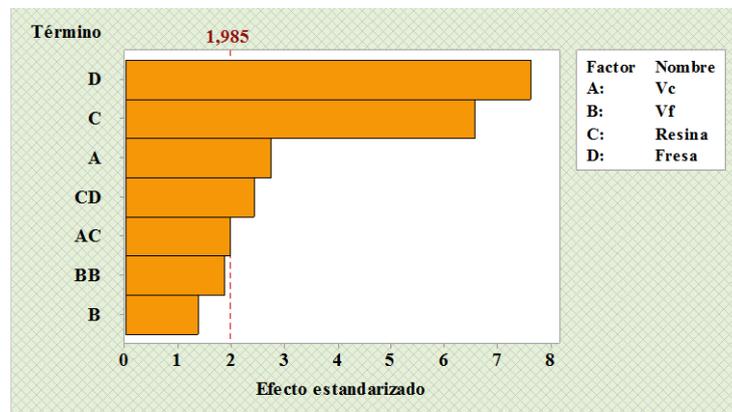


Figura 3.30 Análisis de Pareto del nuevo modelo de los efectos destacados para el Fds

Fuente: Minitab® Statistical Software

Con el diagrama de Pareto se reafirma la marcada influencia de los efectos del tipo de herramienta, hay que recalcar que se incluyó en el modelo final los efectos del término cuadrático de la velocidad de avance, a pesar de que se haya obtenido una significancia calculada de 0,065; a criterio del investigador se cree que la variabilidad de este efecto es importante para el factor de delaminación de entrada.

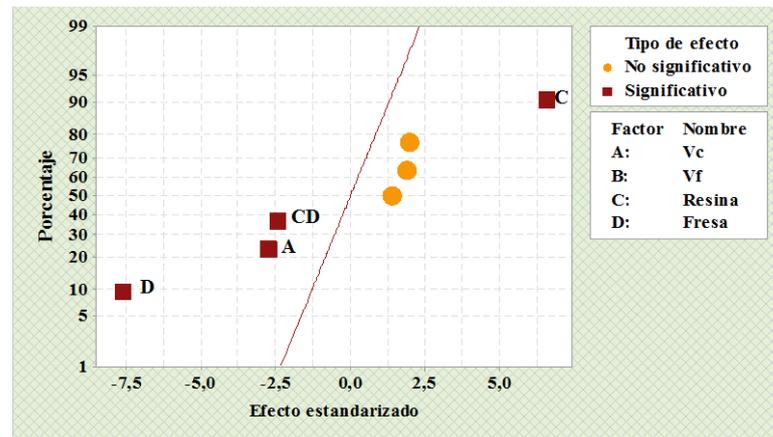


Figura 3.31 Análisis de los efectos significativos de probabilidad normal del Fds.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para entender la manera de cómo cada parámetro afecta al factor de delaminación de salida, se examina la gráfica de probabilidad normal de los efectos en la figura 3.31, con la que se puede asegurar que conforme se suba el nivel del tipo de resina; el factor de delaminación de salida aumenta. Sin embargo, conforme se sube el nivel del tipo de herramienta, de la velocidad de corte, de la interacción del tipo de resina con el tipo de herramienta; el factor de delaminación de salida disminuye.

De manera particular se visualiza en la figura 3.32 los efectos principales de cada factor, con el que se entiende el efecto no significativo de la velocidad de avance al evidenciar gráficamente que la curva correspondiente al factor, no presenta pendiente pronunciada; contrario a esto, el efecto de la velocidad de corte, del tipo de resina y del tipo de herramienta si influyen significativamente en el factor de delaminación de salida, entendiéndose esto, por lo pronunciado de las pendientes de sus líneas.

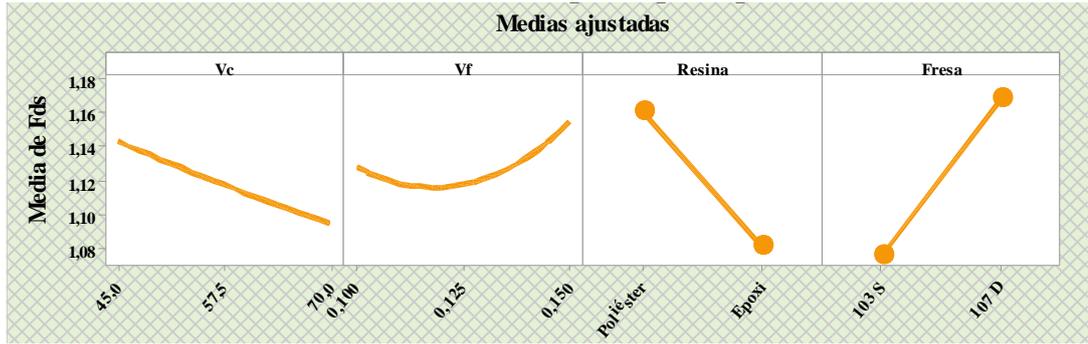


Figura 3.32 Análisis de efectos principales del Fds.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Al igual que se pueden visualizar los efectos principales; en la figura 3.33 podemos apreciar los efectos de interacción presentes en el modelo final analizado, de esta gráfica se entiende que la notable diferencia entre las pendientes de las líneas en una misma gráfica de interacción, indica que existe efecto de interacción entre los factores de dicha gráfica.

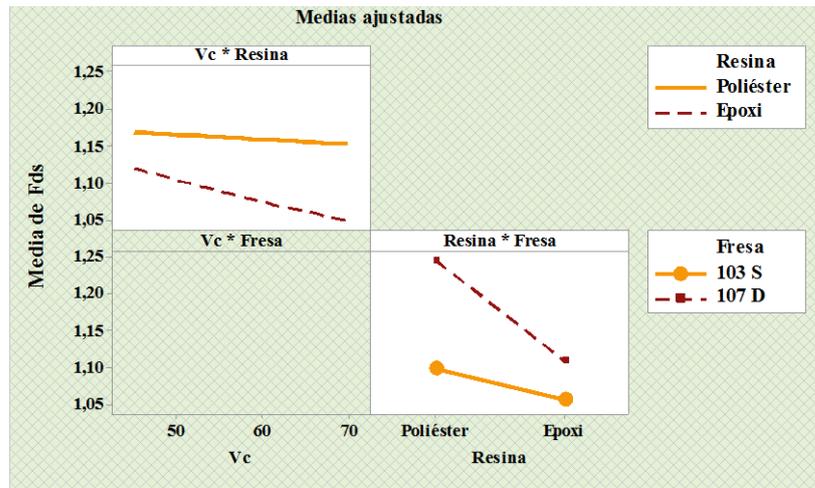


Figura 3.33 Análisis de interacciones del Fds.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Es así que son significativos los efectos de interacción entre: la velocidad de corte con el tipo de resina y el tipo de resina con el tipo de herramienta.

Para completar el análisis en base a la relación entre los parámetros de corte y el factor de delaminación de entrada, es necesario examinar las superficies generadas mediante las ecuaciones de regresión del ANOVA, hay que recordar que, debido a los dos factores categóricos empleados en el análisis, se obtienen 4 ecuaciones de regresión.

En la figura 3.34 se visualiza los valores que el factor de delaminación de salida toma, en función de la velocidad de corte y de la velocidad de avance; en una matriz de resina Poliéster, con la herramienta 103 S. En esta gráfica que combina los factores categóricos especificados anteriormente, se observa que el punto en el que se obtiene el valor más bajo del factor de delaminación de salida es al combinar una alta velocidad de corte y una velocidad media de avance; contrario a esto, al combinar una baja velocidad de corte y una alta velocidad de avance, el factor de delaminación de salida aumenta.

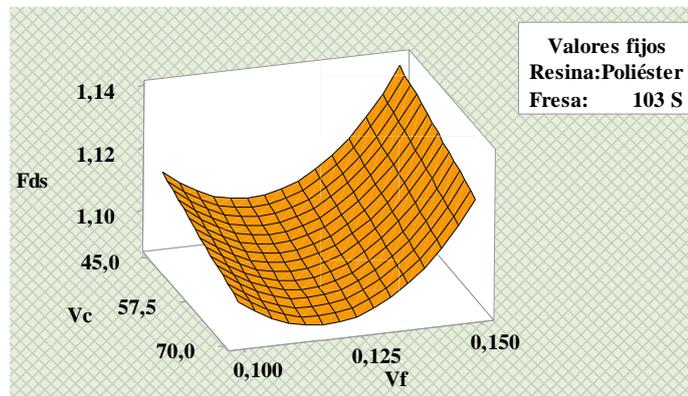


Figura 3.34 Análisis de superficie del Fds vs V_c , V_f ; para resina Poliéster y la herramienta 103 S.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Se visualiza en la figura 3.35, los valores que el factor de delaminación de salida toma, en función de la velocidad de corte y de la velocidad de avance; en una matriz de resina Poliéster, con la herramienta 107 D. En esta gráfica que combina los factores categóricos especificados anteriormente, se observa que el punto en el que se obtiene el valor más bajo del factor de delaminación de salida es al combinar una alta velocidad de corte y una velocidad media de avance; contrario a esto, al combinar una baja velocidad de corte y una alta velocidad de avance, el factor de delaminación de salida aumenta.

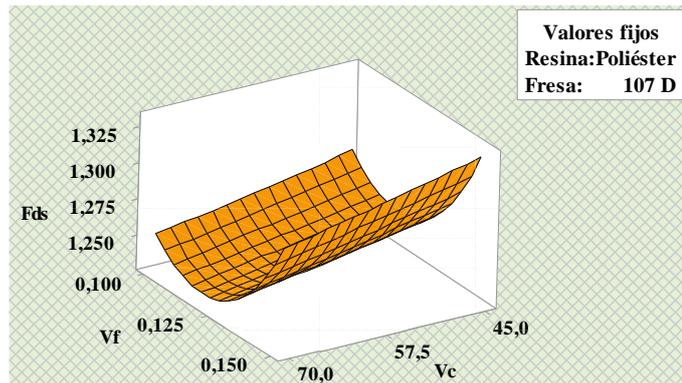


Figura 3.35 Análisis de superficie del Fds vs V_c , V_f ; para resina Poliéster y la herramienta 107 D.

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la figura 3.36 se visualiza los valores que el factor de delaminación de salida toma, en función de la velocidad de corte y de la velocidad de avance; en una matriz de resina Epoxi, con la herramienta 103 S. En esta gráfica que combina los factores categóricos especificados anteriormente, se observa que el punto en el que se obtiene el valor más bajo del factor de delaminación de salida es al adoptar una alta velocidad de corte y una velocidad de avance relativamente pequeña; contrario a esto, al combinar una baja velocidad de corte y una alta velocidad de avance, el factor de delaminación de salida incrementa.

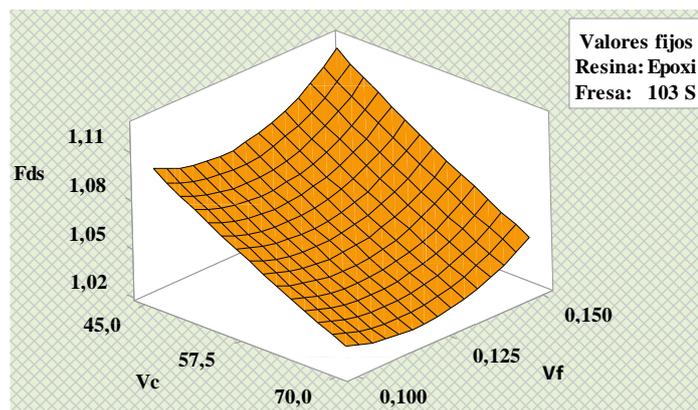


Figura 3.36 Análisis de superficie del Fds vs V_c , V_f ; para resina Epoxi y la herramienta 103 S.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Se visualiza en la 3.37, los valores que el factor de delaminación de salida toma, en función de la velocidad de corte y de la velocidad de avance; en una matriz de resina

Epoxi, con la herramienta 107 D. En esta gráfica que combina los factores categóricos especificados anteriormente, se observa que el punto en el que se obtiene el valor más bajo del factor de delaminación de salida es al combinar una velocidad de corte alta y una velocidad de avance relativamente baja; diferente a esto, al combinar una baja velocidad de corte y un alto avance, el Fds aumenta.

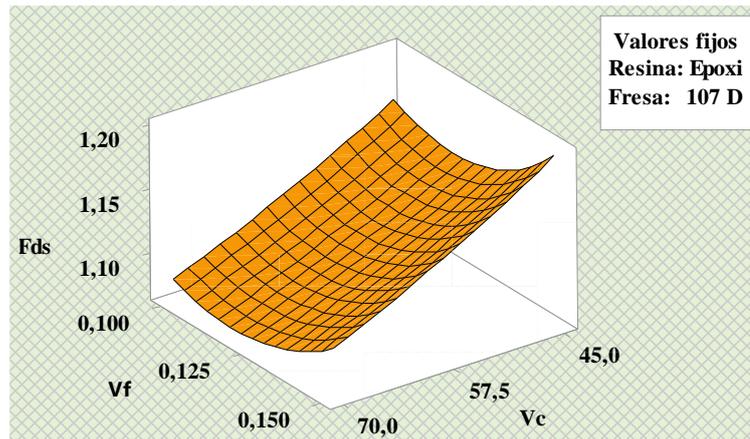


Figura 3.37 Análisis de superficie del Fds vs V_c , V_f ; para resina Epoxi y la fresa 107 D.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Optimización del Factor de delaminación de salida

Utilizando la función de deseabilidad, se logra englobar los cuatro factores analizados y poder definir una única combinación como óptima para el factor de delaminación de salida, esto se describe en la figura 3.38. La base del análisis de la función de deseabilidad radica en estudiar las respuestas predichas por el modelo.

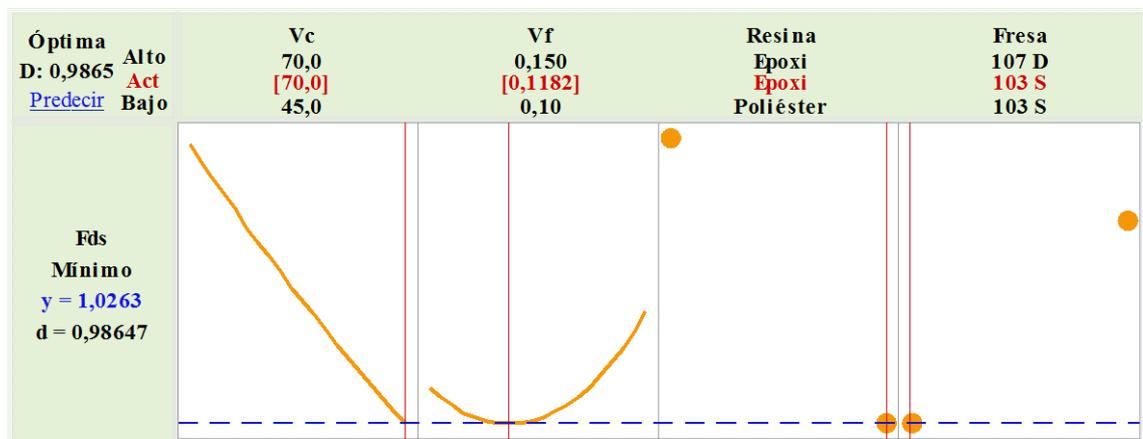


Figura 3.38 Análisis de optimización del Fds.

Fuente: Minitab® Statistical Software

El punto óptimo, con los respectivos niveles de cada parámetro de corte, se detalla en la tabla 38. Los parámetros o factores optimizados son: velocidad de corte, velocidad de avance, tipo de resina y tipo de herramienta.

Tabla 3.8 Valores predichos del punto óptimo del Fds.

Factores	Velocidad corte (m/min)	70
	Velocidad avance (min/rev)	0,1
	Resina	Epoxi
	Herramienta	103 S
Respuesta	Factor de delaminación de salida	1,02631

Fuente: Autor

3.1.2.3. Optimización simultánea para R_z , F_{de} , F_{ds}

La figura 3.39, se representa la optimización simultánea donde se engloba el valor de las deseabilidades individuales, estimadas en base a los valores predichos se emplea un único valor analizable objetivamente, este es la deseabilidad compuesta

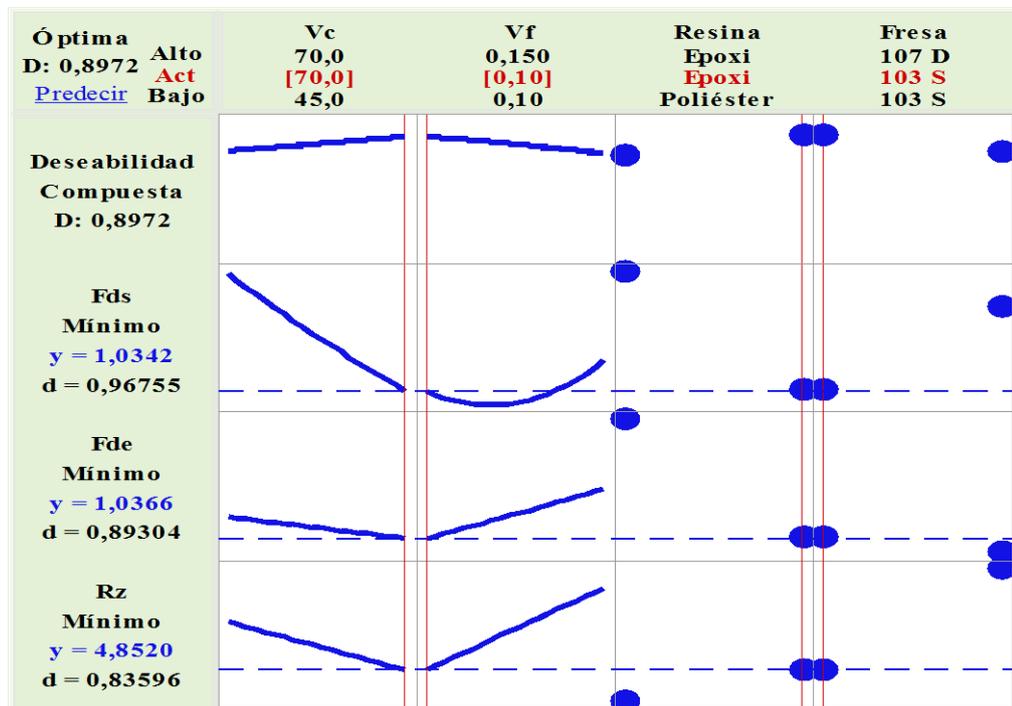


Figura 3.39 Análisis de optimización global.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los niveles de cada factor que optimizan el Rz, Fde y Fds, respectivamente minimizando el valor de las mismas, se detallan en la tabla 3.9, en donde es preciso recalcar que el punto allí citado es producto de las respuestas predichas por el modelo.

Tabla 3.9 Valores predichos para el punto óptimo simultaneo.

Factores	Velocidad corte (m/min)	70
	Velocidad avance (min/rev)	0,10
	Resina	Epoxi
	Herramienta	103 S
Respuesta	Rugosidad μm	4,8520
	Factor de delaminación de entrada	1,0366
	Factor de delaminación de salida	1,0342

Fuente: Autor

La verificación de los supuestos para la aplicación de pruebas paramétricas para el factor de delaminación de entrada y salida como se puede observar en las gráficas 3.26 y 3.28 respectivamente no se puede alcanzar a cumplir con dichos supuestos debido a que la metodología utilizada no es preciso, puesto que, el método usado para medir la delaminación es empírico a razón que da a cometer un error puro generada en la medición esto por la existencia de condiciones subjetivas, además, en artículos científicos se verifica que no existe un factor de delaminación establecido aceptable para la medición de la delaminación, sin embargo fue necesario aplicar el análisis experimental para establecer las condiciones óptimas de trabajo y así establecer los parámetros adecuados para mecanizar dichos materiales compuestos, la misma que se describen como factor de delaminación bajo en el mecanizado.

3.1.2.4. Ensayos UV

3.1.2.4.1. Evaluación visual

Las probetas de RP+CA, expuestas a 50, 100 y 150 horas de exposición UV en la cámara de arco de xenón no presentan cambio a apreciable en color, textura y aspecto. Sin embargo, las probetas de RE+CA, expuestas a las mismas condiciones se puede observar que a 50 horas el número de probetas ensayadas presenta un cambio de color amarillento leve, no presenta cambio en textura y aspecto. Las probetas a 100 horas toman un color amarillento moderado y tampoco presentan cambio en textura y aspecto, y por ultimo las muestras ensayadas a 150 horas también se torna de color

amarillento moderado no presenta cambio en la textura, pero si presentan desgaste de la superficie y perdida de brillo.

3.1.2.4.2. Ensayos mecánicos

En la siguiente figura 3.4 se observa el comportamiento de la resistencia mecánica que alcanzan los dos tipos de compuesto (RP+CA y RE+CA).

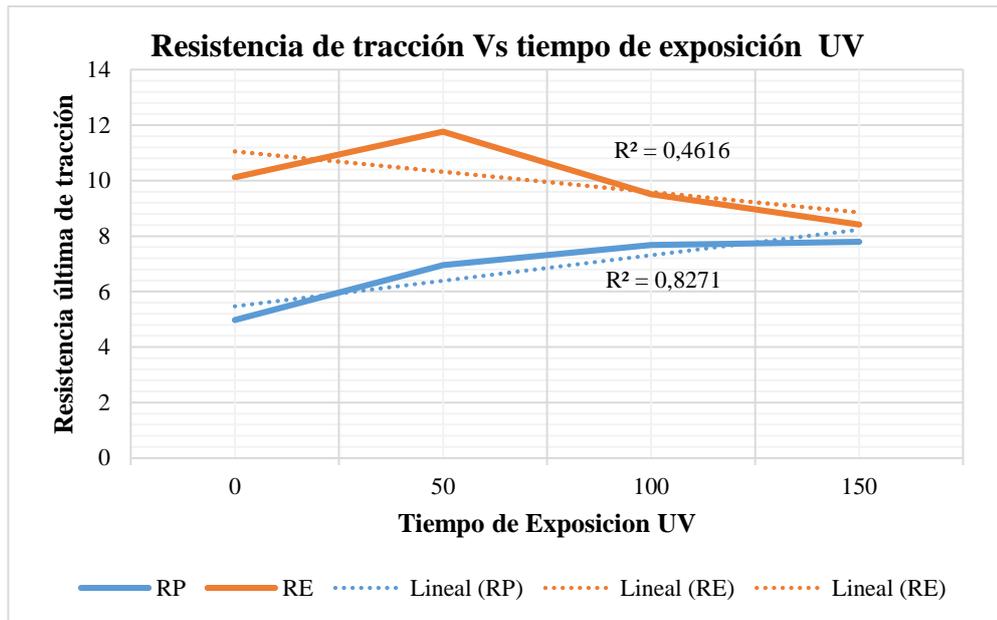


Figura 3.40 Resultado Final del comportamiento de las muestras RP+CA y RE+CA

Fuente: Autor

La figura 3.40 muestra que el material compuesto de RP+CA ensayadas a los diferentes tiempos de exposición (0, 50, 100 y 150 horas) tiene un comportamiento ascendente ya que, a un tiempo máximo de exposición de 150 horas el material alcanza una resistencia a la tensión alta mostrando un comportamiento lineal del 0,8271, sin embargo, en el material compuesto con RE+CA ocurre lo contrario ya que a 0 y 50 horas de exposición la resistencia a la tensión sube considerablemente pero a partir de este tiempo existe una pérdida de resistencia a la tensión mostrando un comportamiento lineal del 0,4616.

Con esto se puede concluir que el compuesto con RP+ CA muestra mejor propiedad en la resistencia mecánica que el compuesto con RE+CA, y esto se evidencia en los

ensayos UV ya que el material con RP+CA en los tres tiempos de exposición no presenta cambio significativo en color, textura y aspecto.

3.2.Verificación de hipótesis

Para verificar la hipótesis establecida al inicio de la investigación, “*La variación de los parámetros de corte y el tipo de herramienta usados en el mecanizado del compuesto influyen en la calidad superficial del material*”, para ello, es necesario examinar las significancias calculadas en el ANOVA de cada respuesta analizada, por lo que es pertinente considerar las hipótesis particulares para la verificación global de la hipótesis. Cabe recalcar que, para verificar cada hipótesis establecida con anterioridad, hay que tener en cuenta que para aceptar o rechazar la hipótesis nula el p-valor calculado debe cumplir los siguientes criterios de relación, estableciendo que el nivel de significancia (α) es del 5%.

$$\text{Valor-P} \geq \alpha, \text{ Aceptamos } H_0$$

$$\text{valor-P} < \alpha, \text{ Aceptamos } H_1$$

Para entender de mejor manera el significado del p-valor es necesario entender de donde se obtiene, ya que este depende particularmente del grado de libertad que tiene el modelo, la suma de cuadrados, la media de cuadrados y del valor-F (estadístico F_0). En el anexo X se muestra la tabla general de la formulas pertinentes para obtener el valor-p, ya que para evitar un proceso largo para obtener este valor el software nos evita de realizar dicho proceso.

Antes de iniciar con la verificación de la hipótesis es prudente establecer la obtención del valor-p, como en todos los análisis mostradas en las tablas 3.5, 3.5.y 3.7 se obtuvo un valor-p de $0,000 > 0,05$, ya que mientras el p-valor se acerque más a cero relevancias en los resultados.

Cabe recalcar que otra forma de aceptar o rechazar H_0 es comparando el valor crítico ponderado (F), para $\alpha = 0,05$, considerando: los grados de libertad y el error obtenido en cada análisis de ANOVA, mostrado en el apéndice A4 de [58]. Entonces:

$$\text{Rechazamos } H_0: \text{ si } F_0 > F$$

- F_0 : Valor estadístico
- F : Valor crítico ponderado

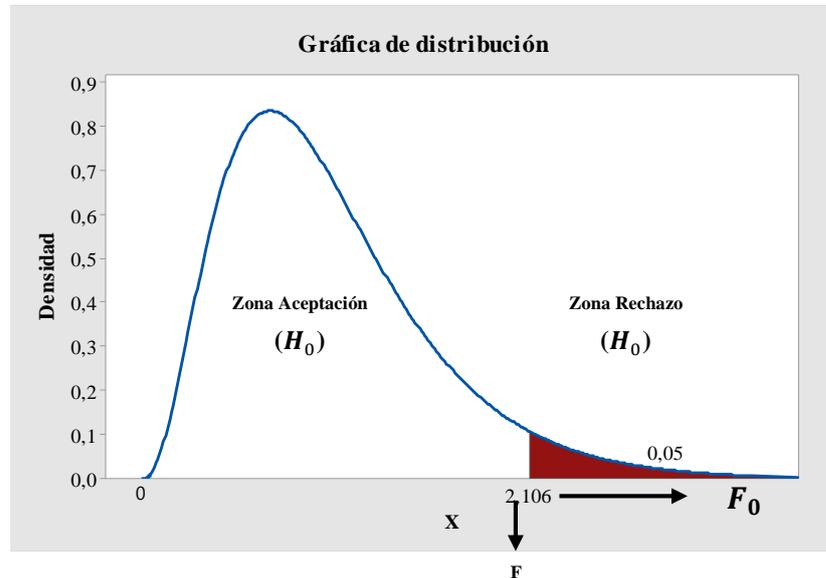


Figura 3.41 Gráfica de distribución de la zona de aceptación o rechazo de H_0

De esta manera se rechaza H_0 si $\text{valor-p} < \alpha$, donde el valor-p es el área bajo la distribución de F a la derecha del estadístico F_0 , es decir, el $\text{valor-p} = P(F > F_0)$ es la significancia observada, en la cual se puede concluir que existen significancia en los tratamientos, ya que mientras más grandes sean los datos el valor-p tiende acercarse más a cero y el estadístico se incrementa, mientras que a menor tamaño de datos el valor-p tiende a cercarse a 0,05 y el estadístico baja.

3.2.1. Verificación de hipótesis para la rugosidad superficial (R_z)

La siguiente tabla 3.10 muestra un resumen de la tabla 3.3 de donde se establece el valor-p del modelo que contienen los factores de velocidad de corte, avance, tipo de herramienta y resina, mismos que tiene influencia sobre la rugosidad superficial.

Tabla 3.10 Resumen del valor-p del modelo de regresión lineal de la rugosidad

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Valor-F	Valor-P	F
Modelo	7	96,185	8,1016	67,8	0,000	2,106
Error	96	18,399	0,2022			
Total	103	115,618				

Fuente: Autor

Tabla 3.11 Verificación de hipótesis para la rugosidad superficial (Rz)

Rugosidad superficial (Rz)	
Hipótesis:	<p>H_0: “La variación de los parámetros de corte y el tipo de herramienta no influyen en la rugosidad”.</p> <p>H_1: “La variación de los parámetros de corte y el tipo de herramienta influyen en la rugosidad”.</p>
<p>Valor-p 0,000<0,05</p> <p>Valor-F 68,8>2,106</p>	Se rechaza la hipótesis nula, por lo que en base a la información recolectada, se puede afirmar que los parámetros de corte y el tipo de herramienta influyen significativamente en la rugosidad

Fuente: Autor

3.2.2. Verificación de hipótesis para el Factor de delaminación de entrada

La siguiente tabla 3.12 muestra un resumen de la tabla 3.5 de donde se establece el valor-p del modelo que contienen los factores de velocidad de corte, avance, tipo de herramienta y resina, mismos que tiene influencia sobre la rugosidad.

Tabla 3.12 Resumen del P-valor del modelo de regresión lineal del Fde

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Valor-F	Valor-P	F
Modelo	8	0,07972	0,00997	20,76	0,000	2,037
Error	95	0,04560	0,00045			
Total	103	0,12533				

Fuente: Autor

Tabla 3.13 Verificación de hipótesis para el Fde

Factor de delaminación de entrada	
Hipótesis:	<p>H_0: “La variación de los parámetros de corte y el tipo de herramienta no influyen en el factor de delaminación de entrada”.</p> <p>H_1: “La variación de los parámetros de corte y el tipo de herramienta influyen en el factor de delaminación de entrada”.</p>
<p>Valor-p 0,000<0,05</p> <p>Valor-F 20,76>2,037</p>	Se rechaza la hipótesis nula, por lo que en base a la información recolectada, se puede afirmar que los parámetros de corte y el tipo de herramienta influyen significativamente en el factor de delaminación de entrada.

Fuente: Autor

3.2.3. Verificación de hipótesis para el Factor de delaminación de salida

La siguiente tabla 3.14 muestra un resumen de la tabla 3.7 de donde se establece el valor-p del modelo que contienen los factores de velocidad de corte, avance, tipo de herramienta y resina, mismos que tiene influencia sobre la rugosidad.

Tabla 3.14 Resumen del valor-p del modelo de regresión lineal del Fds

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Valor-F	Valor-P	F
Modelo	7	0,59011	0,085302	17,7	0,000	2,106
Error	96	0,45719	0,004762			
Total	103	1,3663				

Fuente: Autor

Tabla 3.15 Verificación de hipótesis para el Fds

Factor de delaminación de salida	
Hipótesis:	<p>H_0: “La variación de los parámetros de corte y el tipo de herramienta no influyen en el factor de delaminación de salida”.</p> <p>H_1: “La variación de los parámetros de corte y el tipo de herramienta influyen en el factor de delaminación de salida”.</p>
<p>Valor-p 0,000<0,05</p> <p>Valor-F 17,7>2,106</p>	<p>Se rechaza la hipótesis nula, por lo que en base a la información recolectada, se puede afirmar que los parámetros de corte y el tipo de herramienta influyen significativamente en el factor de delaminación de salida.</p>

Fuente: Autor

Conclusión general de la verificación de la hipótesis

La verificación de la hipótesis nos permite llegar a la conclusión final una vez evaluado los parámetros de corte para la rugosidad superficial, factor de delaminación de entrada y salida, estableciendo de esta manera de que existe una marcada influencia de los parámetros de corte (velocidad de corte y avance) usados en el proceso de mecanizado del material compuesto de matriz poliéster y epoxi reforzado con cascarilla de arroz, ya que en base a la optimización realizada para cada respuesta se puede apreciar valores mínimos de rugosidad, Fde y Fds de 4,852, 1,037 y 1,034 respectivamente, al mecanizar el material compuesto de RE+CA al combinar una Vc de 70 m/mim, Vf de 0,1 min /rev, utilizando la fresa 103 S.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El modelo de experimentación basado en el método de superficie de respuesta estableció una matriz de diseño formado por un arreglo de 52 corridas base con dos réplicas, para la realización del proceso de ranurado en los materiales compuestos, considerando factores de entrada como los parámetros de corte, tipo de herramienta y resina, obteniendo 8 combinaciones y 5 puntos centrales por cada herramienta estableciendo corridas aleatorias para un análisis veras de los datos.
- Los materiales compuestos de matriz polimérica reforzada con cascarilla de arroz fueron elaborados con fracciones volumétricas de 83% de matriz y 17% de refuerzo ya que, en investigaciones previas enfocadas a ensayos de tracción, flexión e impacto se encontró un mejor comportamiento a las diferentes propiedades mecánicas con una contribución del 90.91%.
- La estratificación a compresión por ajuste mecánico normal permitió obtener una buena compactación entre la matriz y el refuerzo, estableciéndose así una superficie uniforme en el material compuesto, además, para mejorar la absorción entre la matriz y el refuerzo siempre será necesario ubicar una capa inicial de resina para eliminar la existencia de porosidad y espacio vacíos propios de la cascarilla.
- Mediante la deseabilidad global obtenida de 0,8972 generada para la rugosidad superficial y factor de delaminación (entrada y salida) se determinó la condición óptima que resulta de utilizar el material compuesto de RE+CA para el mecanizado a velocidad de corte de 70 (m/min), avance de 0,1 (mm/rev), utilizando la herramienta 103 S, dando como resultado valores de delaminación de entrada y salida mínimos de 1,0366 y 1,0342 respectivamente y rugosidad superficial (Rz) de 4,852 μm .

- Se obtiene un factor de delaminación de entrada bajo a medida que la velocidad de corte disminuye de 70 a 45 (m/min) y el avance aumenta de 0,1 a 0,15 (mm/rev) utilizando la herramienta 107-D, sin embargo, a medida que la velocidad de corte aumenta de 45 a 70 (m/min) y el avance disminuye de 0,15 a 0,1 (mm/rev) utilizando la herramienta 103-S se obtiene un factor de delaminación de salida bajo, esto al mecanizar RE+CA para los dos casos.
- La rugosidad superficial mínima se manifiesta cuando la velocidad de corte aumenta de 45 a 70 (m/min) y el avance disminuye de 0,15 a 0,1 (mm/rev) mecanizando RP+CA, con la herramienta 103 –S.
- El análisis del método de superficie de respuesta realizado en la rugosidad superficial y factor de delaminación (entrada y salida) estable un modelo de regresión general que explica el 83,19%, 56,35% y 63,51% de la variabilidad de cada respuesta, respectivamente.
- Los ensayos adicionales de UV y resistencia mecánica a tracción permitió observar variaciones en los materiales de matriz poliéster y epoxi reforzados con cascarilla de arroz por lo que se concluye que el material de matriz poliéster alcanza una resistencia máxima de 7,799 MPa a 150 horas, mientras que material de matriz epoxi a 50 horas alcanza una resistencia de 11,76 MPa cuando el tiempo de exposición es de 50 horas.

4.2.Recomendaciones

- Para obtener una excelente interfaz entre la matriz y el refuerzo se recomienda verificar que la cascarilla de arroz este completamente seca, además asegurarse que esta, no tenga ninguna clase de impurezas como piedras, arroz, celulosa, etc.
- Para obtener un acabado aceptable en la superficie del material compuesto es importante aplicar cera desmoldante suficientemente en toda la superficie del molde.
- Considerar las pérdidas generadas al momento de realizar el proceso de la elaboración del material compuesto para evitar que se provoque deficiencia de resina y cascarilla, y por ende espacios vacíos en el acabado superficial.

- El proceso de estratificación por compresión requiere de un tiempo de secado entre 4-12 horas máximo de curado, por lo que es suficiente tiempo para realizar a desmoldar el material, con la debida precaución.
- Para evitar mediciones a diferentes resoluciones de las imágenes en el microscopio es necesario calibrar el equipo antes de las mediciones, puesto que se recomienda una sola calibración por lo menos hasta terminar las primeras 26 réplicas, esto con el fin de obtener mediciones óptimas.
- Con el fin de evitar pequeñas vibraciones y movimientos del palpador del rugosímetros en prudente considerar los parámetros del rugosímetro como longitud de recorrido ($\lambda_c = 0,8\text{mm}$), calibración a $2,94 \mu\text{m}$, además, es recomendable utilizar un soporte de altura regulable para el rugosímetros, esto con el fin de optimizar el tiempo de medición y movimientos al momento del recorrido del palpador.
- Para lograr que el experimento se realice dentro de la región de experimentación se puede fijar un valor de α de 1.
- Es importante aleatizar las corridas experimentales ya que la validación del análisis de los datos tiene que ver directamente con la aleatorización y replicas consideradas en el diseño experimental.
- Para cuantificar el porcentaje de variabilidad presente en los datos generados por el modelo son deseables valores próximos a 100, sin embargo, para fines de predicción se recomienda un coeficiente de determinación ajustado de al menos 70%.

4.3.Referencias bibliográficas

- [1] W. D. Callister, "Materials Science an Engeneering an Introduction", United States of America: Wiley Binder Version ISBN, 2014.
- [2] W. Smith, «"Materiales compuestos",» de *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*, Cuarta ed., México, Mc Graw Hill, 2006, p. 641.
- [3] S. Witayakran, W. Smitthipong, R. Wangpradid, R. Chollakup y P. Clouston, «"Natural Fiber Composites: Review of Recent Automotive Trends",» *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, pp. 1-9, 2017.
- [4] Duanbason, «"Materiales compuestos",» [En línea]. Available: <http://www.duanbason.info/materiales-compuestos-pdf-c6c118/>. [Último acceso: 11 12 2018].
- [5] D. Ramirez, «Estudio preliminar de un material compuesto de matriz termoplástica con adición particulada en caracterización,» 2015.
- [6] S.-J. Park y M.-K. Seo, «"Chapter 7: Types of Composites",» *Interface Science and Technology*, vol. 18, pp. 501-629, 2011.
- [7] A. B. Dietrich, "Materiales Compuestos: Pocesos de Fabricación de Embarcaciones", Barcelona: Edicions UPC, 2005.
- [8] A. D. Ilioa, F. Lambiase y A. Paoletti, «"Grindability Assessment of Metal Matrix Composites",» *Procedia CIRP*, vol. 67, pp. 313-318, 2018.
- [9] D. D.L.Chung, «"Metal:Matrix Composites",» *Carbon Composites (Second Edition); Composites with Carbon Fibers, Nanofibers and Nanotubes*, vol. 2, pp. 532-562, 2017.
- [10] D. D.L.Chung, «"Ceramic: Matrix Composites",» *Carbon Composites (Second Edition):Composites with Carbon Fibers, Nanofibers and Nanotubes*, vol. 2, pp. 467-531, 2017.

- [11] S. Barroso, J. Gil y A. Camacho, «Materiales compuestos reforzados con partículas,» de *Introducción al conocimiento de los materiales y sus aplicaciones*, Madrid, IBS electrónico, 2010, p. 690.
- [12] A. Moral y M. Nogueira, «Materiales de Última Generación y Materiales Eficientes, Materiales Compuestos- Composite,» Universidad de Alcalá, 2007.
- [13] S. Barroso y J. Ibáñez, «Clasificación de los materiales compuestos,» de *Introducción al conocimiento de los materiales*, Madrid, ISBN electrónico, 2014, p. 412.
- [14] P.Kapranos, D.Brabazon, S.P.Midson, S.Naher y T.Haga, «Advanced Casting Methodologies: Inert Environment Vacuum Casting and Solidification, Die Casting, Compocasting, and Roll Casting,» *Módulo de Referencia en Ciencia de Materiales e Ingeniería de Materiales*, vol. 5, pp. 3-37, 2014.
- [15] P. Bussetta y N. Correia, «Numerical forming of continuous fibre reinforced composite material: A review,» *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 113, pp. 12-31, 2018.
- [16] «Ingemecanica "Estudio de los Materiales Compuestos",» [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn114.html>. [Último acceso: 20 Diciembre 2018].
- [17] I. UNAM, «Materiales Compuesto,» [En línea]. Available: <http://www.iim.unam.mx/mbizarro/Materiales%20compuestos.pdf>. [Último acceso: 29 11 2018].
- [18] B. Eduardo, R. Miguel, M. Bogart y G. Claudia, «Desarrollo de un material compuesto ultraligero para construir la plataforma de una mesa vibradora,» *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 14, n° 4, pp. 595-611, 2013.
- [19] H. Ren, X. Chen y Y. Chen, «Chapter 1 - Introduction,» de *Reliability Based Aircraft Maintenance Optimization and Applications*, AP, 2017, pp. 1-18.

- [20] E. Lalaleo, «Caracterización Mecánica del Material Compuesto de Matriz Poliéster Reforzada con Cascarilla de Arroz para Determinar las Propiedades Mecánicas en Aplicaciones Industriales,,» 2016.
- [21] M. Loos, «Chapter 2: Composites,» de *Carbon Nanotube Reinforced Composites*, USA, PDL Handbook Series, 2015, pp. 37-72.
- [22] A. Kandelbauer, G. Tondi, O. Zaske y S. Goodman, «Unsaturated Polyesters and Vinyl Esters,» *Manual de Plásticos Termoestables*, pp. 111-172, 2014.
- [23] S. Maxineasa y N. Taranu, «Life cycle analysis of strengthening concrete beams with FRP,» *Eco-Efficient Repair and Rehabilitation of Concrete Infrastructures*, pp. 673-721, 2018.
- [24] F. Jones, «Unsaturated Polyester Resins,» *Brydson's Plastics Materials*, pp. 743-772, 2017.
- [25] A. Miravete, *Los nuevos Materiales en la Construcción*, Segunda ed., España: Reverte S.A., 2002.
- [26] L. Calzado y F. Ortiz, «Eczema alérgico de contacto por resina epoxi,» *Actas Dermo-Sifiliográficas*, vol. 69, n° 9, pp. 616-618, 2005.
- [27] D. Hull, *Materiales compuestos*, Barcelona : Reverte, 2003.
- [28] D. Bhattacharyya, A. Subasinghe y N. K. Kim, «Natural fibers: Their composites and flammability characterizations,» de *Multifunctionality of Polymer Composites*, Boston, William Andrew, 2015, pp. 102-143.
- [29] R. Wool y X. Sun, «Hurricane-Resistant Houses From Soybean Oil and Natural Fibers,» de *Bio-Based Polymers and Composites*, Academic Press, 2005, pp. 448-482.
- [30] P.K.Mallick, «Thermoplastics and thermoplastic–matrix composites for lightweight automotive structures,» de *Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles*, Boca Raton Boston New York Washington, DC, Woodhead Publishing, 2010, pp. 174-207.

- [31] R. Torró, «Desarrollo y caracterización de biocomponentes enfibrados procedentes de recursos renovables. Estudio de su degradación en la tierra,» Valencia, 2010.
- [32] N.Phonphuak y P.Chindaprasirt, «ypes of waste, properties, and durability of pore-forming waste-based fired masonry bricks,» de *Eco-efficient Masonry Bricks and Blocks*, Boston, Woodhead Publishing, 2015, pp. 103-127.
- [33] C. Pérez, J. Paredes, E. Lalaleo y C. A. D. Núñez, «Numerical / experimental analysis of the mechanical properties of the matrix compound reinforced polyester with rice knockz,» *Revista CIENCIA*, vol. 19, nº 4, pp. 503-515, 2017.
- [34] F. Calero y L. Vásconez, «Desarrollo Experimental de un Aislante Térmico utilizando Cascarilla de Arroz y Aglutinantes Naturales en Planchas rígidas,» Sangolqui, 2012.
- [35] J. António, A. Tadeu, B. Marques, J. Almeida y V. Pinto, «Application of rice husk in the development of new composite boards,» *Construction and Building Materials*, vol. 176, nº 10, pp. 432-439, 2018.
- [36] K.Palanikumar, «Analyzing surface quality in machined composites,» *Machining Technology for Composite Materials*, pp. 154-182, 2012.
- [37] L. Montero, «Estudio del Mecanizado de Materiales Compuestos,» Universidad Carlos III de Madrid, Dep. Mecánica, Leganés, 2010.
- [38] E. P. Vasquez, "Análisis del proceso de ranurado en materiales compuestos: Fibra Natural mas Fibra de Vidrio mas Resina Poliéster y Fibra Natural mas Resina Poliester", Ambato: Universidad Tecnica de Ambato, Facultad de ingeniería Civil y Mecánica, 2018.
- [39] «Proceso de Fresado,» [En línea]. Available: <http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/images/8/85/Fresado.pdf>. [Último acceso: 05 01 2019].
- [40] C. F. Pérez, J. G. Paredes, R. X. Valencia, W. H. Vaca y E. P. Vásquez, «Logistic regression model for the grooving process of hybrid polyester resin

composite materials reinforced with natural fibers and fiberglass,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 446, 2018.

- [41] S. Salazar, «Fresadoras: Tipos de fresado más comunes,» España.
- [42] «Ranurado recto,» 21 07 2015. [En línea]. Available: <https://dokumen.tips/documents/ranurado-recto.html>. [Último acceso: 05 01 2019].
- [43] L. Sidorovas, «Procesos de Mecanizados Tradicionales,» Universidad Tecnológica del Centro.
- [44] G. Castro, «Mecanizado de Alta Velocidad,» Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A, 2008.
- [45] Tecnicorte, «Fresas para fibra de vidrio y material compuesto,» [En línea]. Available: <https://www.tecnocorte.com/fresa-para-fibra-de-vidrio-y-materiales-compuestos>. [Último acceso: 09 01 2019].
- [46] F. M. Cabrera, Modelos físicos y estadísticos para la caracterización del mecanizado de los materiales compuestos de matriz termoplástica, Universidad de Alverio, Dep. de Ingeniería Mecánica, 2008.
- [47] «Ikastartoak Ulhi, Procesos de mecanizado por arranque de viruta,» [En línea]. Available: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/PPFM/DPMCM/DPMCM01/es_PPFM_DP MCM01_Contenidos/website_331_parmetros_de_mecanizado.html. [Último acceso: 09 01 2019].
- [48] «Sandvik.Coroman, El proceso de fresado,» [En línea]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/milling.aspx>. [Último acceso: 09 01 2019].
- [49] C. Freyman, B. Zhao y Y.-W. Chung, «Suppression of Moisture Sensitivity of Friction in Carbon-Based Coatings,» de *Superlubricity*, 2007, pp. 295-310.

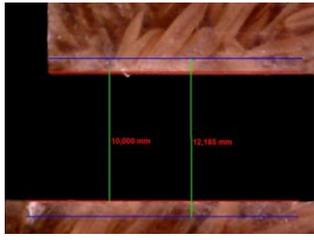
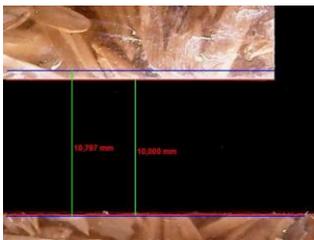
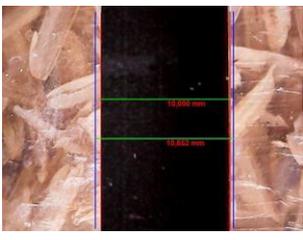
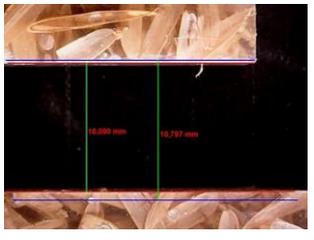
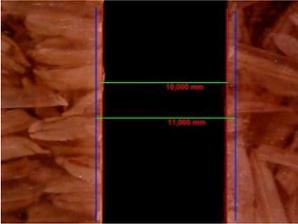
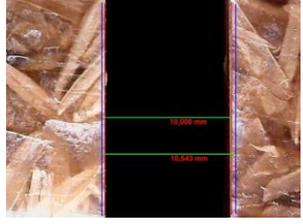
- [50] S. Kalpakjian y S. Schmid, "Manufactura, Ingeniería y Tecnología", México: Pearson Education, 2000.
- [51] S. Gara y O. Tsoumarev, «Prediction of surface roughness in slotting of CFRP,» *Measurement*, vol. 91, pp. 414-420, 2016.
- [52] A. Kumar y V. Gulati, «Experimental investigation and optimization of surface roughness in negative incremental forming,» *Measurement*, vol. 131, pp. 419-430, 2019.
- [53] Mitutoyo, «Medición de rugosidad,» *Boletín Técnico*, vol. 7, pp. 1-9, 2010.
- [54] H. Attia, A. Sadek y M. Meshreki, «High speed machining processes for fiber-reinforced composites,» *Machining Technology for Composite Materials*, pp. 333-364, 2012.
- [55] S. Dash, B. Routara y R. Nayak, «Optimization of process parameters in milling of TiO₂ filled GFRP composite,» *Materialstoday Proceedings*, vol. 4, n° 2, pp. 3023-3032, 2017.
- [56] A. Díaz, *Diseño Estadístico de Experimentos*, Medellín: Universidad de Antioquia, 2009.
- [57] M. Francisco, H. Issam, K. Abdellatif, J. Abdallah y B. Mohamed, «Predicción de rugosidad en maquinado de compuestos con base de Peek usando metodología de superficie de respuesta,» *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 14, n° 4, pp. 463-474, 2013.
- [58] H. Gutierrez y R. Salazar, *Análisis y Diseño de Experimentos*, Tercera ed., México: McGrawHill, 2012.
- [59] M. Careaga, «Superficies de Respuesta mediante un Diseño Central Compuesto,» *Revista Varianza*, n° 11, 2015.
- [60] S.S. Sarnobat y H.K. Raval, «Experimental investigation and analysis of the influence of tool edge geometry and work piece hardness on surface residual

stresses, surface roughness and work-hardening in hard turning of AISI D2 steel,» *Measurement*, vol. 131, pp. 235-260, 2019.

- [61] R. Myers, D. Montgomery y C. Anderson-Cook, «Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments,» *Wiley*, pp. 78, 81, 83, 2009. .
- [62] M. S. Andres y R. Chercoles, «Factores responsables de la degradación química de los polímeros. Efectos provocados por la radiación lumínica sobre algunos materiales utilizados en conservación: primeros resultados,» 2010.
- [63] F. Quiroz, F. Cadena, L. Sinche, I. Chango y M. Aldás, «Estudio de la degradación en polímeros oxo-biodegradables,» *Revista Politécnica*, vol. 30, n° 1, p. 179–191, 2009.
- [64] A. Kandelbauer, G. Tondi, O. Zasko y S. Goodman, «Unsaturated Polyesters and Vinyl Esters,» de *Handbook of Thermoset Plastics*, Third Edition ed., Boston, William Andrew, 2014, pp. 111-172.
- [65] «EPA, Índice de UV,» 2017. [En línea]. Available: <https://espanol.epa.gov/espanol/como-calcular-el-indice-uv>. [Último acceso: 09 01 2019].
- [66] «Q-LAB, Q-SUN XE-1 Xenon Test Chamber,» [En línea]. Available: <https://www.q-lab.com/es-es/products/q-sun-xenon-arc-test-chambers/q-sun-xe-1>. [Último acceso: 09 01 2019].

ANEXOS

Anexo A: Fichas técnicas de la medición de rugosidad y Factor de delaminación del material compuesto de RP+CA.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)								
DATOS INFORMATIVOS								
Tipo de estudio:	Experimental		Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)				
Fecha de ejecución:	28/01/2019		Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10				
Realizado por:	Luis Cando		Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez				
PARÁMETROS DE FRESADO								
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm			
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,1 min/rev	Profundidad de corte	12 mm			
Material	Matriz poliéster y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión			
Medición de la rugosidad								
Rugosidad (Rz)µm	1			1.1				
	4,758			4,5635				
	4,211			4,563				
Promedio	4,484			4,563				
Medición de la delaminación								
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)				Delaminación de Salida (Fds)			
1								
								
Promedio	1,14815				1,07245			
1.1								
								
Promedio	1,0852				1,067			



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosimetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,1 min/rev	Profundidad de corte	12 mm
Material	Matriz poliéster y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	2	2.1
	5,502	5,127
	5,043	5,128
Promedio	5,273	5,128

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
2		
Promedio	1,17225	1,03343
2.1		
Promedio	1,11665	1,05075



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosimetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

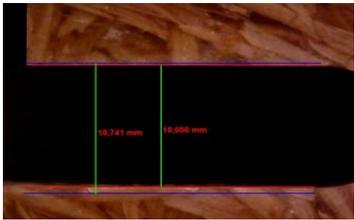
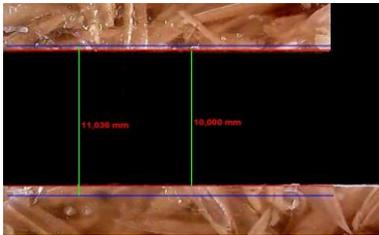
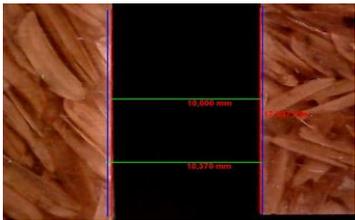
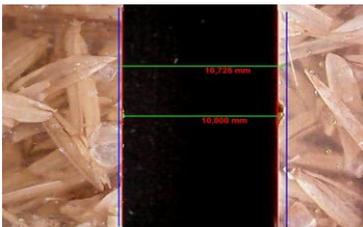
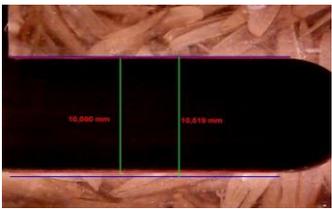
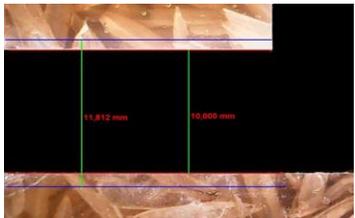
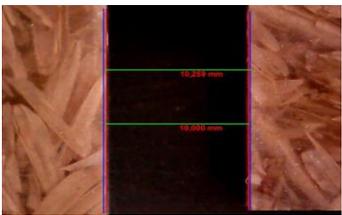
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0.1 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material:	Matriz poliéster y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

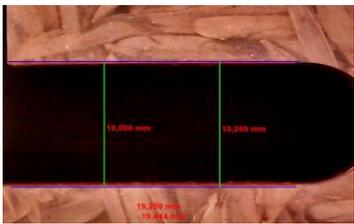
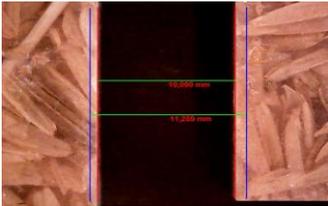
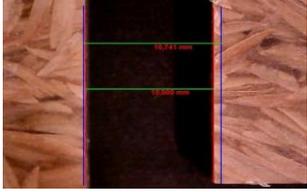
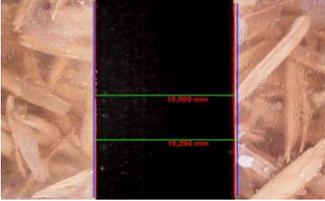
Medición de la rugosidad

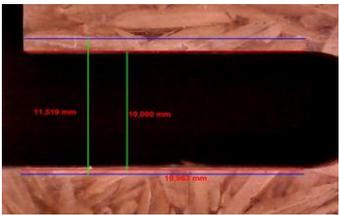
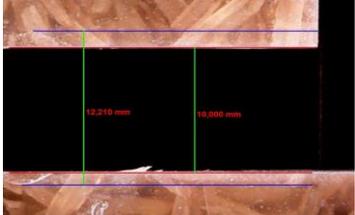
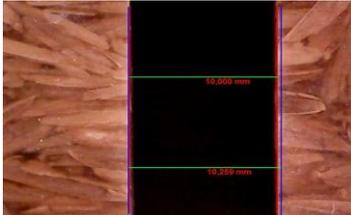
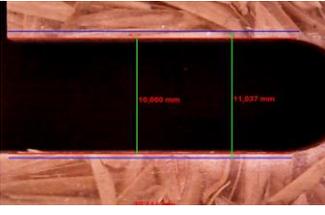
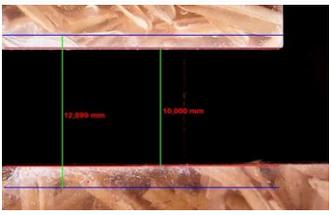
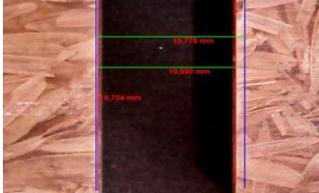
Rugosidad (Rz)µm	3	3.1
	4,794	4,529
	4,793	4,529
Promedio	4,793	4,529

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
3		
Promedio	1,035	1,08695
3.1		
Promedio	1,04235	1,183

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)		
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10		
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez		
PARÁMETROS DE FRESADO					
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,1 min/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material:	Matriz poliéster y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión
Medición de la rugosidad					
Rugosidad (Rz)µm	4		4,1		
	4,541		4,781		
	4,543		4,7822		
Promedio	4,542		4,782		
Medición de la delaminación					
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)			Delaminación de Salida (Fds)	
4					
					
Promedio	1,063			1,21015	
4.1					
					
Promedio	1,03145			1,09965	

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)			
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10			
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez			
PARÁMETROS DE FRESADO						
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm	
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,1 min/rev	Profundidad de corte	12 mm	
Material	Matriz políester y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión	
Medición de la rugosidad						
Rugosidad (Rz)µm	5		5.1			
	4,75		4,909			
	4,7485		4,908			
Promedio	4,7493		4,9084			
Medición de la delaminación						
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)			Delaminación de Salida (Fds)		
5						
						
Promedio	1,0389			1,03985		
5.1						
						
Promedio	1,1			1,02175		

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)		
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10		
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez		
PARÁMETROS DE FRESADO					
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,1 min/rev	Profundidad de corte	12 mm
Material	Matriz poliester y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión
Medición de la rugosidad					
Rugosidad (Rz)µm	6		6.1		
	4,860		5,47		
	4,8585		5,471		
Promedio	4,859		5,4705		
Medición de la delaminación					
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)		Delaminación de Salida (Fds)		
6					
					
Promedio	1,1278		1,2065		
6.1					
					
Promedio	1,05185		1,16125		



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosimetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,1 min/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material	Matriz poliéster y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	7	7.1
	4,565	3,883
	3,974	4,746
Promedio	4,270	4,315

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
7		
	Promedio	1,16855
7.1		
	Promedio	1,1254



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosimetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,1 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material	Matriz poliéster y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	8	8.1
	4,341	4,564
	4,340	4,151
Promedio	4,340	4,357

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
8		
Promedio	1,1202	1,2156
8.1		
Promedio	1,1037	1,24275



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosimetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,1 min/rev	Profundidad de corte	12 mm
Material	Matriz poliéster y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	9	9.1
	4,861	5,046
	4,860	4,488
Promedio	4,860	4,767

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
9		
	Promedio	1,11835
9.1		
	Promedio	1,0778



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosimetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,1 min/rev	Profundidad de corte	12 mm
Material	Matriz poliéster y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	10	10.1
	4,434	4,398
	4,436	4,166
Promedio	4,435	4,282

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
10		
Promedio	1,12825	1,0634
10.1		
Promedio	1,20565	1,0435



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,1 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material:	Matriz poliéster y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	11	11.1
	4,791	4,987
	4,790	4,017
Promedio	4,790	4,502

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
11		
Promedio	1,11375	1,23005
11.1		
Promedio	1,0743	1,1558



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,1 min/rev	Profundidad de corte	12 mm
Material	Matriz poliéster y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	12	12.1
	5,340	4,987
	5,338	4,335
Promedio	5,339	4,661

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
12		
Promedio	1,18145	1,07605
12.1		
Promedio	1,1759	1,02065



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,1 min/rev	Profundidad de corte	12 mm
Material	Matriz poliéster y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

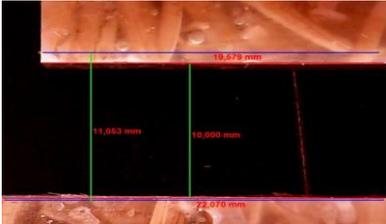
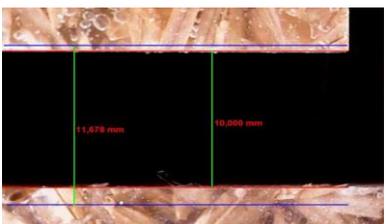
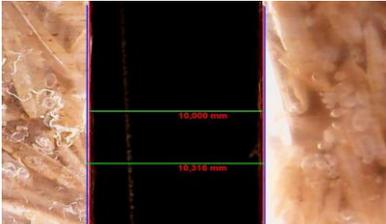
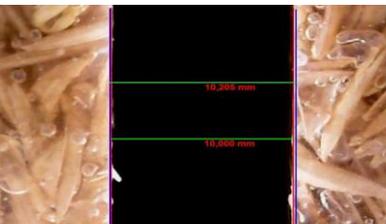
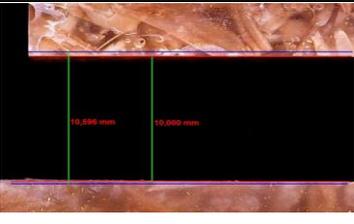
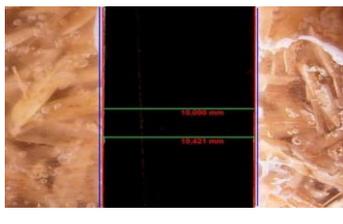
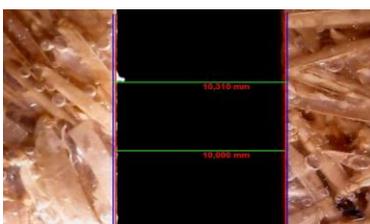
Medición de la rugosidad

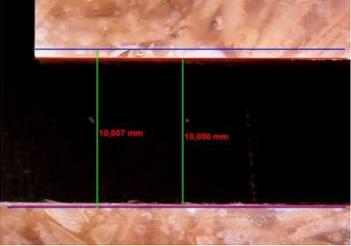
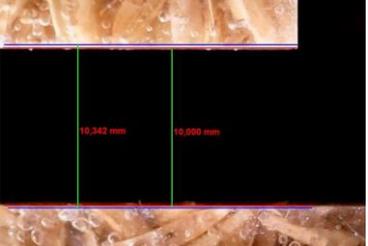
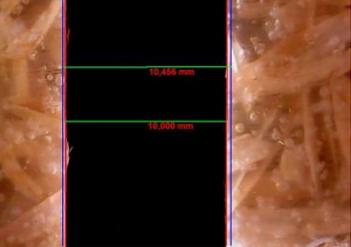
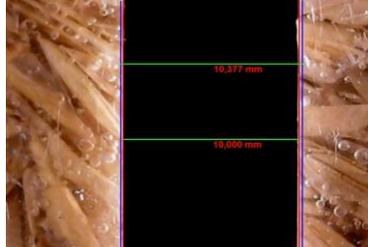
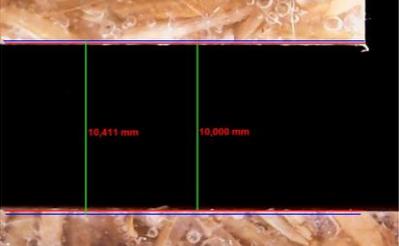
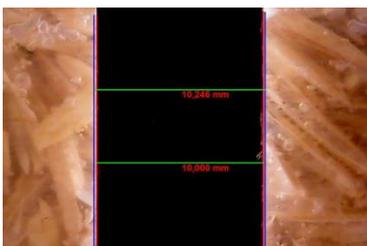
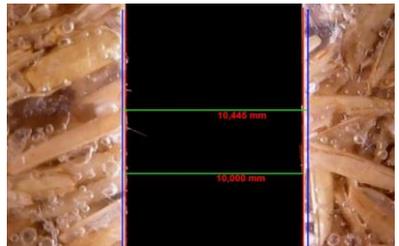
Rugosidad (Rz)µm	13	13.1
	4,779	5,0693
	4,448	5,070
Promedio	4,613	5,070

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
13		
	Promedio	1,1685
13.1		
	Promedio	1,11855

Anexo B: Fichas técnicas de la medición de rugosidad y Factor de delaminación del material compuesto de RE+ CA.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)		
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10		
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez		
PARÁMETROS DE FRESADO					
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	70 m/min	Avance:	0,15 min/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83% -17%)			Estratificación:	Por Compresión
Medición de la rugosidad					
Rugosidad (Rz)µm	1		1.1		
	6,202		6,400		
	5,146		6,399		
	5,674		6,399		
Medición de la delaminación					
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)		Delaminación de Salida (Fds)		
1					
					
Promedio	1,06845		1,09415		
1.1					
					
Promedio	1,05085		1,0412		

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)		
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosimetro SJ10		
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez		
PARÁMETROS DE FRESADO					
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	70 m/min	Avance:	0,125 mm/rev	Profundidad de corte	12 mm
Material	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión
Medición de la rugosidad					
Rugosidad (Rz)µm	2		2.1		
	5,125		5,274		
	5,126		5,2735		
Promedio	5,126		5,274		
Medición de la delaminación					
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)		Delaminación de Salida (Fds)		
2					
					
Promedio	1,06315		1,03595		
2.1					
					
Promedio	1,0351		1,0428		



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosimetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	70 m/min	Avance:	0,1 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material:	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83% -17%)			Estratificación:	Por Compresión

Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	3	3.1
	5,056	5,402
	5,056	5,4017
Promedio	5,056	5,402

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
3		
Promedio	1,0263	1,0428
3.1		
Promedio	1,04005	1,0458



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de realización:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

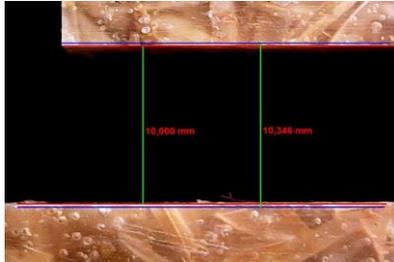
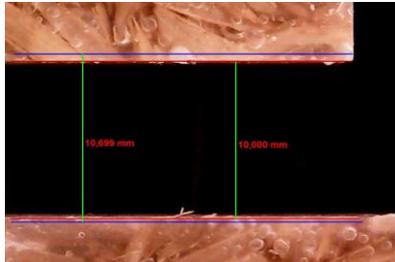
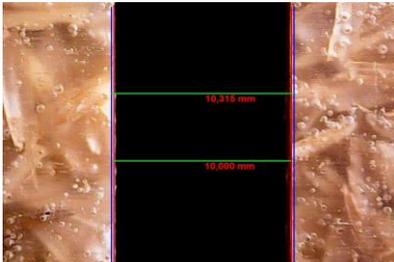
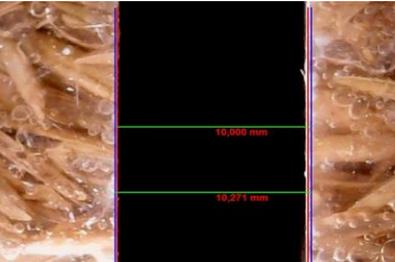
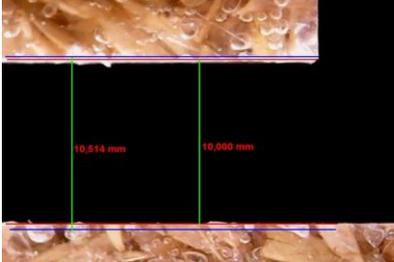
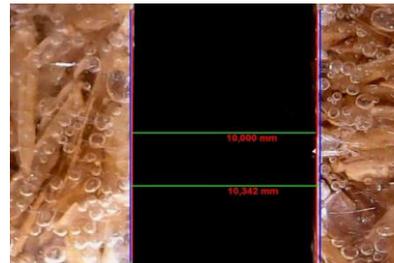
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	57,5 m/min	Avance:	0,15 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material:	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	4	4,1
	4,037	5,279
	7,278	4,869
Promedio	5,657	5,0742

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
4		
	1,0639	1,04405
4.1		
	1,05465	1,04605

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)		
Fecha de:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10		
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez		
PARÁMETROS DE FRESADO					
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	57,5 m/min	Avance:	0,125 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material:	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión
Medición de la rugosidad					
Rugosidad (Rz)µm	5		5.1		
	5,191		5,421		
	5,1912		4,333		
Promedio	5,191		4,877		
Medición de la delaminación					
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)			Delaminación de Salida (Fds)	
5					
					
	1,03305			1,0485	
Promedio	1,03305			1,0485	
5.1					
					
	1,0228			1,04285	
Promedio	1,0228			1,04285	



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosimetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	57,5 m/min	Avance:	0,125 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material:	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	6	6.1
	4,768	4,815
	4,768	4,815
Promedio	4,768	4,815

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
6		
Promedio	1,04925	1,0275
6.1		
Promedio	1,0417	1,069



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	57,5 m/min	Avance:	0,125 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	7	7.1
	5,686	4,418
	5,686	6,068
Promedio	5,686	5,243

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
7		
Promedio	1,0574	1,04645
7.1		
Promedio	1,0398	1,0517



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	57,2 m/min	Avance:	0,125 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material:	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	8	8.1
	5,518	5,84
	6,138	6,138
Promedio	5,828	5,989

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
8		
	Promedio	1,0575
8.1		
	Promedio	1,0519



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

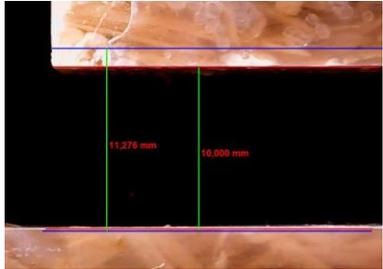
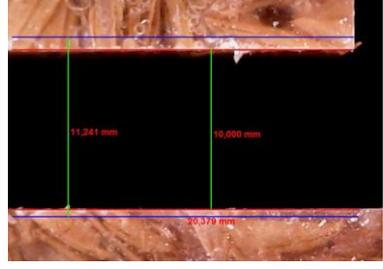
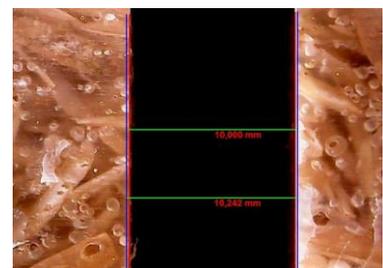
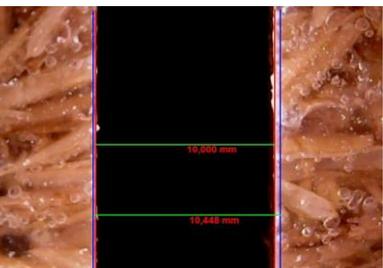
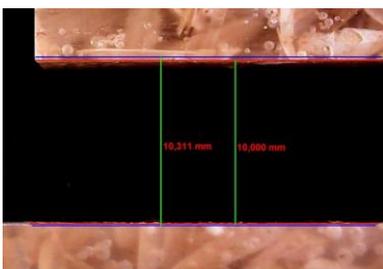
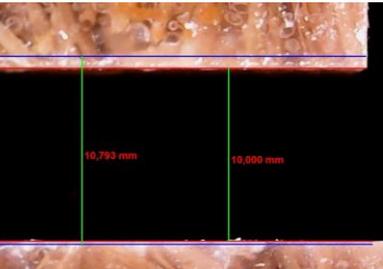
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	57,5 m/min	Avance:	0,125 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material:	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	9	9,1
	4,965	5,224
	4,965	4,632
Promedio	4,965	4,928

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
9		
	Promedio	1,04495
9.1		
	Promedio	1,03455

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)			
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10			
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez			
PARÁMETROS DE FRESADO						
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm	
Velocidad de corte:	57,5m/min	Avance:	0,1 min/rev	Profundidad de corte	12 mm	
Material	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión	
Medición de la rugosidad						
Rugosidad (Rz)µm	10		10.1			
	3,551		4,223			
	5,552		4,223			
Promedio	4,551		4,223			
Medición de la delaminación						
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)			Delaminación de Salida (Fds)		
10						
						
	11,276 mm 10,000 mm			11,261 mm 10,000 mm 10,379 mm		
Promedio	1,0759			1,08445		
10.1						
						
	10,311 mm 10,000 mm			10,793 mm 10,000 mm		
Promedio	1,04495			1,0619		



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosimetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,15 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material:	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	11	11.1
	5,893	4,496
	5,8925	6,836
Promedio	5,893	5,666

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
11		
Promedio	1,02765	1,07535
11.1		
Promedio	1,02415	1,05475



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,125 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material:	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	12	12.1
	5,212	4,729
	5,212	6,374
Promedio	5,212	5,551

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
12		
	1,0415	1,07705
12.1		
	1,03965	1,16415



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

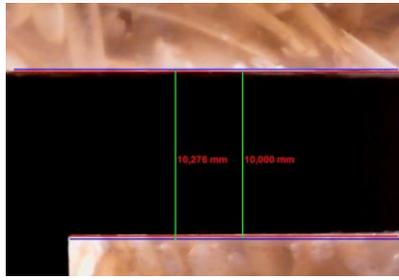
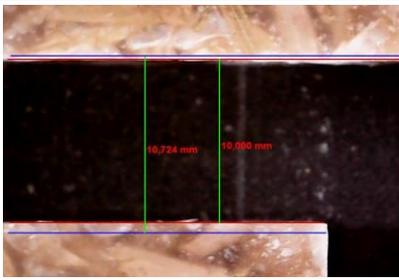
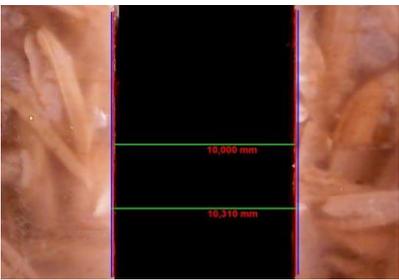
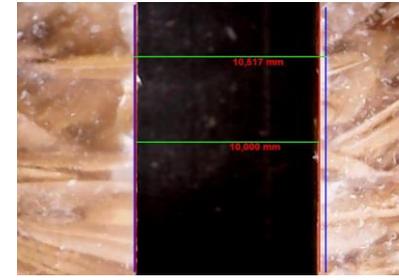
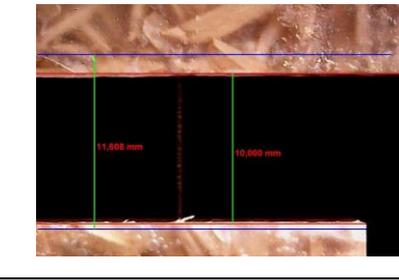
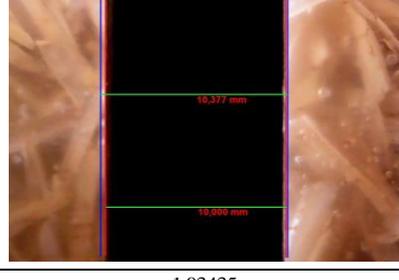
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	103-S	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,1 min/rev	Profundidad de corte	12 mm
Material	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

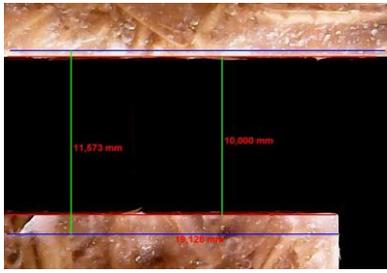
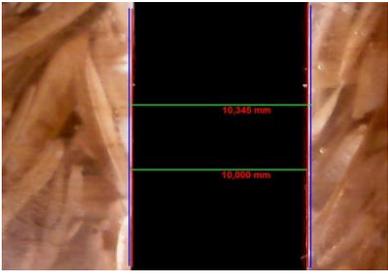
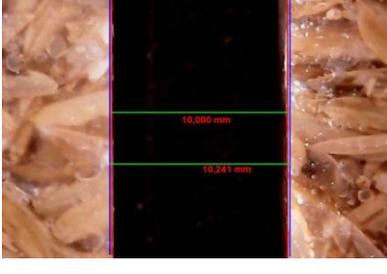
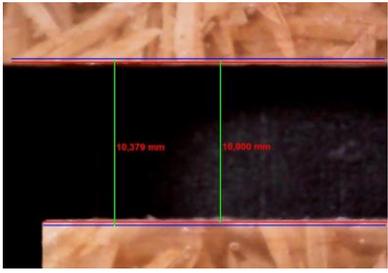
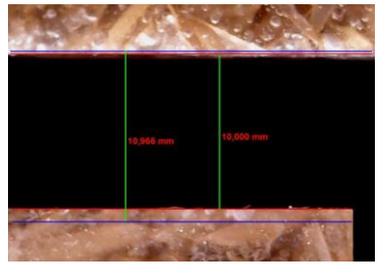
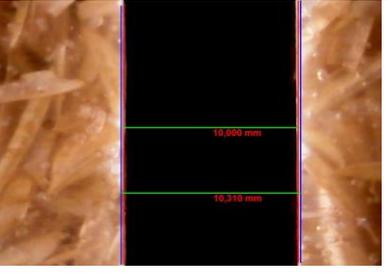
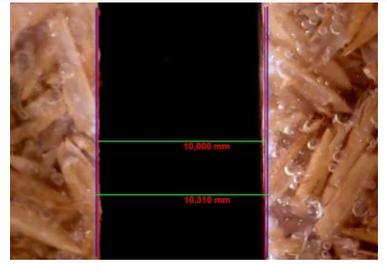
Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	13	13.1
	5,467	5,6747
	5,467	5,675
Promedio	5,467	5,675

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
13		
	1,03795	1,0462
13.1		
	1,031	1,05995

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)		
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10		
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez		
PARÁMETROS DE FRESADO					
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	107 D	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	70 m/min	Avance:	0,15 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión
Medición de la rugosidad					
Rugosidad (Rz)µm	1		1.1		
	6,0957		6,476		
	6,096		6,476		
Promedio	6,096		6,476		
Medición de la delaminación					
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)		Delaminación de Salida (Fds)		
1					
					
Promedio	1,0293		1,06205		
1.1					
					
Promedio	1,03435		1,09245		

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Experimental		Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)			
Fecha de ejecución:	28/01/2019		Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosimetro SJ10			
Realizado por:	Luis Cando		Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez			
PARÁMETROS DE FRESADO							
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	107 D	Diámetro:	10mm		
Velocidad de corte:	70 m/min	Avance:	0,125 min/rev	Profundidad de corte	12 mm		
Material	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83% -17%)			Estratificación:	Por Compresión		
Medición de la rugosidad							
Rugosidad (Rz)µm	2			2.1			
	6,689			5,900			
	6,689			5,900			
Promedio	6,689			5,900			
Medición de la delaminación							
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)			Delaminación de Salida (Fds)			
2							
							
Promedio	1,0328			1,0907			
2.1							
							
Promedio	1,03445			1,0638			



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

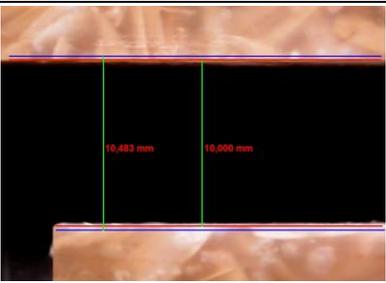
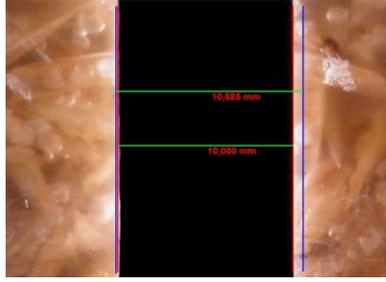
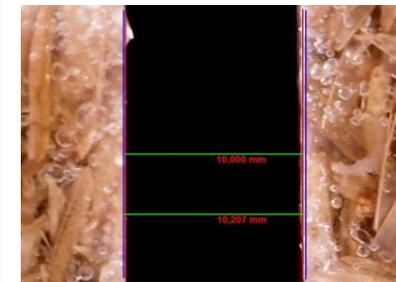
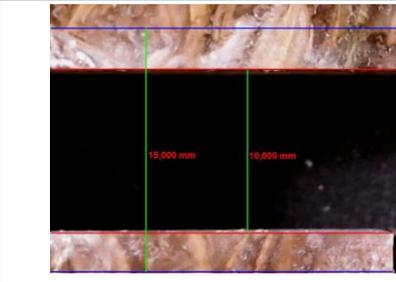
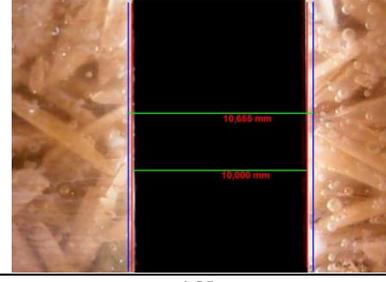
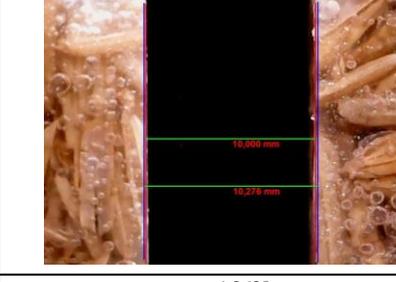
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	107 D	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	70 m/min	Avance:	0,1 min/rev	Profundidad de corte	12 mm
Material	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

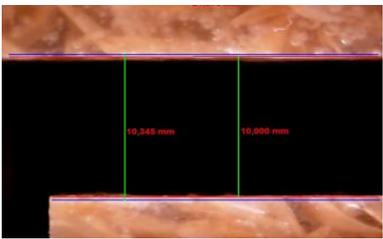
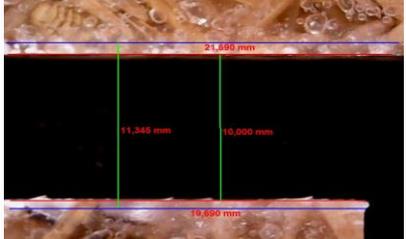
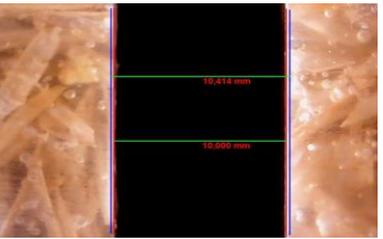
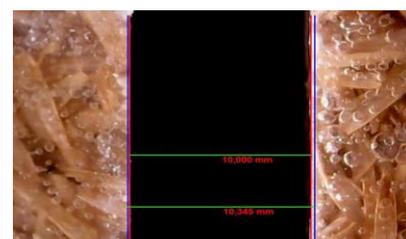
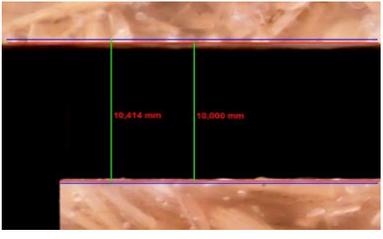
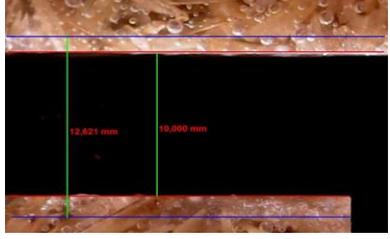
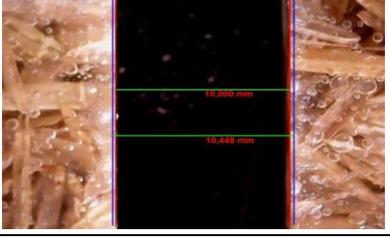
Medición de la rugosidad

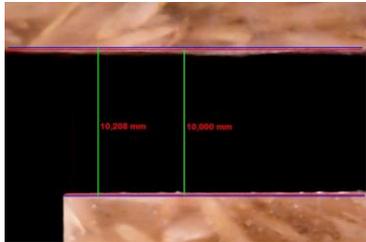
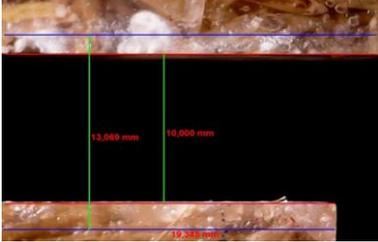
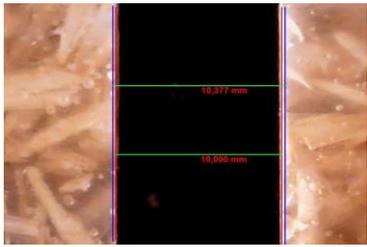
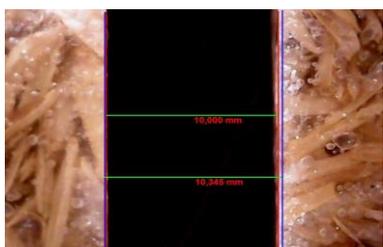
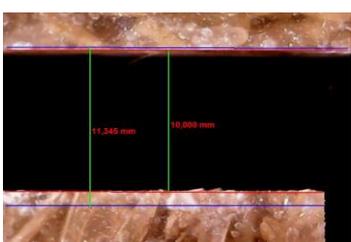
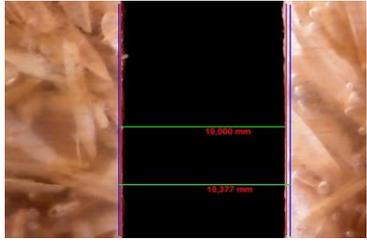
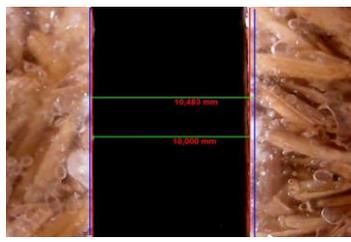
Rugosidad (Rz)µm	3	3.1
	6,403	6,208
	6,403	6,2082
Promedio	6,403	6,2079

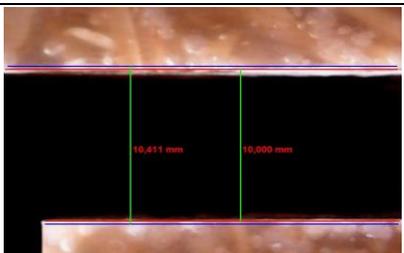
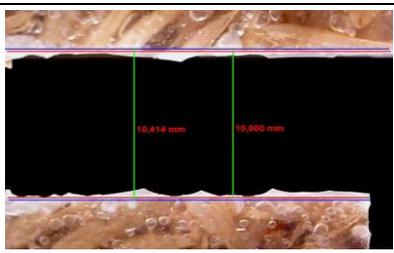
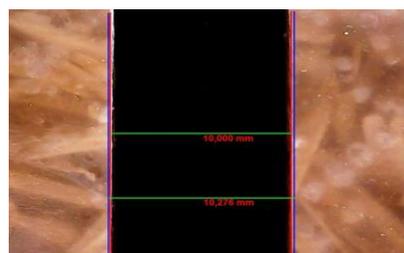
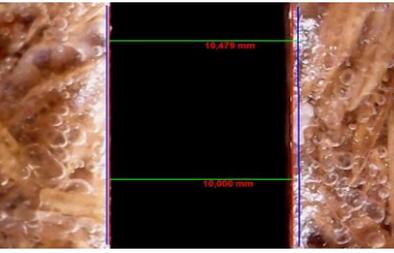
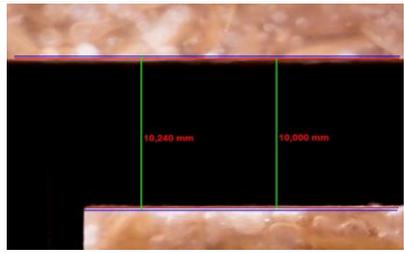
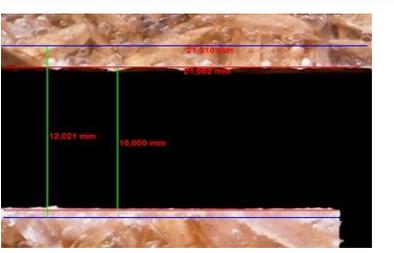
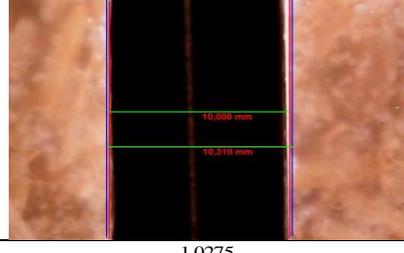
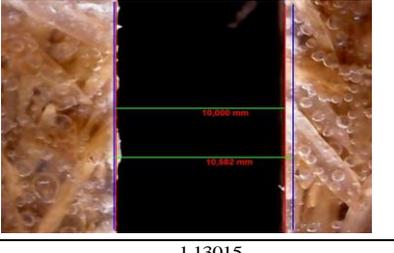
Medición de la delaminación

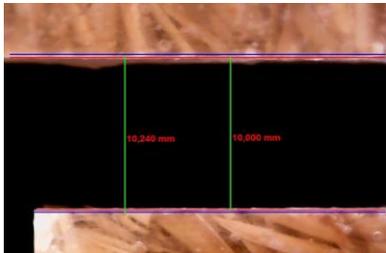
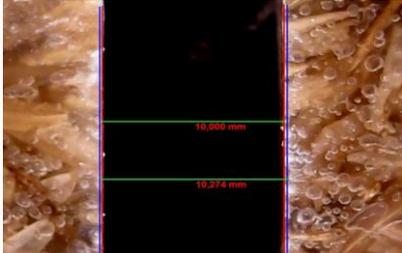
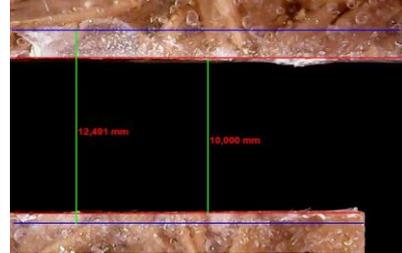
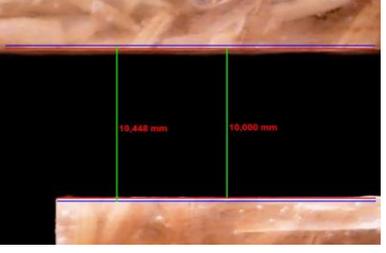
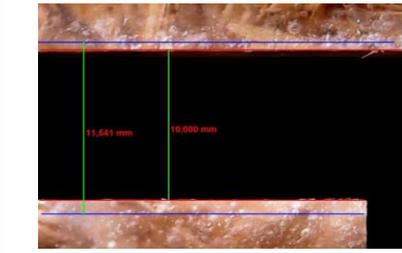
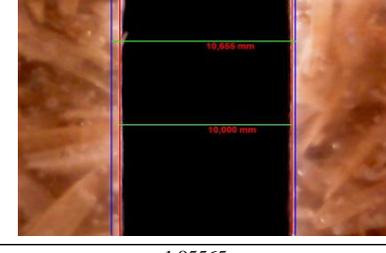
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
3		
Promedio	1,04135	1,0595
3.1		
Promedio	1,04125	1,031

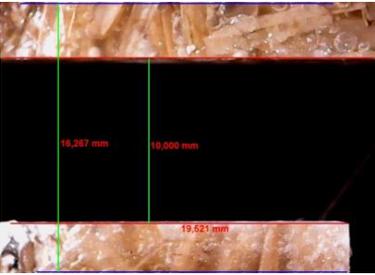
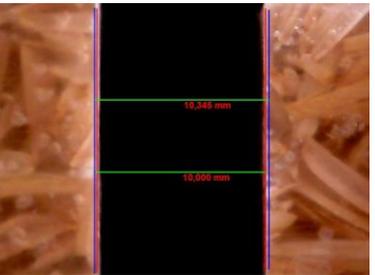
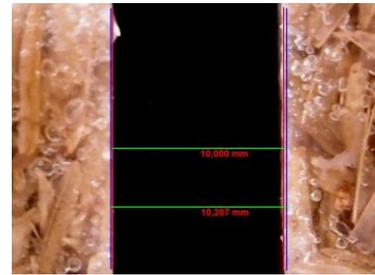
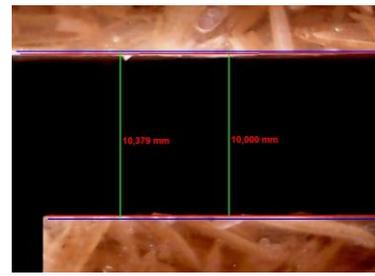
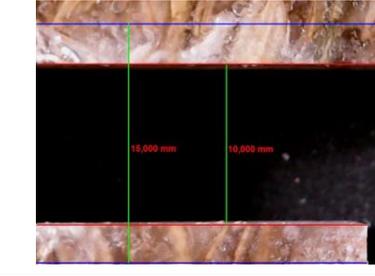
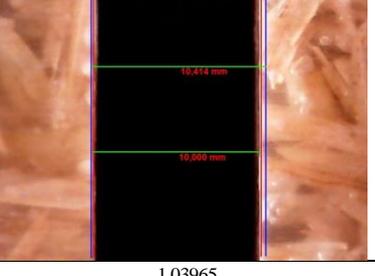
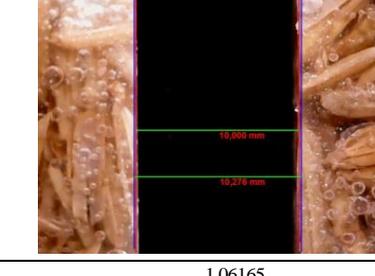
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)				
DATOS INFORMATIVOS				
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)	
Fecha de realización:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10	
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez	
PARÁMETROS DE FRESADO				
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	107 D	Diámetro: 10mm
Velocidad de corte:	57,5 m/min	Avance:	0,15 mm/rev	Profundidad de corte: 12 mm
Material:	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83% - 17%)			Estratificación: Por Compresión
Medición de la rugosidad				
Rugosidad (Rz)µm	4		4.1	
	6,372		7,077	
	6,372		7,077	
Promedio	6,372		7,077	
Medición de la delaminación				
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)		Delaminación de Salida (Fds)	
4				
				
Promedio	1,0584		1,3237	
4.1				
				
Promedio	1,05		1,2638	

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)		
Fecha de realización:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10		
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez		
PARÁMETROS DE FRESADO					
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	107 D	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	57,5 m/min	Avance:	0,125 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material:	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión
Medición de la rugosidad					
Rugosidad (Rz)µm	5		5.1		
	5,845		6,296		
	5,845		6,296		
Promedio	5,845		6,296		
Medición de la delaminación					
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)		Delaminación de Salida (Fds)		
5					
					
Promedio	1,03795		1,0845		
5.1					
					
Promedio	1,03965		1,15345		

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)			
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10			
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez			
PARÁMETROS DE FRESADO						
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	107 D	Diámetro:	10mm	
Velocidad de corte:	57,5 m/min	Avance:	0,125 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm	
Material:	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83% - 17%)			Estratificación:	Por Compresión	
Medición de la rugosidad						
Rugosidad (Rz)µm	6		6.1			
	5,841		7,154			
	5,841		7,154			
Promedio	5,841		7,154			
Medición de la delaminación						
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)			Delaminación de Salida (Fds)		
6						
						
	1,02925			1,0707		
Promedio	1,02925			1,0707		
6.1						
						
	1,04125			1,0914		
Promedio	1,04125			1,0914		

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)		
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10		
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez		
PARÁMETROS DE FRESADO					
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	107 D	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	57,5 m/min	Avance:	0,125 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83% -17%)			Estratificación:	Por Compresión
Medición de la rugosidad					
Rugosidad (Rz)µm	7		7.1		
	6,0733		5,741		
	6,0733		5,741		
Promedio	6,0733		5,741		
Medición de la delaminación					
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)		Delaminación de Salida (Fds)		
7					
					
Promedio	1,03435		1,04465		
7.1					
					
Promedio	1,0275		1,13015		

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)		
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10		
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez		
PARÁMETROS DE FRESADO					
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	107 D	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	57,2 m/min	Avance:	0,125 mm/rev	Profundidad de corte	12 mm
Material	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión
Medición de la rugosidad					
Rugosidad (Rz)µm	8		8.1		
	5,3285		6,0835		
	5,329		6,084		
Promedio	5,32875		6,0837		
Medición de la delaminación					
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)		Delaminación de Salida (Fds)		
8					
					
Promedio	1,02405		1,13825		
8.1					
					
Promedio	1,05565		1,0873		

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)				
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10				
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez				
PARÁMETROS DE FRESADO							
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	107 D	Diámetro:	10mm		
Velocidad de corte:	57,5 m/min	Avance:	0,125 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm		
Material:	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión		
Medición de la rugosidad							
Rugosidad (Rz)µm	9		9.1				
	6,696		6,576				
	6,696		6,576				
Promedio	6,696		6,576				
Medición de la delaminación							
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)			Delaminación de Salida (Fds)			
9							
							
	1,03965			1,0531			
Promedio	1,03965			1,0531			
9.1							
							
	1,03965			1,06165			
Promedio	1,03965			1,06165			



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	107 D	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	57,5m/min	Avance:	0,1 min/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material:	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	10	10.1
	5,798	6,283
	5,798	6,283
Promedio	5,798	6,283

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
10		
Promedio	1,0293	1,21925
10.1		
Promedio	1,0389	1,0679



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosimetro SJ10
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE FRESADO

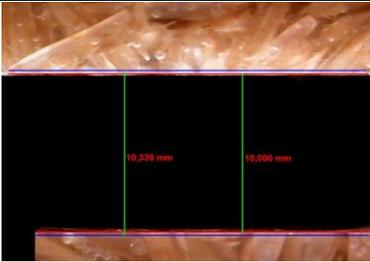
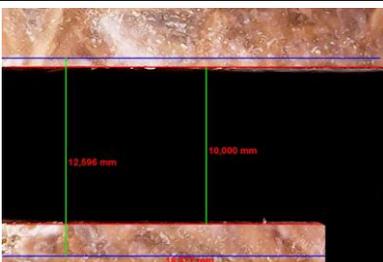
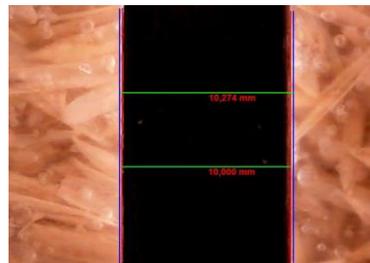
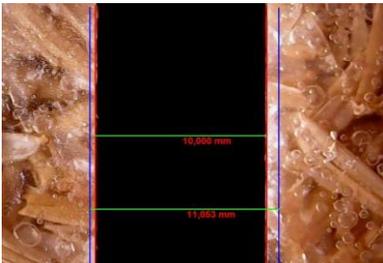
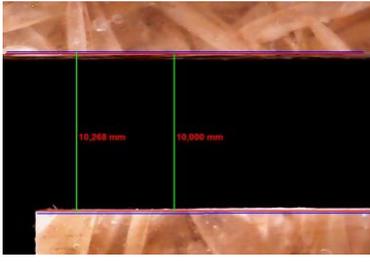
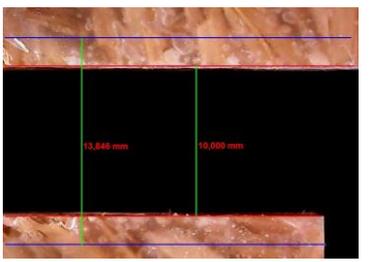
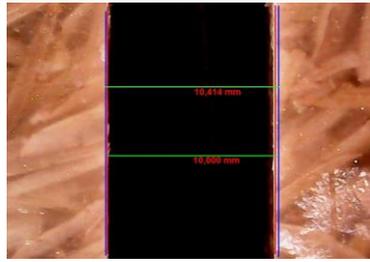
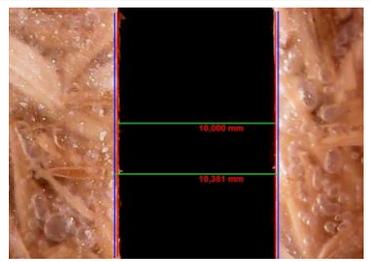
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	107 D	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,15 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material:	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión

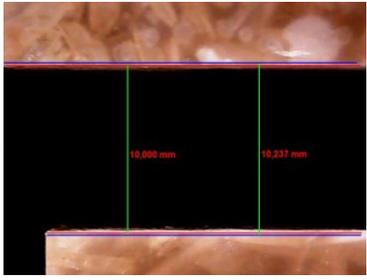
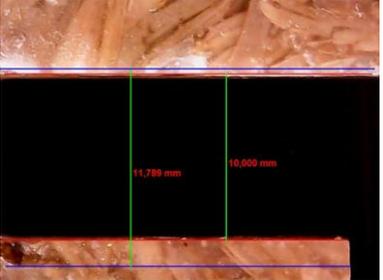
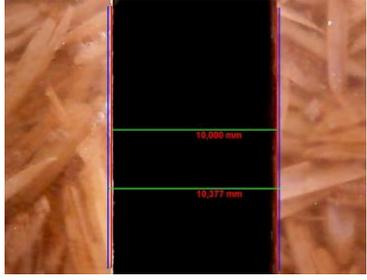
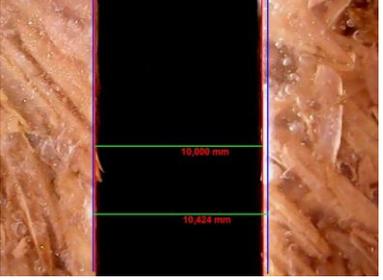
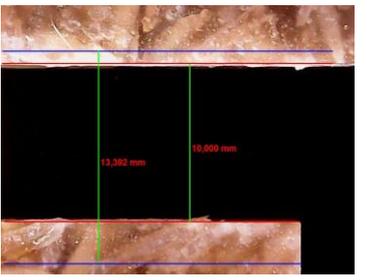
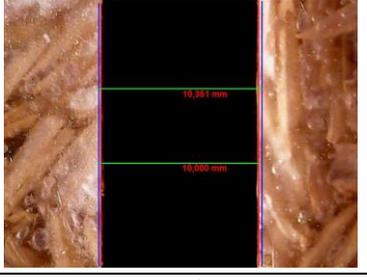
Medición de la rugosidad

Rugosidad (Rz)µm	11	11.1
	6,4697	6,0048
	6,4697	6,0047
Promedio	6,470	6,00475

Medición de la delaminación

Probeta	Delaminación de entrada (Fde)	Delaminación de Salida (Fds)
11		
Promedio	1,03855	1,3245
11.1		
Promedio	1,02695	1,2698

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)		
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosímetro SJ10		
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez		
PARÁMETROS DE FRESADO					
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	107 D	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,125 mm/rev	Profundidad de corte:	12 mm
Material:	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión
Medición de la rugosidad					
Rugosidad (Rz)µm	12		12.1		
	6,3702		6,2907		
	6,37		6,2908		
Promedio	6,3701		6,2908		6,330416667
Medición de la delaminación					
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)		Delaminación de Salida (Fds)		
12					
					
Promedio	1,03065		1,18245		
12.1					
					
Promedio	1,0341		1,20985		

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación (Fd) y Rugosidad (Rz)		
Fecha de ejecución:	28/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x-Rugosimetro SJ10		
Realizado por:	Luis Cando	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez		
PARÁMETROS DE FRESADO					
Tipo de mecanizado:	Ranurado	Tipo de fresa:	107 D	Diámetro:	10mm
Velocidad de corte:	45 m/min	Avance:	0,1 min/rev	Profundidad de corte	12 mm
Material	Matriz epoxi y refuerzo de cascarilla de arroz (83%-17%)			Estratificación:	Por Compresión
Medición de la rugosidad					
Rugosidad (Rz)µm	13		13.1		
	6,361		5,761		
	6,361		5,761		
Promedio	6,3612		5,761		
Medición de la delaminación					
Probeta	Delaminación de entrada (Fde)		Delaminación de Salida (Fds)		
13					
					
Promedio	1,0307		1,11065		
13.1					
					
Promedio	1,0327		1,18715		

Anexo C: especificaciones “Fresas para materiales compuestos 103-S y 107-D”



Aplicación:

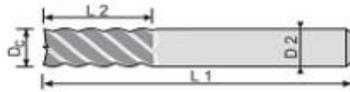
Aleaciones Ligeras

Plásticos

Fibras Reforzadas



Ref: 103S (Super Acabado “Plexiglas” 45°)



Dc h10	L2	L1	D2 h6	€	BORO “E”
3	6	57	6	41,00	47,80
3	10	57	6	41,00	47,80
4	8	57	6	41,00	47,80
4	15	57	6	41,00	47,80
5	10	57	6	41,00	47,80
5	20	57	6	41,00	47,80
6	20	57	6	38,85	45,65
8	25	63	8	53,35	62,00
10	25	72	10	71,70	83,20
12	30	83	12	98,25	111,20



Aplicación:

Aleaciones Ligeras

Plásticos

Fibras Reforzadas



Ref: 107 (Dentado Diamante con corte frontal)

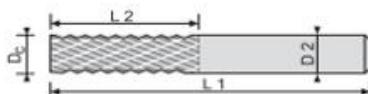
FINO



MEDIO



BASTO



Dc h10	L2	L1	D2 h6	€
2	7	40	2	16,20
2	7	50	6	31,45
3	10	40	3	16,20
3	12	50	6	31,45
3,5	12	40	3,5	17,85
4	15	40	4	19,60
4	20	50	6	30,30
4,5	15	50	4,5	22,65
5	16	50	5	25,65
5	25	75	6	47,50
6	18	50	6	28,55
6	35	75	6	49,90
7	22	60	7	37,25
8	25	63	8	42,90
8	40	100	8	68,60
9	25	63	9	53,65
10	30	72	10	59,75
12	32	83	12	84,25
14	32	83	14	150,00
16	36	92	16	205,25
18	40	92	18	242,95
20	45	104	20	291,60

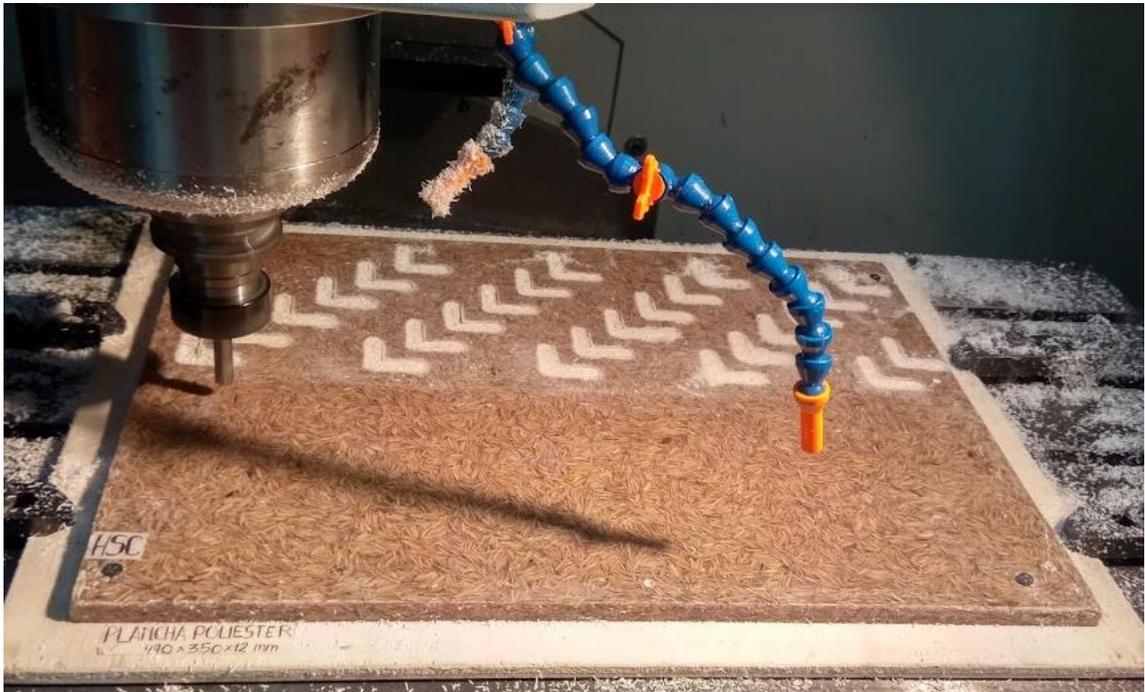
Anexo D: Tabla de rugosidad promedio según el método de fabricación ISO 1302

Rugosidad promedio en micrómetros – Ra μm													
Proceso	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.80	0.40	0.20	0.10	0.05	0.025	0.012
Arenado													
Aserrado													
Brochado													
Bruñido													
Cepillado													
Cizallado													
Corte con soplete													
Corte electroquímico													
Corte láser													
Electroerosión													
Estampado													
Esmerilado													
Extrusión													
Forjado													
Fresado													
Fundición a cera perdida													
Fundición a presión													
Fundición en arena													
Fundición en coquilla													
Granallado													
Laminado en caliente													
Laminado en frío													
Lapidado													
Limado													
Mandrillado													
Mortajado													
Oxicorte													
Pulido													
Recalcado													
Rectificado													
Superacabado													
Taladrado													
Torneado													
Trefilado													
	Aplicación frecuente						Aplicación menos frecuente						

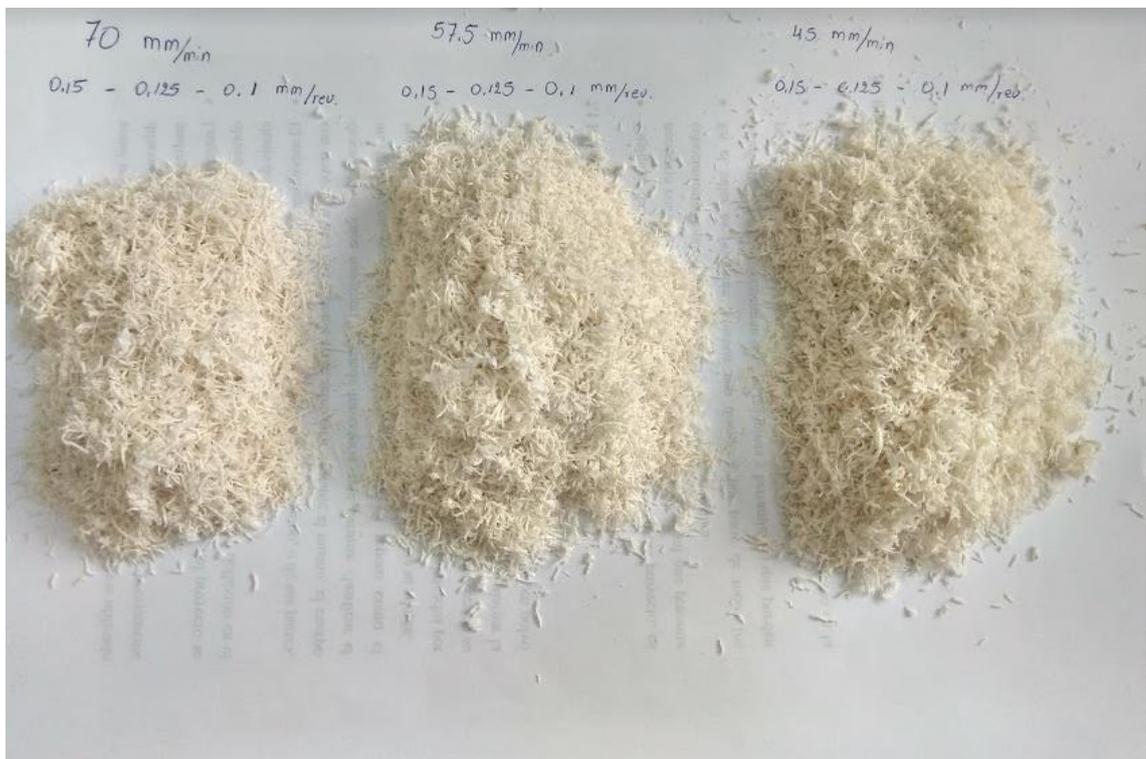
Anexo E: Tabla de rugosidad superficiales según el método de fabricación

MÉTODOS DE FABRICACIÓN Y RUGOSIDAD DE SUPERFICIES						
Métodos de producción por arranque de viruta		Rugosidad Rz (μm)				
Denominación	Tipo	Condiciones de fabricación				
		Especiales	Usuales	Desbaste	Especiales	Usuales
Cepillado	Cepillar	1.0+6.3	6.3+100	100+250	---	---
	Mortajar	2.5+10	10+40	40+250	---	---
	Brochar	0.63+2.5	2.5+10	10+25	25+10	---
Torneado	Cilindrar	1.0+4.0	4.0+63	63+250	63+10	---
	Refrentar	2.5+10	10+63	63+250	---	---
	Ranurar	4.0+10	10+40	40+100	---	---
Fresado	Lateral	1.6+10	10+40	40+160	---	---
	Frontal	1.6+10	10+40	40+160	25+10	---
Taladrado	Taladrar	16+40	40+160	160+250	---	---
	Avellanar	6.3+10	10+25	25+40	---	---
	Escariar	0.4+4.0	4.0+10	10+25	25+16	16+10
Rectificado cilíndrico	Longitudinal	0.1+1.6	1.6+4.0	4.0+25	80+16	16+10
	Transversal	---	1.6+10	---	63+16	16+10
	Frontal	0.63+1.6	1.6+4.0	4.0+10	63+16	16+10
Rectificado plano	Lateral	1.0+2.5	2.5+6.3	6.3+25	40+16	16+10
	Frontal	1.0+2.5	2.5+6.3	6.3+25	40+16	16+10
Pulido	Papel abrasivo	0.06+0.4	0.4+1.0	1.0+2.5	80+25	25+10
	Chorro abrasivo	10+16	16+63	63+400	---	---
	Tambor	---	0.25+1.0	---	---	---
Lapeado	Redondo	0.04+0.16	0.16+1.6	1.6+10	80+40	40+10
	Plano	0.04+0.25	0.25+1.6	1.6+10	80+40	40+10
	Interior	---	---	---	80+40	40+10
	Planetario	---	0.16+2.5	---	---	---
Bruñido	Bruñir	---	0.04+0.25	0.25+0.40	90+63	63+25

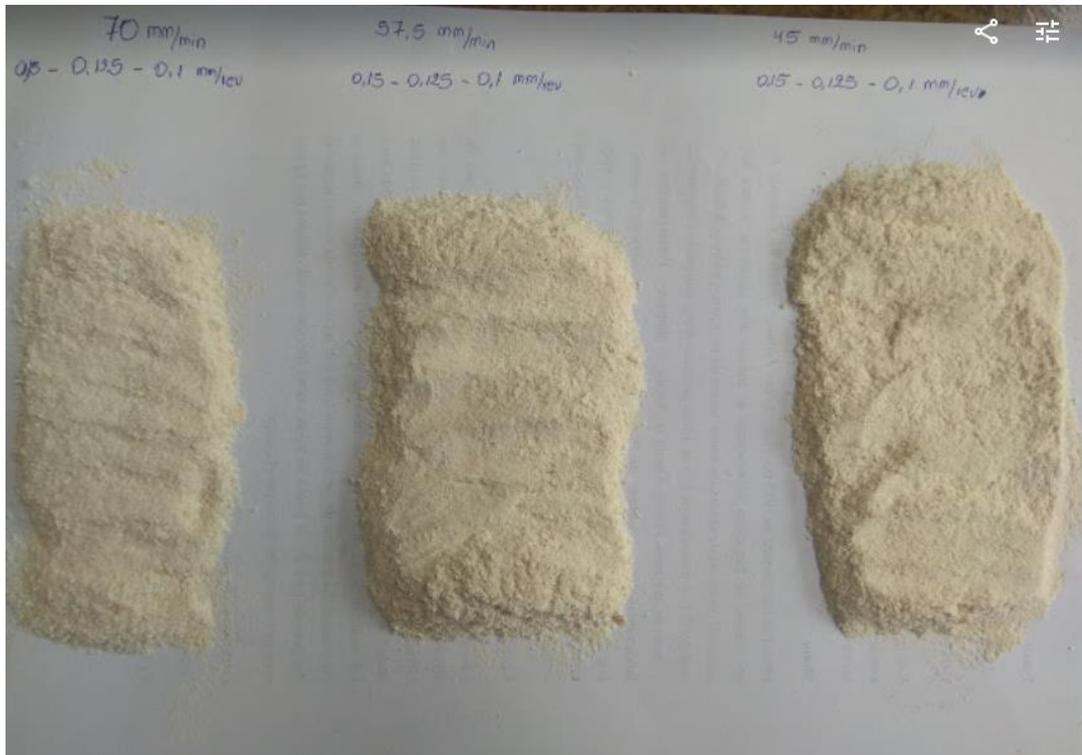
Anexo F: Proceso de ranurado de material compuesto de matriz poliéster más cascarilla de arroz



Anexo G: Generación de virutas del proceso de ranurado del de matriz poliéster más cascarilla de arroz con herramienta 103-S



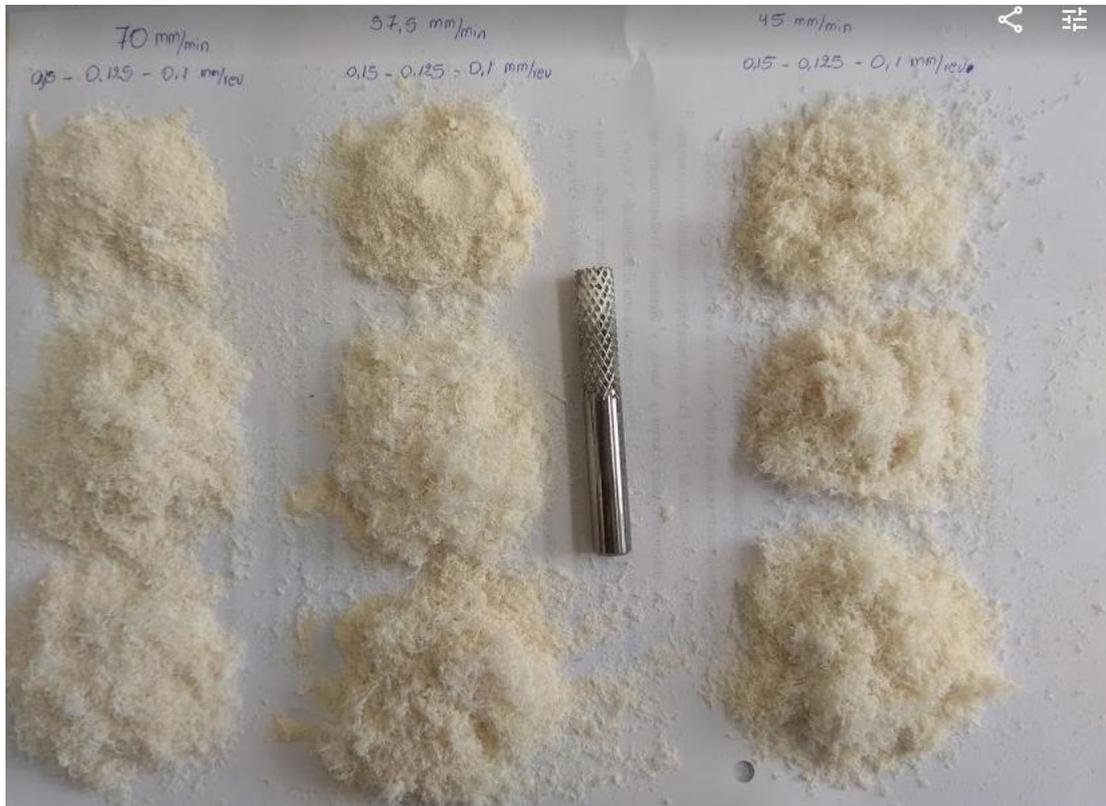
Anexo H: Generación de virutas del proceso de ranurado del de matriz poliéster más cascarilla de arroz con herramienta 107-D



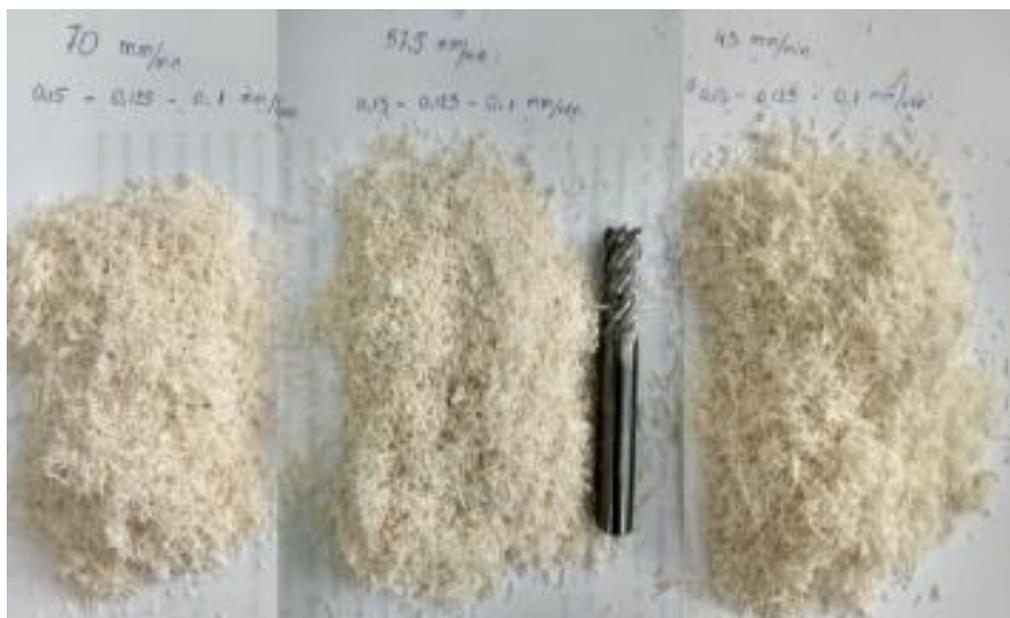
Anexo I: Proceso de ranurado de material compuesto de matriz Epoxi más cascarilla de arroz



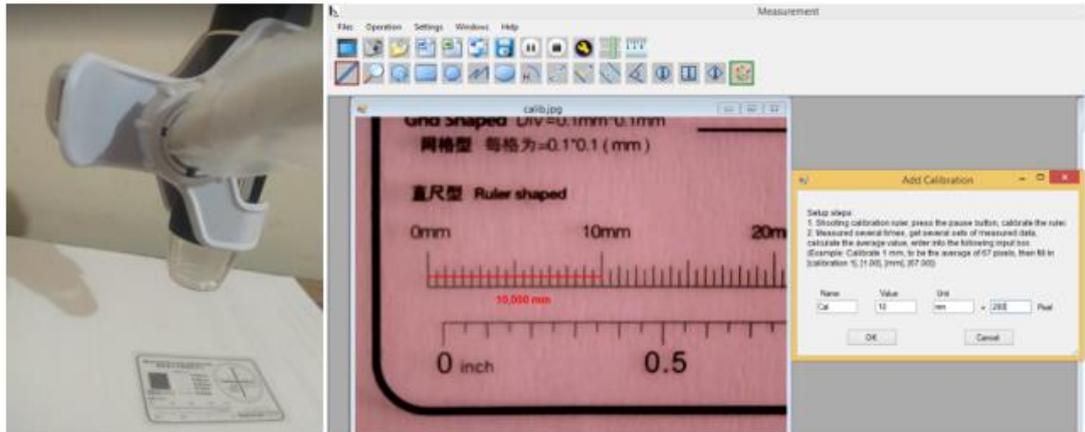
Anexo J: Generación de virutas del proceso de ranurado del de matriz epoxi más cascarilla de arroz con herramienta 103-S



Anexo K: Generación de virutas del proceso de ranurado del de matriz epoxi más cascarilla de arroz con herramienta 103-S



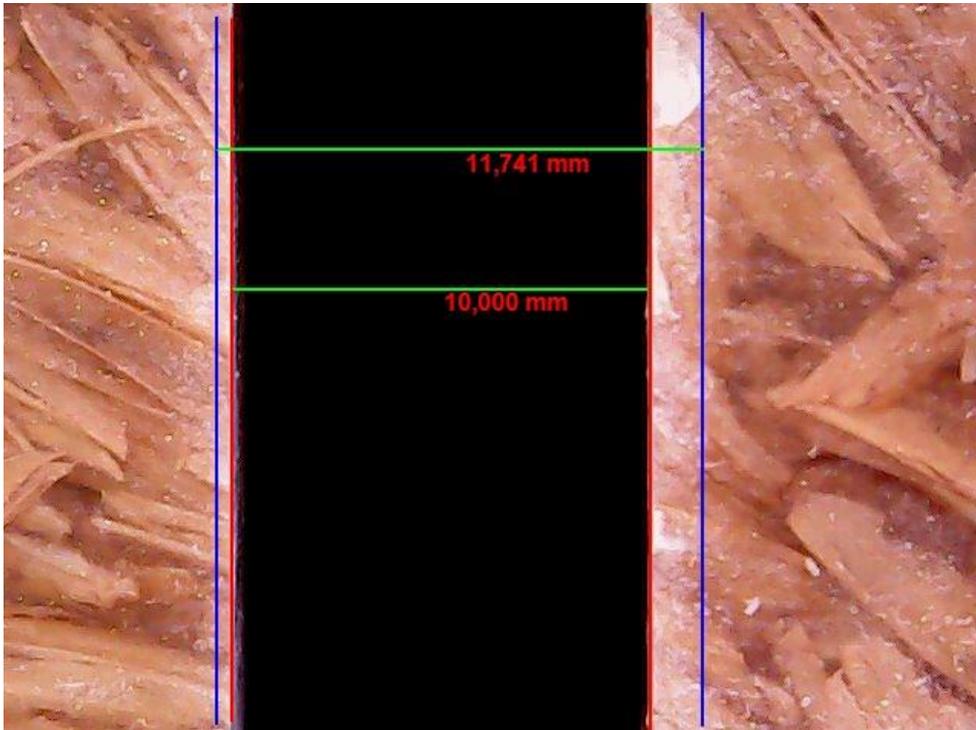
Anexo L: Calibración del microscopio 100X a 10mm con 280 pixeles



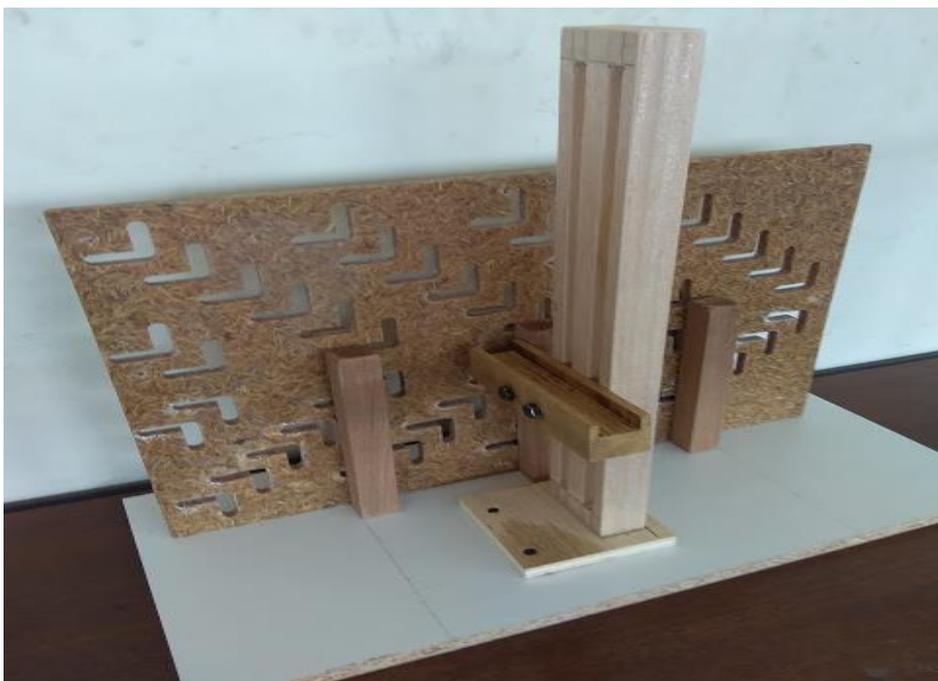
Anexo M: Toma de captura de material compuesto de matriz poliéster más cascarilla de arroz en microscopio 1000X



Anexo N: Medición de delaminación de entrada de matriz poliéster más cascarilla de arroz



Anexo O: Soporte regulable de madera para medir la rugosidad en el material compuesto



Anexo P: Calibración del rugosímetros SJ-10 A 2,94 μm



Anexo Q: Medición de la rugosidad en ranuras de combinación 4 del material compuesto de matriz poliéster más cascarilla de arroz



Anexo R: Probetas de matriz poliéster más cascarilla de arroz para ensayo UV



Anexo S: Probetas de matriz epoxi más cascarilla de arroz para ensayo UV



Anexo T: Informe de ensayos UV



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



Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
Personas de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas
Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121. E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
Quito- Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS

ORDEN DC-OT0001-2019

Proforma:	DC-P0605-2019
Empresa solicitante:	Cristian Pérez
Dirección:	Panamericana Sur km 8,5 vía a Riobamba
Fecha de recepción de muestra:	04-01-2019
Fecha de entrega de resultados:	08-02-2019
Análisis solicitados:	150 horas de exposición en cámara de xenón Elaboración de informe por cada ensayo Revisión por cada muestra

Importante: Los resultados que constan en el presente informe conciernen exclusivamente a las muestras, artículos o materiales entregados al CIAP y no se extienden a lotes de producción o marcas. La reproducción total o parcial de este informe se la hará previa la autorización expresa del DECAB de la E.P.N.



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

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
Personas de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas
Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121. E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
Quito- Ecuador



Metodología:

- ✓ Se procedió a realizar el ensayo directamente sobre las muestras tal cual fueron entregadas por el cliente, sin que se las haya sometido a ningún proceso preparativo o de limpieza.
- ✓ Se siguió el procedimiento estipulado en la norma ASTM G155- 13 “*Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials*”, con las siguientes condiciones:
 - Longitud de onda: 340 nm
 - Radiación: 0.35W/m²
 - Temperatura: 60±5 °C
 - Energía de exposición: ~2.0kJ/m².h
- ✓ Se realizó una evaluación visual de las muestras para evaluar los cambios registrados con respecto a su estado inicial para lo cual se tomaron registros fotográficos al inicio y al cabo de 50, 100 y 150 horas del ensayo.

Equipos:

- ✓ Cámara de arco de xenón Q-SUN
(En las fotografías No. 1, 2 y 3, a pedido del cliente, se muestran el equipo y las muestras antes de ser ensayadas)



Fotografía No. 1: Cámara de arco de xenón Q-Sun



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

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte - Direc.: Ladrón de Guevara E-11-253
Personas de Contacto: Tíga, Elizabeth Venegas
Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121; E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
Quito- Ecuador



Resultados:

Muestra # 1A: ARROZ (AZ) EPOXI												
ESTÁNDAR	50 HORAS			100 HORAS			150 HORAS					
	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
												
COLOR: Se toma de un color amarillento leve TEXTURA: No hay cambio apreciable ASPECTO: No hay cambio apreciable	COLOR: Se toma de un color amarillento moderado TEXTURA: No hay cambio apreciable ASPECTO: No hay cambio apreciable			COLOR: Se toma de un color amarillento moderado TEXTURA: No hay cambio apreciable ASPECTO: Desgaste de superficie, se denota pérdida de brillo								



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

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E111-253
 Personas de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas
 Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121. E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
 Quito- Ecuador



Muestra # 1B: ARROZ POLIESTER												
ESTÁNDAR	50 HORAS			100 HORAS			150 HORAS					
	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
COLOR: No hay cambio apreciable TEXTURA: No hay cambio apreciable ASPECTO: No hay cambio apreciable												



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

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
Personas de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas
Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121. E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
Quito- Ecuador



PROFESIONAL RESPONSABLE
DEL ANÁLISIS


Tlga. Elizabeth Venegas

AUTORIDAD AUTENTICADORA
(DIRECTOR CIAP)


Ing. Francisco Quiroz

QUEJAS Y SUGERENCIAS

El cliente puede canalizar las quejas sobre los resultados de los análisis, sobre el tiempo de entrega del informe u otro aspecto, a través del Jefe del DECAB (francisco.quiroz@epn.edu.ec) hasta 8 días después de la entrega del informe. En el DECAB se mantiene un registro de quejas y sugerencias con el fin de mejorar el servicio.

El laboratorio no se responsabiliza por el muestreo realizado antes de la entrega de las muestras al DECAB, pero si se responsabiliza de las muestras recibidas en las condiciones tal como las entrega el cliente.

Anexo U: Informe de ensayo de Tracción



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Informe N°: 180337140820190225-ETC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Cristian Fabian Pérez Salinas.	
Dirección: Huachi Grande, Ambato.	
Núm. de cédula / RUC: 1803371408001	Teléfono: 0987854474
E-mail: cris_fps@hotmail.com	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales
Designación del material: Material compuesto con y sin exposición ultravioleta, varios tiempos: Yute 30%, Cascarilla de arroz 17%, Abacá 30%, distintas matrices: Poliéster y Epóxica.
Método de ensayo: ASTM D 3039/D 3039M Método de prueba estándar para propiedades de tracción de los materiales compuestos de matriz de polímero.

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Exposición UV	Refuerzo	Fracción Volumétrica	Matriz	Probetas a Ensayar
1	180337140820190225-ETC 01	0 horas	Cascarilla arroz	Matriz 83% Refuerzo 17%	Poliéster	5
2	180337140820190225-ETC 02				Epóxica	5
3	180337140820190225-ETC 03		Abacá	Matriz 70% Refuerzo 30%	Poliéster	5
4	180337140820190225-ETC 04				Epóxica	5
5	180337140820190225-ETC 05	50 horas	Yute	Matriz 70% Refuerzo 30%	Poliéster	2
6	180337140820190225-ETC 06				Epóxica	3
7	180337140820190225-ETC 07		Cascarilla arroz	Matriz 83% Refuerzo 17%	Poliéster	3
8	180337140820190225-ETC 08				Epóxica	3
9	180337140820190225-ETC 09		Abacá	Matriz 70% Refuerzo 30%	Poliéster	2
10	180337140820190225-ETC 10				Epóxica	3
11	180337140820190225-ETC 11	100 horas	Yute	Matriz 70% Refuerzo 30%	Poliéster	2
12	180337140820190225-ETC 12				Epóxica	3
13	180337140820190225-ETC 13		Cascarilla arroz	Matriz 83% Refuerzo 17%	Poliéster	3
14	180337140820190225-ETC 14				Epóxica	3
15	180337140820190225-ETC 15		Abacá	Matriz 70% Refuerzo 30%	Poliéster	3
16	180337140820190225-ETC 16				Epóxica	2
17	180337140820190225-ETC 17	150 horas	Yute	Matriz 70% Refuerzo 30%	Poliéster	2
18	180337140820190225-ETC 18				Epóxica	3
19	180337140820190225-ETC 19		Cascarilla arroz	Matriz 83% Refuerzo 17%	Poliéster	3
20	180337140820190225-ETC 20				Epóxica	3
21	180337140820190225-ETC 21		Abacá	Matriz 70% Refuerzo 30%	Poliéster	3
22	180337140820190225-ETC 22				Epóxica	2
Total						68

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180337140820190225-ETC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM_2019_018

Empresa / Cliente: Cristian Fabian Pérez Salinas.

RUC/C.I.: 1803371408001

Ciudad: Ambato.

Dirección: Huachi Grande.

Teléfono: 0987854474

Correo: cris_fps@hotmail.com

DATOS DEL ENSAYO:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Dirección: Ambato/Catiglata. Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo: ASTM D3039-2015: Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz de polimérica.

Tipo de ensayo: Cuantitativo

Tipo de probeta: Plana

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50KN

Modelo: MTE-50.

Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10 mm/min.

Precarga: 0 KN.

Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/02/27. Fecha de Finalización de Ensayo: 2019/02/28.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de *Material compuesto*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

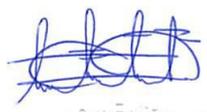
OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Exposición UV	Refuerzo	Fracción Volumétrica	Matriz	Probetas a Ensayar
1	180337140820190225-ETC 01	0 horas	Cascarilla arroz	Matriz 83% Refuerzo 17%	Poliéster	5
2	180337140820190225-ETC 02				Epóxica	5
3	180337140820190225-ETC 03		Abacá	Matriz 70% Refuerzo 30%	Poliéster	5
4	180337140820190225-ETC 04				Epóxica	5

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.

Observaciones: Ninguna.

		
Elaborado por:		Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Mg.	Ing. Fernando Tibán R.	Ing. Esteban López Espinel MEng.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 01 de marzo de 2019

N° de Factura: 001-002-000006579



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
1	180337140820190225-ETC 01-1	24,9	49,4	26,24	4,65	594,83	4,88	563,04	0,87	LGM
2	180337140820190225-ETC 01-2	24,9	49,4	27,34	3,78	738,41	7,15	480,07	1,49	LGT
3	180337140820190225-ETC 01-3	24,9	49,4	26,35	4,17	388,14	3,53	423,04	0,84	LGB
4	180337140820190225-ETC 01-4	24,9	49,4	25,5	4,39	642,17	5,74	316,06	1,82	LGM
5	180337140820190225-ETC 01-5	24,9	49,4	25,59	4,42	405,5	3,59	334,01	1,07	LGB
Promedio \bar{X}						553,810	4,975	423,246	1,216	
Desviación estándar S_{n-1}						152,487	1,526	102,742	0,425	
Coeficiente de variación CV						27,534	30,670	24,275	34,931	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
6	180337140820190225-ETC 02-1	25,5	47,1	26,88	4,18	1072,91	9,55	448,66	2,13	LGT
7	180337140820190225-ETC 02-2	25,5	47,1	26,15	4,09	1133,38	10,78	501,00	2,15	LGT
8	180337140820190225-ETC 02-3	25,5	47,1	27,26	4,21	949,84	8,28	418,35	1,98	LGM
9	180337140820190225-ETC 02-4	25,5	47,1	26,48	4,01	1249,62	11,77	479,69	2,45	LGM
10	180337140820190225-ETC 02-5	25,5	47,1	26,6	4,07	1104,46	10,20	504,20	2,02	LGT
Promedio \bar{X}						1106,042	10,116	470,380	2,147	
Desviación estándar S_{n-1}						109,949	1,312	36,560	0,186	
Coeficiente de variación CV						9,941	12,973	7,772	8,649	

INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Código: RG-RM-004
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 21-06-2017
Revisión: 7



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
26	180337140820190225-ETC 07-1	21,9	58,8	25,11	3,73	545,92	5,83	372,44	1,57	LGB
27	180337140820190225-ETC 07-2	21,9	58,8	25,73	4,04	692,66	6,66	478,24	1,39	LGB
28	180337140820190225-ETC 07-3	21,9	58,8	25,79	3,79	817,3	8,36	519,36	1,61	ACB
Promedio \bar{X}						685,293	6,951	456,679	1,523	
Desviación estándar S_{n-1}						135,840	1,291	75,792	0,114	
Coeficiente de variación CV						19,822	18,569	16,596	7,509	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
29	180337140820190225-ETC 08-1	22,1	58,1	26,24	4,12	1270,13	11,75	475,97	2,47	LGM
30	180337140820190225-ETC 08-2	22,1	58,1	24,41	4,15	998,75	9,86	527,46	1,87	ACB
31	180337140820190225-ETC 08-3	22,1	58,1	26,62	3,72	1353,76	13,67	552,54	2,47	LGT
Promedio \bar{X}						1207,547	11,760	518,659	2,271	
Desviación estándar S_{n-1}						185,595	1,906	39,034	0,348	
Coeficiente de variación CV						15,370	16,206	7,526	15,310	

Código: RG-RM-004
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 21-06-2017
Revisión: 7

INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Página 6 de 11



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor						
42	180337140820190225-ETC 13-1	23,8	53,7	25,53	4,4	937,22	8,34	415,78	2,01	LGM	
43	180337140820190225-ETC 13-2	23,8	53,7	25,81	4,15	934,06	8,72	496,66	1,76	LGM	
44	180337140820190225-ETC 13-3	23,8	53,7	24,79	3,73	553,81	5,99	513,37	1,17	LGB	
				Promedio \bar{X}		808,363	7,684	475,268	1,643		
				Desviación estándar S_{n-1}		220,455	1,480	52,192	0,431		
				Coeficiente de variación CV		27,272	19,260	10,982	26,244		

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor						
45	180337140820190225-ETC 14-1	24	53,2	26,57	4,03	1197,55	11,18	550,71	2,03	LGM	
46	180337140820190225-ETC 14-2	24	53,2	24,83	3,78	810,99	8,64	556,27	1,55	L1B	
47	180337140820190225-ETC 14-3	24	53,2	25,94	4,06	916,7	8,70	473,27	1,84	LGB	
				Promedio \bar{X}		975,080	9,510	526,749	1,808		
				Desviación estándar S_{n-1}		199,783	1,450	46,396	0,240		
				Coeficiente de variación CV		20,489	15,252	8,808	13,292		

INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Código: RG-RM-004
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 21-06-2017
Revisión: 7



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
58	180337140820190225-ETC 19-1	25,6	48,2	26,69	3,67	730,52	7,46	552,10	1,35	LGM
59	180337140820190225-ETC 19-2	25,6	48,2	26,47	4,1	918,28	8,46	589,98	1,43	LGM
60	180337140820190225-ETC 19-3	25,6	48,2	26,16	3,75	733,68	7,48	486,17	1,54	LGM
Promedio \bar{X}						794,160	7,799	542,749	1,441	
Desviación estándar S_{n-1}						107,503	0,573	52,533	0,094	
Coeficiente de variación CV						13,537	7,351	9,679	6,519	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
61	180337140820190225-ETC 20-1	25,6	48	26,01	4,01	1006,64	9,65	518,66	1,86	LGB
62	180337140820190225-ETC 20-2	25,6	48	25,29	3,86	758,92	7,77	448,95	1,73	LJB
63	180337140820190225-ETC 20-3	25,6	48	26,31	3,87	796,79	7,83	470,47	1,66	LGM
Promedio \bar{X}						854,117	8,417	479,359	1,752	
Desviación estándar S_{n-1}						133,439	1,069	35,696	0,100	
Coeficiente de variación CV						15,623	12,704	7,447	5,725	

INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Código: RG-RM-004

Fecha de Elaboración: 11-05-2016

Fecha de última aprobación: 21-06-2017

Revisión: 7



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Nomenclatura:

De tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

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

Elaborado por:		
Ing. Fernando Galarza Chacón Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente		

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

cristian perez
Avenida Los Chasquis y Rio Payamino
Tungurahua 180150
Ecuador

Items (Todos los precios están en Dólares estadounidenses)

Ver los detalles para recuperar los artículos de su pedido.

	Cantidad	Precio unitario	Importe
1. Microsoft SQL Server 2012 Express (64-bit) (Software)	1	\$29.99	\$29.99
2. Estándar de Acceso a Internet (24 meses)	1	\$4.95	\$4.95
		Subtotal:	\$34.94
		Impuestos:	--
		Total:	\$34.94

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

Anexo V: Informe técnico de ensayo de medición de rugosidad Rz, del material compuesto RP+CA



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



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

MEDICIÓN DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN MUESTRAS DE
MATERIALES COMPUESTOS

ABRIL DE 2019
AMBATO – ECUADOR

INFORME TÉCNICO **Lb1-0006-2019**

Objetivo

Establecer y mantener un método para evaluar la rugosidad superficial de un objeto o pieza producto.

Alcance

Aplicable a medición de rugosidad en superficies planas de valores Rz entre $0,03 \mu\text{m}$ y $20 \mu\text{m}$.

Proceso de medida bajo normas: ISO 4287-1997, ISO 3274 y ISO 5436-1

ANTECEDENTES:

Con fecha 28 de enero de 2019, al sr. Luis Cando, domiciliado en la ciudad de Salcedo – Cotopaxi, solicita al Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para medir la calidad superficial de dos materiales compuestos.

Se reciben 52 muestras o probetas, bajo el nombre de: **(Resina poliéster combinado con cascarilla de arroz)** de aspecto compuesto del 83% de matriz y 17% de refuerzo. Por anverso: color ocre claro y brillante, superficie lisa y forma regular; por reverso: color ocre oscuro, superficie lisa. Las muestras tienen dimensiones promedias de: **10mm** de diámetro y **10 mm** de espesor

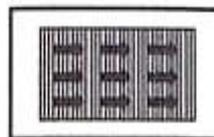
PROCESO GENERAL:

Alineación del objeto o pieza producto. Se procede antes de cada medición a alinear el objeto o pieza producto con el eje de desplazamiento del palpador.

Selección de los Parámetros a medir. Se selecciona los parámetros a medir en función de la información o documentación suministrada por el usuario o de las necesidades manifestadas por el mismo.

Antes de efectuar las respectivas mediciones de la rugosidad en las probetas se calibra el equipo de medición con la galga de calibración que debe estar cerca de $2,94 \mu\text{m}$ (Ra).

Las mediciones se realizan perpendicularmente a las líneas de mecanizado, como se indica en la figura adjunta.



Se efectuaron las mediciones de rugosidades superficiales de las probetas con las réplicas solicitadas por el usuario y los respectivos datos fueron registrados y tabulados.

Se efectuaron las mediciones de rugosidades superficiales de las probetas con las réplicas solicitadas por el usuario y los respectivos datos fueron registrados y tabulados.

CONDICIONES DE ENSAYO

- Temperatura: 20 °C
- Ángulo de la pendiente del cono: 60°
- Fuerza de medición estática: 0,75 mN
- Radio de la punta: 2µm

Se selecciona el palpador en función de la medición a realizar y siguiendo los lineamientos del manual de fabricante del Rugosímetro.

Un criterio práctico aproximado de selección de palpadores podría ser el siguiente:

R_a	Palpadores de radio r_p
$R_a \leq 0,4 \mu m$	$2 \mu m$ o $2,4 \mu m$
$0,4 \mu m \leq R_a \leq 6 \mu m$	$5 \mu m$
$R_a \geq 6 \mu m$	$10 \mu m$

Calibración del Equipo

Con la medición se puede verificar un error de 0.001 µm con lo cual se asegura la fiabilidad de los resultados.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
Centro de Transferencia y Tecnología

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS INFORMATIVOS:

Fecha:	10/01/2019	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorios de Materiales de la FICM	Campus Huachi	
Equipo:	Rugosímetro digital MITUTOYO SurfTest SJ-210		
Realizado por:	Gustavo Pomaquero	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas
Tipo de material:	Material compuesto (Resina poliéster combinado con cascarilla de arroz)	Orden:	

PARÁMETROS DE ENSAYO

Tipo de Medición:	Medición de rugosidad (Rz)	Norma:	ISO 4287-1997
Dimensiones (mm):	Ø10mm x 10mm	Nº de probetas:	52



Resultados de la medición de rugosidad (um)

Nº	Código	Horizontal		Vertical		Medición promedio Total
		Med. Prom. 1	Med. Prom. 2	Med. Prom. 3	Med. Prom. 4	
1	RP -CA	3.949	4.472	4.758	4.211	4.484
2	RP -CA	4.352	4.775	4.564	4.563	4.563
3	RP -CA	5.437	4.649	5.502	5.043	5.273
4	RP -CA	4.855	5.402	5.127	5.128	5.128
5	RP -CA	5.151	4.436	4.794	4.793	4.793
6	RP -CA	4.295	4.763	4.529	4.529	4.529
7	RP -CA	4.471	4.616	4.541	4.543	4.542
8	RP -CA	4.976	4.588	4.781	4.782	4.782
9	RP -CA	5.025	4.472	4.750	4.749	4.749
10	RP -CA	5.389	4.426	4.909	4.908	4.908
11	RP -CA	4.142	5.575	4.860	4.859	4.859

12	RP-CA	5.765	5.177	5.470	5.471	5.471
13	RP-CA	3.895	4.053	4.565	3.974	4.270
14	RP-CA	3.939	5.553	3.883	4.746	4.315
15	RP-CA	4.544	4.135	4.341	4.340	4.340
16	RP-CA	4.018	4.283	4.564	4.151	4.357
17	RP-CA	5.291	4.429	4.861	4.860	4.860
18	RP-CA	4.507	4.468	5.046	4.488	4.767
19	RP-CA	4.341	4.531	4.434	4.436	4.435
20	RP-CA	4.087	4.245	4.398	4.166	4.282
21	RP-CA	4.759	4.822	4.791	4.790	4.790
22	RP-CA	4.729	3.305	4.987	4.017	4.502
23	RP-CA	5.729	4.947	5.340	5.338	5.339
24	RP-CA	4.480	4.190	4.987	4.335	4.661
25	RP-CA	4.253	4.642	4.779	4.448	4.613
26	RP-CA	4.989	5.152	5.069	5.070	5.070
27	RP-CA	6.788	6.811	6.802	6.800	6.801
28	RP-CA	9.618	7.564	5.732	8.591	7.162
29	RP-CA	7.249	5.445	6.349	6.347	6.348
30	RP-CA	7.041	5.519	6.280	6.280	6.280
31	RP-CA	7.071	7.260	6.136	7.166	6.651
32	RP-CA	5.924	7.098	6.511	6.511	6.511
33	RP-CA	9.150	6.993	5.719	8.072	6.895
34	RP-CA	7.978	7.730	7.854	7.854	7.854
35	RP-CA	9.181	6.159	7.670	7.670	7.670
36	RP-CA	8.925	6.776	7.851	7.851	7.851
37	RP-CA	8.198	5.374	7.310	6.786	7.048
38	RP-CA	7.471	6.629	7.050	7.050	7.050
39	RP-CA	7.997	7.751	7.874	7.874	7.874
40	RP-CA	10.240	7.898	7.049	9.069	8.059
41	RP-CA	8.563	6.207	7.385	7.385	7.385
42	RP-CA	8.255	7.620	6.006	7.938	6.972
43	RP-CA	8.382	7.013	7.698	7.698	7.698
44	RP-CA	10.566	6.749	7.300	8.658	7.979
45	RP-CA	7.579	5.930	6.755	6.755	6.755
46	RP-CA	8.417	8.283	6.768	8.350	7.559
47	RP-CA	7.674	4.727	6.201	6.201	6.201
48	RP-CA	6.854	5.340	6.598	6.097	6.347
49	RP-CA	8.001	7.391	7.696	7.696	7.696
50	RP-CA	6.982	7.842	8.324	7.412	7.868
51	RP-CA	8.067	7.252	7.660	7.660	7.660
52	RP-CA	8.740	6.541	7.640	7.640	7.640


Ego. Gustavo Pomaquero
TÉCNICO LABORATORISTA




Ing. Sebastián Villegas
TÉCNICO DE LABORATORIO




Ing. Santiago Medina
COORDINADOR DE CTT



Anexo W: Informe técnico de ensayo de medición de rugosidad Rz, del material compuesto RE+CA



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



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

MEDICIÓN DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN MUESTRAS DE
MATERIALES COMPUESTOS

ABRIL DE 2019
AMBATO - ECUADOR

INFORME TÉCNICO Lb1-0005-2019

Objetivo

Establecer y mantener un método para evaluar la rugosidad superficial de un objeto o pieza producto.

Alcance

Aplicable a medición de rugosidad en superficies planas de valores Rz entre 0,03 μm y 20 μm .

Proceso de medida bajo normas: ISO 4287-1997, ISO 3274 y ISO 5436-1

ANTECEDENTES:

Con fecha 28 de enero de 2019, la Sr Luis Cando, domiciliado en la ciudad de Salcedo – Cotopaxi, solicita al Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para medir la calidad superficial de dos materiales compuestos.

Se reciben 52 muestras o probetas, bajo el nombre de: **(Resina Epóxica combinado con cascarilla de arroz)** de aspecto compuesto del 83% de matriz y 17% de refuerzo. Por anverso: color ocre claro y brillante, superficie lisa y forma regular; por reverso: color ocre oscuro, superficie lisa. Las muestras tienen dimensiones promedias de: **10 mm** de diámetro y espesor de **10 mm**.

PROCESO GENERAL:

Alineación del objeto o pieza producto. Se procede antes de cada medición alinear el objeto o pieza producto con el eje de desplazamiento del palpador.

Selección de los Parámetros a medir. Se selecciona los parámetros a medir en función de la información o documentación suministrada por el usuario o de las necesidades manifestadas por el mismo.

Antes de efectuar las respectivas mediciones de la rugosidad en las probetas se calibra el equipo de medición con la galga de calibración que debe estar cerca de 2,94 μm (Ra).

Las mediciones se realizan perpendicularmente a las líneas de mecanizado, como se indica en la figura adjunta.



Se efectuaron las mediciones de rugosidades superficiales de las probetas con las réplicas solicitadas por el usuario y los respectivos datos fueron registrados y tabulados.

CONDICIONES DE ENSAYO

- Temperatura: 20 °C
- Ángulo de la pendiente del cono: 60°
- Fuerza de medición estática: 0,75 mN
- Radio de la punta: 2µm

Se selecciona el palpador en función de la medición a realizar y siguiendo los lineamientos del manual de fabricante del Rugosímetro.

Un criterio práctico aproximado de selección de palpadores podría ser el siguiente:

Ra	Palpadores de radio ap
$R_a \leq 0,4 \mu m$	2 μm o 2,4 μm
$0,4 \mu m \leq R_a \leq 6 \mu m$	5 μm
$R_a \geq 6 \mu m$	10 μm

Calibración del Equipo

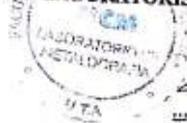
Con la medición se puede verificar un error de 0.001 µm con lo cual se asegura la fiabilidad de los resultados.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
Centro de Transferencia y Tecnología						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS:						
Fecha:	06/02/2019	Ciudad:	Ambato			
Lugar:	Laboratorios de Materiales de la FICM		Campus Huachi			
Equipo:	Rugosímetro digital MITUTOYO Surfrest SJ-210					
Realizado por:	Gustavo Pomaquero	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas			
Tipo de material:	Material compuesto (Resina epóxica combinado con cascarilla de arroz)			Orden: 16		
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de Medición:	Medición de rugosidad (Rz)	Norma:	ISO 4287-1997			
Dimensiones (mm):	Ø10mm x 10mm	Nº de probetas:	52			
						
Resultados de la medición de rugosidad con broca con diamante(um)						
Nº	Código	Horizontal		Vertical		Medición promedio Total
		Med. Prom. 1	Med. Prom. 2	Med. Prom. 3	Med. Prom. 4	
1	RE -CA	5.352	4.939	6.202	5.146	5.674
2	RE -CA	4.991	7.807	6.400	6.399	6.399
3	RE -CA	4.632	5.620	5.125	5.126	5.126
4	RE -CA	5.455	5.092	5.274	5.274	5.274
5	RE -CA	5.179	4.933	5.056	5.056	5.056
6	RE -CA	3.013	7.790	5.402	5.402	5.402
7	RE -CA	5.095	9.460	4.037	7.278	5.657
8	RE -CA	4.713	5.025	5.279	4.869	5.074
9	RE -CA	4.324	6.058	5.191	5.191	5.191
10	RE -CA	4.192	4.473	5.421	4.333	4.877
11	RE -CA	4.350	5.185	4.768	4.768	4.768
12	RE -CA	4.845	4.786	4.815	4.815	4.815

13	RE -CA	5.966	5.407	5.686	5.686	5.686
14	RE -CA	5.651	6.485	4.418	6.068	5.243
15	RE -CA	5.859	6.417	5.518	6.138	5.828
16	RE -CA	5.548	6.129	5.840	5.839	5.839
17	RE -CA	5.634	4.296	4.965	4.965	4.965
18	RE -CA	4.284	4.980	5.224	4.632	4.928
19	RE -CA	4.019	7.084	3.551	5.552	4.551
20	RE -CA	3.874	4.572	4.223	4.223	4.223
21	RE -CA	5.854	5.931	5.893	5.893	5.893
22	RE -CA	5.918	7.754	4.496	6.836	5.666
23	RE -CA	5.004	5.419	5.212	5.212	5.212
24	RE -CA	6.165	6.582	4.729	6.374	5.551
25	RE -CA	4.555	6.378	5.467	5.467	5.467
26	RE -CA	4.603	6.747	5.675	5.675	5.675
27	RE -CA	6.084	6.109	6.096	6.096	6.096
28	RE -CA	7.748	5.205	6.476	6.476	6.476
29	RE -CA	7.624	5.754	6.689	6.689	6.689
30	RE -CA	6.252	5.549	5.900	5.900	5.900
31	RE -CA	6.648	6.158	6.403	6.403	6.403
32	RE -CA	6.582	5.834	6.208	6.208	6.208
33	RE -CA	6.195	6.550	6.372	6.372	6.372
34	RE -CA	7.170	6.984	7.077	7.077	7.077
35	RE -CA	5.850	5.841	5.845	5.845	5.845
36	RE -CA	6.110	6.481	6.296	6.296	6.296
37	RE -CA	6.286	5.397	5.841	5.841	5.841
38	RE -CA	7.191	7.118	7.154	7.154	7.154
39	RE -CA	5.916	6.230	6.073	6.073	6.073
40	RE -CA	5.313	6.170	5.741	5.741	5.741
41	RE -CA	5.407	5.251	5.329	5.329	5.329
42	RE -CA	6.693	5.475	6.084	6.084	6.084
43	RE -CA	7.076	6.316	6.696	6.696	6.696
44	RE -CA	6.545	6.606	6.576	6.576	6.576
45	RE -CA	4.969	6.626	5.798	5.798	5.798
46	RE -CA	6.561	6.005	6.283	6.283	6.283
47	RE -CA	6.816	6.124	6.470	6.470	6.470
48	RE -CA	6.494	5.515	6.005	6.005	6.005
49	RE -CA	6.918	5.822	6.370	6.370	6.370
50	RE -CA	5.951	6.630	6.291	6.291	6.291
51	RE -CA	6.673	6.049	6.361	6.361	6.361
52	RE -CA	6.043	5.479	5.761	5.761	5.761


Ego. Gustavo Pomaquero
TÉCNICO LABORATORISTA




Ing. Sebastián Villegas
TÉCNICO DE LABORATORIO




Ing. Santiago Medina
COORDINADOR DE CTT



Anexo X: Tabla de análisis de varianza (ANOVA)

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	Valor-p
Tratamientos	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k-1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Error	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N-k}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			