



**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 EN MATERIALES  
COMPUESTOS: FIBRA NATURAL (FN) + FIBRA DE VIDRIO (FV) + RESINA  
POLIÉSTER Y FIBRA NATURAL (FN) + RESINA POLIÉSTER”

---

---

**AUTOR:** Edwin Patricio Vásquez Manzano

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

Ambato – Ecuador

2018

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del proyecto experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con 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**” elaborado por el Sr. Edwin Patricio Vásquez Manzano, portador de la cédula de ciudadanía: 050412887-7, y egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, Marzo de 2018

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

**Tutor**

## **AUTORÍA DEL TRABAJO**

Yo, Edwin Patricio Vásquez Manzano con CI. 050412887-7 declaro que los criterios emitidos en este trabajo experimental con 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”**, son auténticos y de absoluta responsabilidad del autor, a excepción de las fuentes bibliográficas que se encuentra citadas en el trabajo de investigación.

Los criterios emitidos, contenidos, ensayos realizados, resultados obtenidos, conclusiones y recomendaciones descritas en el trabajo experimental son de exclusiva responsabilidad de mi autoría.

Ambato, Marzo de 2018

---

Edwin Patricio Vásquez Manzano

050412887-7

**Autor**

## **DERECHOS DE AUTOR**

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

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

---

Edwin Patricio Vásquez Manzano

050412887-7

**Autor**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante Edwin Patricio Vásquez Manzano de 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”**

Ambato, Mayo de 2018

Para su constancia firman:

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

.....  
Ing. Wilson Henry Vaca Ortega Mg.

## **DEDICATORIA**

*La presente tesis está dedicada a la persona más importante que representa para mi vida: mi mamá Dolores Vásquez, siendo el ejemplo de lucha y superación; con su perseverancia, entendimiento, apoyo permanente y sobre todo el amor incondicional que me ha brindado a lo largo de mi trayectoria estudiantil, ha hecho que este escribiendo estas líneas como símbolo de haber cumplido uno de mis tan anhelados objetivos.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por darme la vida, salud y fuerza para cumplir con mis objetivos de vida.*

*A mi mama Dolores Vásquez, que ha hecho lo posible para que yo como hijo me forme profesionalmente, con su amor y apoyo incondicional guiándome por el camino correcto, enseñándome el valor que tiene la vida, que han hecho de mí una persona humilde, honesta, responsable, respetuoso, justo y con un gran deseo de siempre obtener éxitos.*

*A los ingenieros de la Carrera de Ingeniería Mecánica, por formarme profesionalmente compartiendo sus conocimientos, retos y sobre todo el amor y lealtad a la carrera.*

*A mi tutor Ing. Mg. Juan Paredes y Ing. Mg. Cristian Pérez que me han brindado el apoyo incondicional durante el desarrollo de este trabajo experimental.*

*A amigos, compañeros, y conocidos que me han ayudado a practicar y mejorar valores éticos como la lealtad, integridad y justicia.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

1	CAPÍTULO I.....	17
1.1	Tema del trabajo experimental .....	17
1.2	Antecedentes .....	17
1.3	Justificación.....	19
1.4	Objetivos .....	21
1.4.1	Objetivo General .....	21
1.4.2	Objetivos Específicos.....	21
2	CAPÍTULO II .....	22
2.1	Fundamentación Teórica .....	22
2.1.1	Materiales compuestos reforzados con fibras .....	22
2.1.2	Ranurado de materiales compuestos .....	30
2.1.3	Rugosidad superficial.....	37
2.1.4	Delaminación superficial .....	42
2.2	Hipótesis.....	45
2.3	Señalamiento de las variables de la hipótesis.....	45
2.3.1	Variable independiente.....	45
2.3.2	Variable dependiente.....	45
2.3.3	Término de relación .....	45
3	CAPÍTULO III.....	46
3.1	Nivel o Tipo de investigación .....	46



3.1.1	Investigación exploratoria.....	46
3.1.2	Investigación descriptiva.....	46
3.1.3	Investigación bibliográfica.....	46
3.1.4	Investigación experimental .....	46
3.2	Población y muestra .....	47
3.2.1	Población.....	47
3.2.2	Muestra.....	47
3.3	Operacionalización de variables.....	49
3.3.1	Variable independiente.....	49
3.3.2	Variable dependiente.....	50
3.4	Plan de recolección de información .....	51
3.5	Plan de procesamiento y análisis.....	52
3.5.1	Revisión de Datos .....	52
3.5.2	Tabulación de la información.....	52
3.5.3	Análisis de la información .....	52
3.5.4	Presentación de la información analizada .....	52
3.5.5	Interpretación de los resultados.....	52
4	CAPÍTULO IV.....	53
	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	53
4.1	Recolección de datos .....	53
4.1.1	Obtención de la materia prima .....	55

4.1.2	Determinación de las propiedades físicas de las fibras y resina .....	56
4.1.3	Especificación de las fracciones volumétricas.....	56
4.1.4	Configuración de la fibra .....	60
4.1.5	Proceso de estratificación al vacío del material compuesto.....	60
4.1.6	Revisión de las planchas (control de calidad).....	63
4.1.7	Especificación de los equipos, herramienta y máquinas para el ensayo 63	
4.1.8	Ranurado de las probetas .....	65
4.1.9	Determinación de la rugosidad superficial (Ra).....	68
4.1.10	Determinación del factor de delaminación (Fd).....	71
4.1.11	Fichas de reporte rugosidad superficial (Ra) .....	74
4.1.12	Fichas de reporte del factor de delaminación.....	84
4.2	Análisis de Resultados.....	94
4.2.1	Análisis de rugosidad superficial (Ra) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio.....	95
4.2.2	Análisis de la rugosidad superficial (Ra) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio.....	97
4.2.3	Análisis de la rugosidad superficial (Ra) del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.....	99
4.2.4	Análisis del factor de delaminación (Fd) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio.....	101
4.2.5	Análisis del factor de delaminación (Fd) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio.....	104

4.2.6	Análisis del factor de delaminación (Fd) del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.....	107
4.2.7	Interpretación final de datos.....	109
4.3	Verificación de hipótesis:.....	111
4.3.1	ANOVA y verificación de hipótesis específicas de la rugosidad superficial (Ra).....	111
4.3.2	ANOVA y verificación de hipótesis específicas del factor de delaminación (Fd). .....	114
CAPÍTULO V .....		117
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		117
5.1.	Conclusiones .....	117
5.2.	Recomendaciones .....	119
ANEXOS .....		124
1.	Tabla de rugosidad promedio en diferentes procesos .....	124
2.	Tabla de rugosidad de superficies según el método de fabricación .....	124
3.	Especificaciones “Fresa de metal duro para composites” .....	125
4.	Especificaciones de corte de la fresa HSS-Co 8% o HSE .....	126
5.	Especificaciones de corte para la fresa HSC en materiales compuestos.....	127
6.	Ubicación de las probetas en el horno para su secado .....	128
7.	Proceso de ranurado del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio.....	128
8.	Proceso de ranurado del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio.....	129

9. Proceso de ranurado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.....	129
10. Ranuras del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio.....	130
11. Ranuras del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio.....	130
12. Ranuras del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.....	131
12.1. Puntos de medición y corte del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio.....	131
13. Puntos de medición y corte del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio.....	132
14. Puntos de medición y corte del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.....	132
15. Introducción de las probetas a la cámara del microscopio de barrido SEM previo al análisis de la delaminación.....	133
16. Medición de las probetas en el microscopio de barrido SEM.....	133
17. Matriz de diseño factorial del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio.....	134
18. Análisis de diseño factorial del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio.....	135
19. Matriz de diseño factorial del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio.....	139
20. Análisis del diseño factorial del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio.....	140

21. Matriz de diseño factorial del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco. ....	144
22. Análisis del diseño factorial del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco. ....	145
23. Resultados predichos de la mejor combinación para generar una rugosidad superficial (Ra) mínima de acuerdo al tipo de refuerzo. ....	148

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Tipos de compuestos según el tipo de refuerzo. De izquierda a derecha: Refuerzo particulado, fibroso y laminado. ....	25
<b>Figura 2</b> Tipos de configuraciones de los refuerzos. ....	25
<b>Figura 3</b> Tejido artesanal de la fibra de cabuya. ....	28
<b>Figura 4</b> Proceso de ranurado. ....	30
<b>Figura 5</b> Ejemplo de los parámetros en una fresa de escuadrar y ranurar. ....	35
<b>Figura 6</b> Representación del avance por diente. ....	35
<b>Figura 7</b> Términos de la topografía superficial. ....	38
<b>Figura 8</b> Factores que afectan la rugosidad superficial. ....	39
<b>Figura 9</b> Derivación del perfil de rugosidad matemáticamente. ....	40
<b>Figura 10</b> Propagación de la delaminación generado por una fuerza en superficie o cara plana. ....	42
<b>Figura 11</b> Representación microscópica de la delaminación. ....	43
<b>Figura 12</b> Factor de delaminación $Fd$ vs. Velocidad de corte $Vc$ . ....	44
<b>Figura 13</b> Plan de procesamiento y análisis. ....	55
<b>Figura 14</b> Dimensiones de la plancha para el ensayo. ....	57
<b>Figura 15</b> En orden izquierda - derecha: tejido plano 0° fibra de cabuya, tejido plano 0° fibra de cabuya y fibra de coco 0,5-1cm al azar. ....	60
<b>Figura 16</b> Probetas en orden izquierda - derecha: híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra vidrio más cabuya, híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio más abacá y compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco. ....	63

<b>Figura 17</b> Distribución gráfica de las combinaciones de corte. ....	67
<b>Figura 18</b> Especificación dimensional del proceso de ranurado. ....	67
<b>Figura 19</b> En orden de izquierda a derecha: ranurado del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio más cabuya, ranurado del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio más abacá y ranurado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco. ....	68
<b>Figura 20</b> Indicaciones de medición de rugosidad paralelo a la fibra y perpendicular a la fibra. ....	69
<b>Figura 21</b> En orden de izquierda a derecha, probetas cortadas posterior a medición de la rugosidad del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio más cabuya, híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio más abacá y compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco. ....	70
<b>Figura 22</b> Toma de datos en el rugosímetro SJ-210 Mitutoyo de las ranuras en orden de izquierda a derecha: CFCV1,1-60/0,15/HSC, medición 3 - CFAV1,2-60/0,1/HSS, medición 1 - CFCV1,1-48/0,1/HSC, medición 2. ....	70
<b>Figura 23</b> Extractos para la medición de delaminación de los híbridos compuestos. ....	71
<b>Figura 24</b> En orden de izquierda a derecha, probetas para la medición de delaminación en el microscopio de barrido SEM del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio más cabuya, híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y abacá y compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco. ....	72
<b>Figura 25</b> Medición de delaminación en “Scanning electron Microscope VEGA3 SEM” del extracto CFAV 1,1-60/0,1/HSS. ....	73
<b>Figura 26</b> Gráfica de probabilidad normal – rugosidad superficial (Ra), fibra de cabuya. ....	95

<b>Figura 27</b> Diagrama de Pareto de los efectos - rugosidad superficial (Ra), fibra de cabuya. ....	96
<b>Figura 28</b> Gráfica de interacción para Rugosidad (Ra), fibra de cabuya. ....	96
<b>Figura 29</b> Gráfica de probabilidad normal – rugosidad superficial (Ra), fibra de abacá.....	97
<b>Figura 30</b> Diagrama de Pareto de los efectos rugosidad superficial (Ra), fibra de abacá.....	98
<b>Figura 31</b> Gráfica de interacción para la rugosidad (Ra), fibra de abacá.....	99
<b>Figura 32</b> Diagrama de Pareto de los efectos - rugosidad superficial (Ra), fibra de coco. ....	100
<b>Figura 33</b> Gráfica de los efectos principales para Rugosidad (Ra), fibra de coco. ....	101
<b>Figura 34</b> Gráfica de probabilidad normal – factor de delaminación (Fd), fibra de cabuya. ....	102
<b>Figura 35</b> Gráfica normal de los efectos estandarizados – factor de delaminación (Fd), fibra de cabuya. ....	103
<b>Figura 36</b> Gráfica de interacción para delaminación (Fd), fibra de cabuya.....	103
<b>Figura 37</b> Gráfica de probabilidad normal – factor de delaminación (Fd), fibra de abacá.....	104
<b>Figura 38</b> Gráfica normal de efectos estandarizados – delaminación (Fd), fibra de abacá.....	105
<b>Figura 39</b> Gráfica de interacción para delaminación (Fd), fibra de abacá. ....	106
<b>Figura 40</b> Gráfica de probabilidad normal – factor de delaminación (Fd), fibra de coco. ....	107
<b>Figura 41</b> Gráfica normal de efectos estandarizados - delaminación (Fd), fibra de coco. ....	108



**Figura 42** Gráfica de interacción para delaminación (Fd), fibra de coco. .... 108

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Propiedades mecánicas de las fibras naturales.....	26
<b>Tabla 2</b> Parámetros Mecánicos, Material compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.....	27
<b>Tabla 3</b> Parámetros mecánicos del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y cabuya.....	27
<b>Tabla 4</b> Parámetros mecánicos del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y abacá.....	28
<b>Tabla 5</b> Autopartes reforzado con fibra natural. ....	29
<b>Tabla 6</b> Codificación del herramental. ....	33
<b>Tabla 7</b> Velocidad de corte para diferentes materiales. ....	34
<b>Tabla 8</b> Ensayos con diferentes tipos de fibras y parámetros de corte.....	36
<b>Tabla 9</b> Valores de rugosidad superficial calculados.....	41
<b>Tabla 10</b> Diseño de datos. ....	47
<b>Tabla 11</b> Muestra poblacional.....	48
<b>Tabla 12</b> Variable Independiente, Análisis de los parámetros de mecanizado. ....	49
<b>Tabla 13</b> Variable dependiente, Rugosidad y delaminación superficial. ....	50
<b>Tabla 14</b> Plan de recolección de datos. ....	51
<b>Tabla 15</b> Densidad de las fibras naturales.....	56
<b>Tabla 16</b> Cantidad de fibras y resina poliéster.....	59
<b>Tabla 17</b> Componentes para el proceso de estratificación al vacío.....	61
<b>Tabla 18</b> Especificaciones del equipo de trabajo. ....	63

<b>Tabla 19</b> Especificación de ensayos (réplicas).....	66
<b>Tabla 20</b> Interpretación final de la rugosidad superficial (Ra).....	109
<b>Tabla 21</b> Selección de la mejor combinación con el uso de una herramienta HSS método de Turkey. ....	110

## ÍNDICE DE FICHAS TÉCNICAS

<b>Ficha técnica núm. 1</b> Recolección de datos y evaluación de la rugosidad superficial (Ra) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio (paralelo a la fibra).....	74
<b>Ficha técnica núm. 2</b> Recolección de datos y evaluación de la rugosidad superficial (Ra) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio (perpendicular a la fibra).....	76
<b>Ficha técnica núm. 3</b> Recolección de datos y evaluación de la rugosidad superficial (Ra) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio (paralelo a la fibra).....	78
<b>Ficha técnica núm. 4</b> Recolección de datos y evaluación de la rugosidad superficial (Ra) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio (perpendicular a la fibra).....	80
<b>Ficha técnica núm. 5</b> Recolección de datos y evaluación de la rugosidad superficial (Ra) del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco. ....	82
<b>Ficha técnica núm. 6</b> Recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio (paralelo a la fibra).....	84
<b>Ficha técnica núm. 7</b> Recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio (perpendicular a la fibra).....	86
<b>Ficha técnica núm. 8</b> Recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio (paralelo a la fibra).....	88
<b>Ficha técnica núm. 9</b> Recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio (perpendicular a la fibra).....	90

**Ficha técnica núm. 10** Recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd) del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco. .... 92

## RESUMEN EJECUTIVO

### ANÁLISIS DEL PROCESO DE RANURADO EN MATERIALES COMPUESTOS: FIBRA NATURAL (FN) + FIBRA DE VIDRIO (FV) + RESINA POLIÉSTER Y FIBRA NATURAL (FN) + RESINA POLIÉSTER

**Autor:** Edwin Patricio Vásquez Manzano

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

Los materiales compuestos reforzados con fibra natural son reconocidos por sus propiedades inherentes al momento de formar parte de componentes estructurales, sin embargo, el fresado de este tipo de materiales presentan gran sensibilidad al momento de evaluar la calidad superficial asociadas a las características mismas del material, para estudiar este concepto, se ha establecido desarrollar un trabajo experimental basado en analizar el proceso de ranurado, mismo que, se ensayó en tres diferentes materiales compuestos matriz poliéster reforzado con fibra: abacá más vidrio, cabuya más vidrio y coco. El análisis efectuado consiste en variar los parámetros de corte (velocidad de corte, velocidad de avance y herramienta), así mismo, generar una óptima combinación que permita establecer una calidad superficial sean estos: rugosidad superficial ( $R_a$ ) y factor de delaminación ( $F_d$ ). Del mismo modo, para el desarrollo del ensayo se estableció un plan experimental, basado en el diseño de experimentos DOE y el análisis de varianza ANOVA, considerando parámetros de corte prefijados y establecidos en fuentes bibliográficas: ficha técnica de la herramienta y bibliografía utilizada para herramientas HSC y HSS. Con los datos analizados y sintetizados se estableció una óptima condición para obtener una rugosidad superficial mínima ( $R_a$ ) y un factor de delaminación mínimo ( $F_d$ ) mediante la utilización de una herramienta HSC, del mismo modo aplicando una velocidad de corte de 60 m/min y velocidad de avance de 0,10 mm/rev para los compuestos reforzados con fibra: abacá más vidrio y coco. Y para el compuesto reforzado con fibra de cabuya más vidrio se inclina por una velocidad de avance de 0,15 mm/rev para el caso de la rugosidad superficial ( $R_a$ ), así mismo, para el compuesto reforzado con fibra de abacá se fijó una velocidad de corte de 48m/min con el fin de obtener un factor de delaminación mínimo ( $F_d$ ).

## EXECUTIVE SUMMARY

### ANALYSIS OF THE GROWING PROCESS IN COMPOSITE MATERIALS: NATURAL FIBER (FN) + GLASS FIBER (FV) + RESIN POLYESTER AND NATURAL FIBER (FN) + RESIN POLYESTER

**Author:** Edwin Patricio Vásquez Manzano

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

Natural fiber reinforced plastic composites are recognized for their inherent properties at the time of being part of structural components, however, the milling of this type of materials present great sensitivity when evaluating the surface quality associated with the characteristics of the material itself, To study this concept, it has been established to develop an experimental work based on analyzing the grooving process, which was tested on three different fiber reinforced polyester matrix composites: abaca plus glass, cabuya plus glass and coconut. The analysis carried out consists in varying the cutting parameters (cutting speed, feed rate and tool), as well as generating an optimal combination that allows to establish a surface quality such as: surface roughness (Ra) and delamination factor (Fd). In the same way, for the development of the trial an experimental plan was established, based on the design of DOE experiments and the analysis of variance ANOVA, considering pre-set cutting parameters and established in bibliographic sources: tool's data sheet and bibliography used for tools HSC and HSS. With the analyzed and synthesized data an optimal condition was established to obtain a minimum surface roughness (Ra) and a minimum delamination factor (Fd) by using an HSC tool, in the same way applying a cutting speed of 60 m / min and 0.10 mm/rev feed rate for fiber reinforced composites: abaca plus glass and coconut. And for the cabuya wile glass fiber reinforced composites inclines by a feed rate of 0.15 mm/rev for the case of the surface rugosity (Ra), likewise, for the abaca wile glass fiber reinforced composites a speed was fixed of cutting speed of 48m / min in order to obtain a minimum delamination factor (Fd).

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES

### 1.1 Tema del trabajo experimental

ANÁLISIS DEL PROCESO DE RANURADO EN MATERIALES COMPUESTOS: FIBRA NATURAL (FN) + FIBRA DE VIDRIO (FV) + RESINA POLIÉSTER Y FIBRA NATURAL (FN) + RESINA POLIÉSTER

### 1.2 Antecedentes

Para el desarrollo del presente proyecto experimental se ha de considerar investigaciones realizadas que brindan la información necesaria para el procedimiento de ranurado en materiales compuestos.

En el estudio generado por el Ingeniero Paredes Salinas Juan, Universidad Técnica de Ambato, en la Carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “ESTUDIO DE POLÍMEROS HÍBRIDOS ESTRATIFICADOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO Y CABUYA COMO MATERIAL ALTERNATIVO Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN GUARDACHOQUES PARA BUSES” estableció la configuración del híbrido compuesto que brinda las mejores propiedades mecánicas siendo la siguiente: configuración fibra larga al 30% de la fracción volumétrica en un orden de capas, fibra de vidrio (FV) + fibra de cabuya (FC) + fibra de vidrio (FV), estratificación a compresión.

De acuerdo al estudio generado por el Ingeniero Villacís Salazar Héctor, Escuela Politécnica Nacional, en la Facultad de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “OBTENCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS HÍBRIDOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO Y ABACÁ MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN” estableció la configuración idónea de las fibras con la que se obtiene los mejores parámetros mecánicos que se detalla a continuación: configuración fibra larga 70% fibra de abacá y 30% fibra de vidrio; representando el 30% de la fracción volumétrica, estratificación por compresión.



En el estudio realizado por el Ingeniero Mazón Ortiz Gabriel, Universidad Técnica de Ambato, de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER CON FIBRA DE COCO PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES” especifica la configuración de las fibras con la que se ha de obtener los mejores parámetros mecánicos siendo la siguiente: fibra corta 0,5 a 1 cm orientado al azar, 30% de la fracción volumétrica y estratificación manual.

De acuerdo a la investigación realizada por Balasubramanian, Sultan, & Cardona, Universidad Kalasalingam, en el Departamento de Ingeniería Mecánica, con el tema: “MACHINING ANALYSIS OF NATURAL FIBRE REINFORCED COMPOSITES USING FUZZY LOGIC” han realizado un análisis del mecanizado de material compuesto reforzado con fibra natural y a su vez han recomendado parámetros de corte: Velocidad de corte 32 m/min, velocidad de avance 0,15 mm/rev y profundidad de corte de 2 mm. Además, especifica que a alta velocidad de corte  $V_C$ , baja velocidad y avance  $V_f$  y baja profundidad de corte son las indicadas para generar una baja rugosidad superficial.

De acuerdo a los investigadores Mohd Zurayyen Abdul Mutalib, Mohamad Juraidi Jamal, Universiti Kuala Lumpur Malaysia France Institute, en el Departamento de Mecánica y Manufactura con el tema: “EFFECT OF MACHINING PARAMETERS ON DELAMINATION DURING MILLED BANANA FIBER REINFORCED POLYESTER COMPOSITES” han determinado que el factor de delaminación más bajo es cuando la velocidad de alimentación es de 0,1 mm/rev y velocidad de corte 32m/min mediante la utilización de una fresa carbura de 5 mm. Además, cuando el factor de delaminación más alto se presenta cuando la velocidad de avance  $V_f$  de 0,3 mm/rev y velocidad de corte 16m/min.

De acuerdo al estudio realizado por G. Bill Babu, K. Sivaji Babu, & Mancheswar Gowd, Universidad de Columbia ,de la revista de Ingeniería Mecánica Avanzada, bajo el tema: “EFFECT OF MACHINING PARAMETERS ON MILLED NATURAL FIBER- REINFORCED PLASTIC COMPOSITES” concluyen:

La calidad de las ranuras de un material compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) resulta menos favorable al momento de comparar con la calidad de las ranuras generadas con material compuesto reforzados con fibra natural. Por lo que, el factor de delaminación  $F_d$  y rugosidad superficial  $R_a$  promueven menos daño, generando factores pequeños ventajosos para el compuesto. Del mismo modo, cuando se aumenta la velocidad de corte  $V_c$  “cutting speed” y disminuyendo la velocidad de avance  $V_f$  “feed rate” disminuye el factor de delaminación.

Además, se han determinado los parámetros de corte (velocidad de corte de 32 m/min, velocidad de avance de 0,1 mm/rev y una profundidad de corte de 2mm). Generando los valores de rugosidad y delaminación superficial más bajos y cabe mencionar que se ha utilizado fresas carburos de 5mm.

De acuerdo a la investigación realizada por los ingenieros F. Caamaño, A. Boulaayoun, F. J. Botana y M. Botana, de la Asociación Española de Materiales Compuestos, bajo el tema: “ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL MECANIZADO DE PROBETAS PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A CORTADURA EN UNIONES ENCOLADAS DE MATERIAL COMPUESTO” especifica que, el número de revoluciones del husillo óptimo es de 3000 rpm con el fin de generar un acabado superficial bien delimitado.

Según Sunny, J, & Philip, 2014, con el tema “EXPERIMENTAL STUDIES ON EFFECT PROCESS PARAMETERS ON DELAMINATION IN DRILLING GFRP COMPOSITES USING TAGUCHI METHOD” especifica que mediante el proceso de ranurado del material compuesto matriz poliéster sufre un fenómeno denominado delaminación superficial producto del arranque de viruta por lo que recomienda utilizar una baja velocidad de avance “feed rate”.

### **1.3 Justificación**

El presente trabajo experimental está orientado al área de manufactura debido a la necesidad de conocer los parámetros de ranurado para materiales compuestos como son: fibra natural (FN) + fibra de vidrio (FV) + resina poliéster y fibra natural (FN) + resina poliéster, mismo que para este trabajo experimental se han de utilizar fibras naturales como: fibras de cabuya, coco y abacá dependiendo de la configuración y

parámetros mecánicos que recomienden los autores [1]–[3], por consiguiente el proyecto experimental se encuentra enfocado en ranurar, alcanzando un acabado superficial mediante la utilización de un centro de mecanizado y como herramientas; fresas HSS y HSC, actualmente existe fuentes bibliográficas y experimentos mínimos acerca de este proceso debido a su forma y comportamiento tan variable que presentan al momento de ser mecanizados [4].

En la actualidad el ranurado de materiales como acero, aluminio, madera, etc., consta de parámetros fundamentados como la geometría del herramienta, la velocidad de corte  $V_c$ , velocidad de avance  $V_f$  y profundidad de corte, además, se cuenta con bibliografía de estudios experimentales que detallan las propiedades mecánicas y parámetros de corte para materiales compuestos reforzados con fibra sintético - natural; teniendo en cuenta estos antecedentes y la disposición de materiales como: fibra natural (FN), fibra de vidrio (FV), resina poliéster y herramientas (Centro de Mecanizado y herramienta) que se encuentran disponibles en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se propuso el tema del trabajo experimental mencionado.

La puesta en marcha de este trabajo experimental generará el crecimiento de utilización confiable en las diferentes industrias que lo ameritan, si bien es cierto la utilización de este tipo de compuestos busca reemplazar materiales tradicionales como los metales, teniendo en cuenta que ofrecen mejor resistencia, rigidez y el alargamiento a la rotura es inferior que los metales [5], además debido al creciente interés acerca de su utilización en la industria local por el uso de este tipo de materiales compuestos, generan inconvenientes en la geometría superficial al momento de encajar con otros componentes. Por lo que se busca dar solución con el trabajo experimental planteado.

Entonces este proyecto experimental abre las puertas a diferentes sujetos que resultan beneficiarios como son: los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica que significará de gran aporte bibliográfico para futuros trabajos. Y la industria local que busca incrementar el uso de este tipo de compuestos, generará parámetros de mecanizado que es necesario para mejorar la geometría del componente.

Además, este proyecto experimental genera beneficios al proyecto de investigación: “ANÁLISIS DE MATERIAL HÍBRIDO CON FIBRA DE VIDRIO Y ABACÁ EN MATRIZ POLIMÉRICA DE RESINA POLIÉSTER Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN PARTES EXTERIORES DE BUSES” que se encuentra en ejecución en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Teniendo en cuenta los lineamientos antes mencionados acerca de los beneficios que generan, también es importante conocer el costo que amerita este trabajo que resulta ser mínimo ya que los materiales y herramientas se encuentran disponibles en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Analizar el proceso de ranurado en materiales compuestos: Fibra Natural (FN) + Fibra de Vidrio (FV) + Resina Poliéster y Fibra Natural (FN) + Resina Poliéster

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

Realizar el modelo experimental de investigación del ranurado de materiales compuestos.

Generar las probetas del material híbrido compuesto: matriz poliéster más fibra de vidrio más fibra natural (cabuya y abacá); y de materiales compuestos matriz poliéster reforzado con fibra de coco.

Desarrollar pruebas experimentales modificando los parámetros de corte (velocidad, avance y profundidad) en los materiales compuestos de diferentes estratificaciones.

Estudiar la influencia de los parámetros de corte en función de la rugosidad y delaminación superficial.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTACIÓN**

#### **2.1 Fundamentación Teórica**

En este punto se ha de realizar una investigación teórica acerca de los conceptos más relevantes relacionados con los materiales compuestos, el proceso de ranurado y temas como la rugosidad superficial Ra y factor de delaminación Fd con el objetivo de generar un entendimiento de este proyecto de investigación.

El apéndice se divide en cuatro bloques: materiales compuestos reforzados con fibras naturales y sintéticas, ranurado en el material compuesto (condiciones de corte y herramental), rugosidad y delaminación superficial. El primero hace énfasis a la materia prima que representa para este proyecto de investigación así mismo los tipos de materiales compuestos, cuál es su composición y configuración idónea para obtener los más altos rendimientos mecánicos. Además, el análisis de ranurado que representa el tema de estudio central del proyecto. Y por consiguiente la rugosidad y delaminación superficial que se produce en el proceso del ranurado, tocando temas como la naturaleza y métodos de medición para este tipo de fenómenos.

##### **2.1.1 Materiales compuestos reforzados con fibras**

Este tipo de material se encuentra formado por fibras largas, cortas y rectas situadas en el interior de la matriz. Esta matriz es la encargada de mantener unidas las fibras con el fin de disminuir los esfuerzos. Entonces partiendo de estos parámetros la función principal de las fibras es soportar la mayor parte de las cargas, mientras que la función de responsabilidad que posee la matriz es disminuir la tolerancia al daño producidos por los golpes y por consecuencia la fatiga. Los materiales de matriz que se encuentran comúnmente son los polímeros, tales como la resina poliéster, epóxica, etc. [6]–[8].

Un material compuesto se conceptualiza como un sistema material que se encuentra integrado por la combinación de varios micro o macroconstituyentes que se asemejan por su forma y composición química que muestran antecedentes que este tipo de compuestos son indisolubles entre sí [5].

### 2.1.1.1 Clasificación de los materiales compuestos

#### Según el tipo de matriz

Existen materiales compuestos reforzados con matriz metálica, cerámica o polimérica. A continuación, se detallan sus características más relevantes:

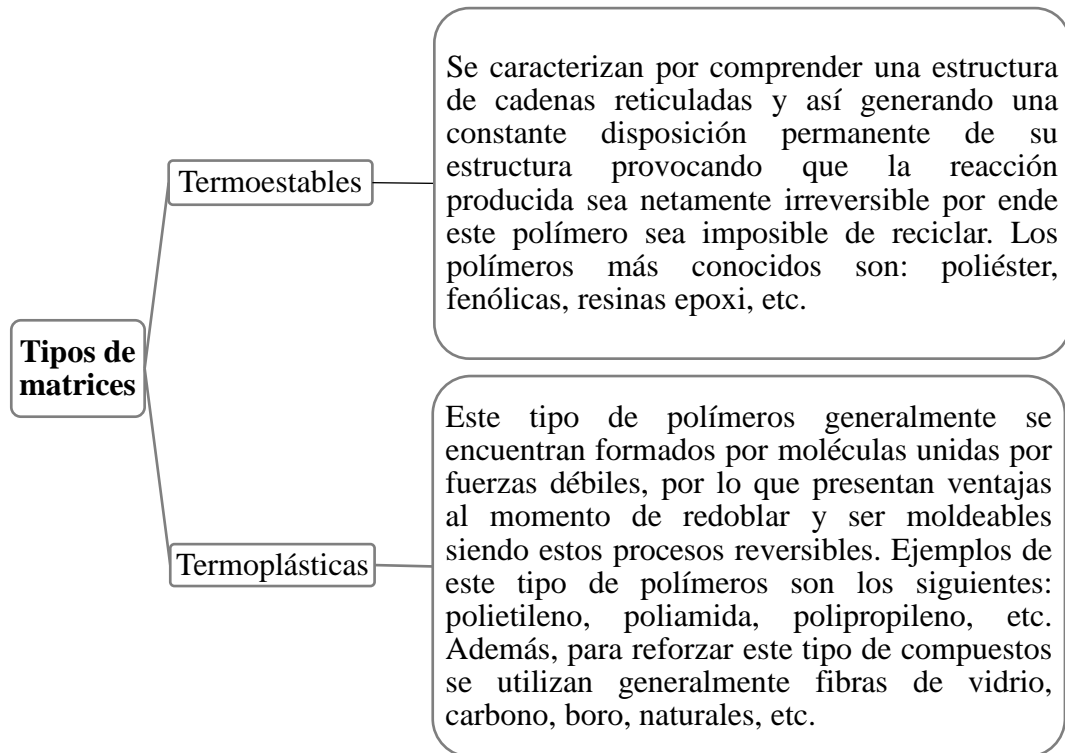
**Matriz Metálica:** “material compuesto de matriz metálica o MMC” este tipo de matriz se encuentra caracterizado por generar mayor resistencia acompañada de una buena rigidez y tenacidad a la fractura [5]. La matriz metálica cumple algunas funciones que resultan beneficiosos:

- Proteger las partículas o fibras de la humedad, aire, etc.
- Generar una unión sistemática de todos los elementos que conforman el refuerzo y así unir todas las fibras, pero liberarse para evitar la transmisión de discontinuidades a lo largo del compuesto, este caso aplica al refuerzo de fibras continuas.
- Distribuir y transferir las cargas generadas por los elementos a los refuerzos, para que la transmisión o transferencia sea óptima, la matriz debe presentar una deformación plástica para tensiones inferiores a la que se encuentra sometida el compuesto. Además, la matriz no debe tener un módulo de Young elevado.
- La matriz debe presentar buena resistencia a la corrosión o a la oxidación producida por el contacto con el ambiente [9], [10].

Este tipo de matrices están involucradas en aplicaciones muy importantes como la: aeronáutica, automoción, electrónica, industria del armamento, industrias para aplicaciones en ocio, etc.

**Matriz Cerámica:** generalmente este tipo de matrices ofrecen una elevada resistencia a esfuerzos mecánicos así mismo a soportar elevadas temperaturas sin modificar su condición o capacidad resistente. Hay que tener en cuenta que la tenacidad, conductividad térmica y eléctrica de este tipo de matrices es muy baja, pero presentan una elevada resistencia a la compresión, no así también a tracción [5].

**Matriz Polimérica:** se describe como un tipo de matriz que posee una baja densidad, resistencia mecánica, coste, pero una alta tenacidad y resistencia a la corrosión así mismo sencillez y rapidez de conformado. Hay que tener en cuenta al momento de trabajar con este tipo de matrices debido a la influencia que presenta; las condiciones medioambientales como la radiación, temperatura y humedad.



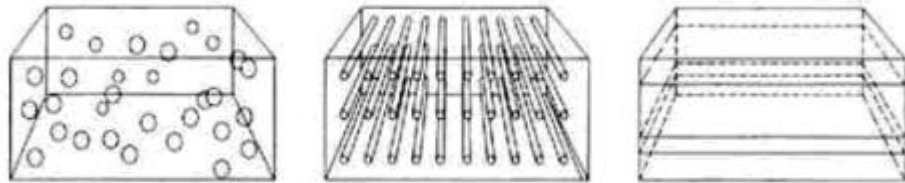
Fuente: [5]

### Según el tipo de refuerzo

Se encuentran clasificados como materiales con refuerzos discontinuos y materiales con refuerzos continuos.

**Materiales con refuerzos discontinuos:** se encuentran caracterizados por constar de partículas, plaquetas, mismas que se caracterizan por poseer dimensiones idénticas. Y se denomina fibras cortas o discontinuas cuando su longitud es mayor a la sección transversal.

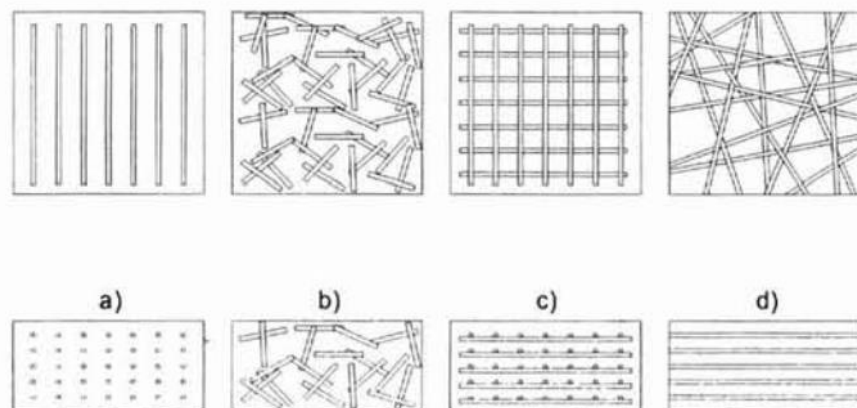
Los materiales reforzados con fibras se denominan anisótropos que poseen muy buenas propiedades en dirección a las fibras, por lo que, la longitud de las *fibras cortas* influye en las propiedades mecánicas del material.



**Figura 1** Tipos de compuestos según el tipo de refuerzo. De izquierda a derecha: Refuerzo particulado, fibroso y laminado.

**Fuente:** [11].

**Materiales con refuerzos continuos:** este tipo de refuerzos se caracterizan por tener una longitud de fibra mayor que su sección transversal. *Las fibras largas*, al aumentar la longitud no presentan cambios en las propiedades. *Laminados*, cada lámina que se presenta en el compuesto puede ser un material reforzado con: fibras cortas, fibras largas o tejido de dos dimensiones. Los laminados también se los puede conceptualizar como la repetición de un número finito de láminas con distinta orientación. Además, los *tejidos* como parte de la configuración del refuerzo generan una alta resistencia a esfuerzos de flexión, rigidez y capacidad de aislamiento.



**Figura 2** Tipos de configuraciones de los refuerzos.

**Fuente:** [11].

En este proyecto se hace énfasis a los materiales compuestos e híbrido compuestos reforzados con fibras de vidrio y fibras naturales por lo que se ha de estudiar dichos conceptos que fundamentalicen el presente proyecto experimental.



**Fibra de vidrio:** la fibra de vidrio está compuesta específicamente de sílice que se encuentra combinado con diferentes óxidos (alcalinos, alúmina y alcalinotérreos). La elevada resistencia que posee es producida por los enlaces covalentes con el silicio y los radicales de oxígeno.

### 2.1.1.2 Fibras Naturales

Este tipo de fibras llamadas también fibras lignocelulósicas, están constituidos por celulosa, hemicelulosa y lignina. Esta composición química varía según las especies, edad y condiciones climatológicas. Actualmente las fibras naturales han despertado un gran interés por sus características amigables con el medio ambiente y así reemplazar de manera adecuada las fibras sintéticas.

**Tabla 1** Propiedades mecánicas de las fibras naturales.

<b>Fiber</b>	<b>Density (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Tensile strength (MN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Young's modulus (GPa)</b>	<b>Specific modulus</b>	<b>Elongation to break (%)</b>	<b>Moisture absorption (%)</b>
<b>E-Glass</b>	2,55	2400,0	73,0	29,0	3,0	-
<b>Flax</b>	1,40	800,0 - 1500,0	60,0 - 80,0	26,0 - 46,0	1,20 - 1,60	7,0
<b>Hemp</b>	1,48	550,0 - 900,0	70,0	47,0	1,6	8,0
<b>Jute</b>	1,46	400-800	10,0 - 30,0	7,0 - 21,0	1,8	12,0
<b>Ramie</b>	1,50	500,0	44,0	29,0	2,0	12,0 - 17,0
<b>Coir</b>	1,25	220,0	6,0	5,0	15,0 - 25,0	10,0
<b>Sisal</b>	1,33	600,0 - 700,0	38,0	29,0	2,0 - 3,0	11,0
<b>Abacca</b>	1,50	980,0	-	-	-	-
<b>Cotton</b>	1,51	400,0	12,0	8,0	3,0 - 10,0	8,0 - 25,0

**Fuente:** [12]

En el Ecuador existen gran variedad de fibras naturales: la cabuya, abacá, coco, etc. Son plantas que crecen en nuestro país y se encuentran disponibles en el límite territorial. Además, sus altas resistencias mecánicas de dichas fibras han sido merecedoras del interés de la industria local con el fin adaptar como refuerzo de materiales compuestos.

A continuación, en la tabla 2 se presenta las propiedades mecánicas del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco. Los mejores parámetros mecánicos generados a través del análisis se ha detallado que la combinación de fibra corta depositados al azar y una representación del 30% de la fracción volumétrica generan resultados mecánicos idóneos [1].

**Tabla 2** Parámetros Mecánicos, Material compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.

<b>Propiedades mecánicas del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco</b>					
<b>Tipo de ensayo</b>	<b>TRACCIÓN</b>		<b>FLEXIÓN</b>		<b>IMPACTO</b>
	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Flexión (GPa)	Rest. Máx. Impacto MFE=hwf (J)
Corta 30%	2,1	3,1	1,3	3,1	2,2

**Fuente:** [1]

**Los materiales híbridos compuestos reforzados con fibras naturales:** se pueden formar mediante la utilización de varios tipos de fibras sintéticas o a su vez mediante la combinación de fibras sintéticas y naturales.

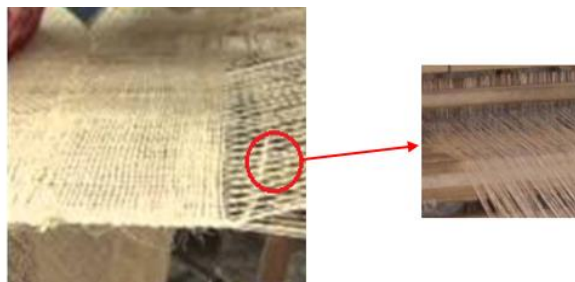
**Tabla 3** Parámetros mecánicos del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y cabuya.

<b>Propiedades mecánicas del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y cabuya</b>						
<b>Tipo de ensayo</b>	Espesor Promedio (mm)	<b>TRACCIÓN</b>		<b>FLEXIÓN</b>		<b>IMPACTO</b>
		Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Flexión (MPa)	Rest. Máx. Impacto MFE=hwf (J)
<b>FL 30%</b>	3,01	78,24	5272	120,52	8053	2,38

**Fuente:** [2]

En la tabla 3 se detallan los parámetros mecánicos del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio, mismo que para obtener estos datos se han realizado ensayos y la configuración que gobierna este híbrido es el método sándwich o alternabilidad de capas (Fibra de vidrio + Fibra de cabuya + Fibra de vidrio) [2].

Las fibras deben ir en sentido longitudinal  $0^\circ$  (tejido plano) con el concepto de 10 hilos (unos solo) por pasada y perpendicular a este se ubican hilos de algodón con escalas de 5mm con el fin de conformar un tejido uniforme. Las fibras representan el 30% de la fracción volumétrica del híbrido compuesto. A continuación, en la figura 3 se detalla la configuración en el telar que se hace artesanalmente.



**Figura 3** Tejido artesanal de la fibra de cabuya.  
Fuente: Autor

**Tabla 4** Parámetros mecánicos del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y abacá.

<b>Propiedades mecánicas del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y abacá</b>					
<b>Tipo de ensayo</b>	<b>TRACCIÓN</b>		<b>FLEXIÓN</b>		<b>IMPACTO</b>
	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Flexión (MPa)	Rest. Máx. Impacto MFE=hwf (J)
<b>FL 20%</b>	93,5	2456,6	127,57	5544,8	0,49

Fuente: [3]

Para formar el híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y abacá se sigue los mismos parámetros expuestos para la configuración del híbrido

compuesto reforzado con fibra de vidrio y cabuya ya que las especificaciones de configuración no varían. En la tabla 4 se puede observar las propiedades mecánicas del híbrido compuesto.

### 2.1.1.3 Aplicaciones de los materiales compuestos

Los materiales compuestos reforzados con fibras naturales han sido objeto de estudio y aplicabilidad en el sector automotriz especialmente, en la siguiente tabla se detalla los fabricantes más importantes de vehículos que usan plásticos reforzados con fibras naturales para sus autopartes.

**Tabla 5** Autopartes reforzado con fibra natural.

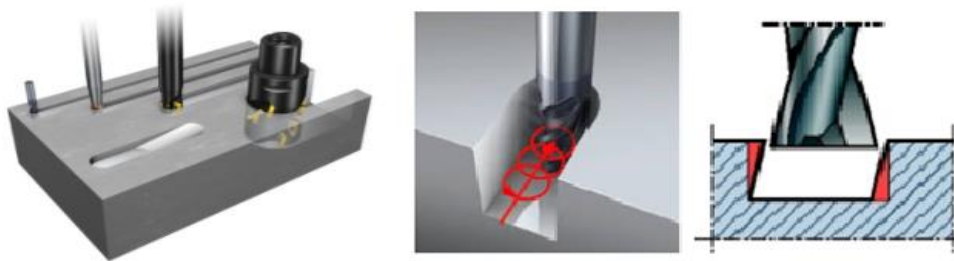
<b>Modelo</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Partes</b>
<b>A2, A3, A4, A4 Avant, A6,A8, Roadstar, Coupe</b>	Audi	Respaldos de asientos, panales de puertas, revestimiento de cajuela, estante de sombrero, revestimiento de rueda de fricción
<b>3, 5, 7 series</b>	BMW	Paneles de puertas, apoyacabezas, recubrimiento de techo, revestimiento de cajuela, respaldos de asientos, panel de aislamiento de ruido, revestimiento moldeado del reposapiés.
<b>Raum, Brevis, Harrier, Celsior</b>	Toyota	Paneles de puertas, respaldos de asientos, alfombrilla, cubierta de llanta de refacción.
<b>Golf A4, Passat Variant, Bora</b>	Volkswagen	Panel puertas, respaldos de asientos, acabado del panel la cajuela, revestimiento de cajuela.
<b>Space Star, Colt</b>	Mitsubishi	Piso de arena de carga, panales de puertas, paneles de instrumentos.
<b>Clio, Twingo</b>	Renault	Anaquele trasero
<b>Pilot</b>	Honda	Área de carga
<b>C70, V70</b>	Volvo	Acochado de asiento, espumas naturales, bandeja de piso de carga.
<b>Modelo CD162, Forus, Freestar</b>	Ford	Charola de piso, paneles de puertas, cubierta para B-pillar, forro de cajuela, tablero de instrumentos, defensa, cubierta.

**Fuente:** [13]

### 2.1.2 Ranurado de materiales compuestos

Este proceso está enfocado en generar un canal a lo largo de una superficie sólida o también se lo puede distinguir como un orificio alargado con el fin de generar un ajuste al contorno final.

Cabe mencionar que las operaciones más habituales que se realizan a los materiales compuestos son el fresado y taladrado. El proceso de torneado no es muy frecuente, salvo el caso que se lo realice en materiales compuestos matriz mática [14].



**Figura 4** Proceso de ranurado.  
**Fuente:** [15]

#### 2.1.2.1 Tipos de Ranuras

Considerando a las ranuras como rebajes fresados en piezas de trabajo que pueden tener algunas formas geométricas (prismáticas y rotacionalmente simétricas) de diferente tamaño entonces se distinguen las siguientes:

- Surco rectangular
- Ranura en T
- Ranura de cola de milano
- Surcos en forma de diente

Los surcos se encuentran mecanizados de acuerdo a diferentes especificaciones como es la precisión según su aplicación. Generalmente entre las ranuras más destacadas están las siguientes:

- **Ranurado Recto:** este tipo de procedimiento se lo realiza mediante la utilización de fresas cilíndricas que van dimensionadas con la anchura de la

ranura, este proceso se lo realiza montando varias fresas en el eje portafresas con el fin de elevar la eficiencia y productividad del mecanizado. En la mayoría de aplicaciones el herramental más utilizado son fresas de acero rápido.

- **Ranurado de forma:** En este proceso se utiliza fresas que se adecuan de forma exacta a la ranura, normalmente se utilizan: de cola de milano y forma de T.

### **2.1.2.2 Herramientas para mecanizado de alta velocidad**

Generalmente para el proceso de ranurado o fresado se utilizan herramientas (fresas) que prestan grandes beneficios a la pieza mecanizada. Por ejemplo, se utilizan tipos de fresas idóneas para termoplásticos con diferentes configuraciones que se detallan a continuación:

- Fresa de disco
- Fresa plana
- Fresa cilíndrica
- Fresa tangencial
- Fresa perfilada

Esta última presenta grandes ventajas como un alto rendimiento de corte y alta calidad en el acabado superficial acompañada de una excelente evacuación de la viruta generada por el proceso.

En el mecanizado de alta velocidad (MAV) la herramienta es un factor clave ya que están diseñadas para soportar diferentes condiciones de mecanizado especialmente las temperaturas que se generan por el arranque de viruta.

### **2.1.2.3 Estudio de las herramientas**

Las herramientas como base fundamental del mecanizado se clasifican en tres campos: material de la herramienta o sustrato, geometría y recubrimiento.

**a. Según el material de la herramienta o sustrato**

**Aceros:** generalmente se utilizan para trabajos en frío o en caliente y no se emplean en el mecanizado de alta velocidad.

**Acero rápido:** representa una aleación con el 20% de partículas duras y no es muy común en el MAV.

**Carburo cementado o metal duro:** compuesto a base de partículas de carburo del 60% al 95% del volumen total que se encuentran fusionadas con un aglomerante típico (Cobalto Co) en un el proceso de sinterizado. Los más representativos son: carburo de titanio (TiC), carburo de tungsteno (WC), carburo de niobio (NbC) y son adecuados para el mecanizado de silicio y aluminio [16].

**Carburo cementado recubierto:** su base es de carburo cementado y recubierto por nitruro de titanio y aluminio (TiAlN), nitruro de titanio carbono (TiCN), óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ), nitruro de titanio (TiN) y carburo de titanio (TiC). La adhesión de los recubrimientos se hace mediante el proceso de deposición química por vapor o CDV, deposición química a temperatura media o MTCVD, deposición física por vapor o PVD. Son muy resistentes al desgaste y gran tenacidad.

**Cerámicos:** basadas en nitruro de silicio ( $Si_3N_4$ ) y óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ). Con alta dureza en caliente y no reaccionan químicamente en el proceso de mecanizado de la pieza, pero son muy frágiles y recomendadas para mecanizar piezas en duro.

**Diamante policristalino (PCD):** considerado tan duro como el diamante natural, gran resistencia al desgaste y baja conductividad térmica. Sin embargo, son muy frágiles y la vida del herramienta es 100 veces mayor que la del carburo cementado. Además, este tipo de fresas generan un acabado superficial excelente. Actualmente se utiliza para el mecanizado de materiales compuestos como: fibra de vidrio, fibra de carbono, cristal epoxi, etc. No se produce el fenómeno de delaminación [16].

**b. Según la geometría**

**Espiga(cuello) cónica:** mejora la rigidez

**Alma de gran diámetro:** reduce las vibraciones y así mejora la estabilidad de la herramienta, además, mejor tolerancia de la pieza mecanizada.

**Cuello de la herramienta rebajado:** reduce las vibraciones, los roces y el contacto. Diseñado para mayor alcance en cajas considerablemente profundas.

**Mango cilíndrico largo:** mejor equilibrio y sujeción.

**Ángulo de desprendimiento negativo (-15°):** mejor resistencia del filo y estabilidad, además, genera un excelente acabado superficial con el fin de reducir el pulido.

#### c. Según el recubrimiento

**Recubrimientos de TiAlN:** las más utilizadas actualmente, son recubrimientos extraduros o PVD basados en nitruro de titanio aluminio que generan mayor dureza, resistencia a ataques químicos y estabilidad térmica.

**Recubrimiento de diamante:** se utiliza para mecanizar materiales abrasivos. Poseen una vida útil muy larga y se puede elevar la velocidad de corte a diferencia de los demás y así disminuir considerablemente el tiempo de mecanizado generando una buena precisión y acabado superficial.

**Recubrimiento WC/C:** a base de deposición física al vapor a 200°C. El recubrimiento genera una combinación única como son: alta resistencia al desgaste, buena capacidad de carga y bajo coeficiente de fricción.

**Recubrimientos de TiAlN monocapa combinado con WC/C:** se utiliza en taladrados y roscados comúnmente. Su composición hace frente al desgaste, además, alta dureza y estabilidad térmica.

#### 2.1.2.4 Especificaciones o designaciones del herramental

**Tabla 6** Codificación del herramental.

Designación	Descripción	
HSS	(High speed steel M2)	Acero de alta velocidad para M2



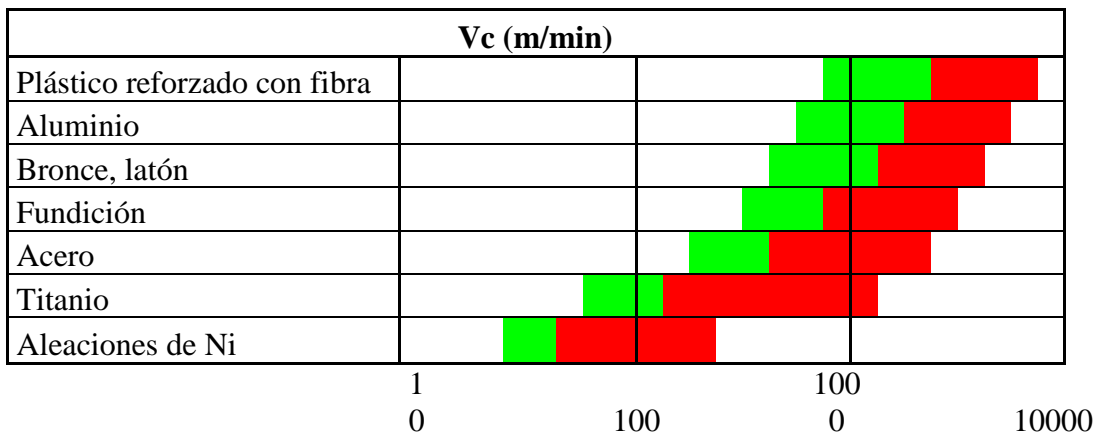
<b>HSS o HSCo</b>	(High speed steel M35)	Acero de alta velocidad para M35, contiene 5% Co
<b>HSS o HSE</b>	(High speed steel M42)	Acero de alta velocidad para M42, contiene 8% Co
<b>HSP</b>	(High speed steel ASP30)	Acero de alta velocidad para ASP30
<b>HSV</b>	(High speed steel KV3)	Acero de alta velocidad para KV3
<b>HSC</b>	(High speed cutting)	(Corte a altas velocidades) Metal duro para material compuesto para polímeros reforzados con fibras
<b>CARBIDE</b>	Carbide	Carburado

Fuente: [17]

### 2.1.2.5 Condiciones de corte en el fresado

**Velocidad de corte:** es la velocidad lineal de corte de la periferia de la pieza que se encuentra en contacto con el herramental o también se considera la distancia recorrida en un tiempo específico de un punto de arista de corte.

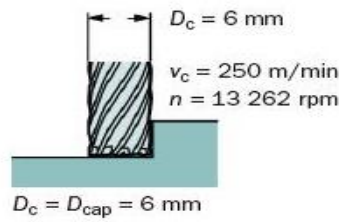
**Tabla 7** Velocidad de corte para diferentes materiales.



Fuente: [16]

Para calcular la velocidad de corte se debe basar en el diámetro real o eficaz del corte,  $D_{cap}$  y la velocidad del husillo  $n$  [18].

$$V_c = \frac{\pi \cdot n \cdot D_{cap}}{1000} \rightarrow \frac{m}{min} \quad \text{Ec. 2. 1}$$



**Figura 5** Ejemplo de los parámetros en una fresa de escuadrar y ranurar.  
**Fuente:** [18]

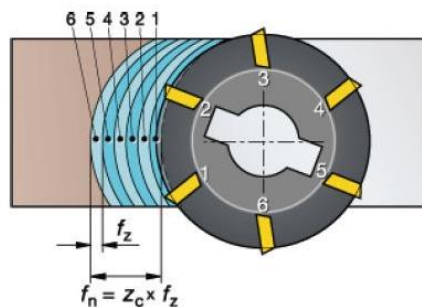
En la **figura 5** se describe el comportamiento de una fresa (Flat end mill), así mismo, los parámetros que compone esta velocidad ya que se puede calcular el número de revoluciones del husillo dependiendo del diámetro y la velocidad de corte.

**Velocidad del husillo:** representado como el número de revoluciones que realiza el herramental de fresado sobre el husillo por minuto. Este valor se obtiene a partir de la velocidad de corte [18].

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_{cap}} \rightarrow rpm \quad \text{Ec. 2. 2}$$

**Avance por diente:** considerado como un valor básico para el cálculo de los parámetros de corte como el avance de mesa. Se calcula también considerando el espesor máximo de la viruta y el ángulo de posición [18].

$$f_z = \frac{V_f}{n \cdot z_c} \rightarrow \frac{mm}{diente} \quad \text{Ec. 2. 3}$$



**Figura 6** Representación del avance por diente.  
**Fuente:** [18]

**Avance por minuto:** avance de la mesa, velocidad de avance o avance de la máquina. Es la representación del desplazamiento que tiene la herramienta con

respecto a la pieza, está en función del avance por diente  $f_z$  y el número de dientes de la fresa  $z_n$  [18].

$$f = f_z * n * z_n \rightarrow \frac{mm}{min} \quad \text{Ec. 2. 4}$$

**Tabla 8** Ensayos con diferentes tipos de fibras y parámetros de corte.

Matriz	Fibra natural	Parámetros de fresado				
		Material de herramienta	Diámetro (mm) end-mill	Rotación del husillo (rpm)	Avance (mm/rev)	Profundidad de corte (mm)
Poliéster	Jute Banana Vidrio	Fresa carburada	5	Vel. Corte (m/min): 16, 24 y 32	0.1, 0.2, 0.3	2
Poliéster isoftálico	Yute	Fresa de 4 hélices HSS	7	210, 660, 1750	0.04, 0.08, 0.15	1, 1.5, 2
Poliéster insaturado	Kenaf	Fresa de 4 hélices HSS	10	500, 1000	200, 1200 (mm/min)	1,2
Polipropileno	Bamboo Sisal	Fresa carburada	12	Vel. Corte 47(m/min)	0.04, 0.08, 1.12	1

**Fuente:** [19]

A continuación, se describen algunas desventajas presentadas en el proceso de ranurado.

- Generalmente el éxito de este tipo de operación depende específicamente de la naturaleza de las fibras y mas no de la composición de la matriz polimérica [5]. Un ejemplo muy claro es la mecanización de las fibras de tipo Kevlar, debido a su composición se consideran difíciles de proceder a realizar una operación de ranurado.
- Un compuesto considerado anisótropo y heterogéneo, se dice que son fácil de mecanizar en un sentido, pero difícilmente se lo puede realizar al sentido

contrario. Entonces por este proceso puede generar daños en el acabado de un contorno cerrado o a su vez lados que pueden presentar imperfecciones.

- Existe la posibilidad de producir delaminación, quemándolo o a su vez la fisura del material compuesto.

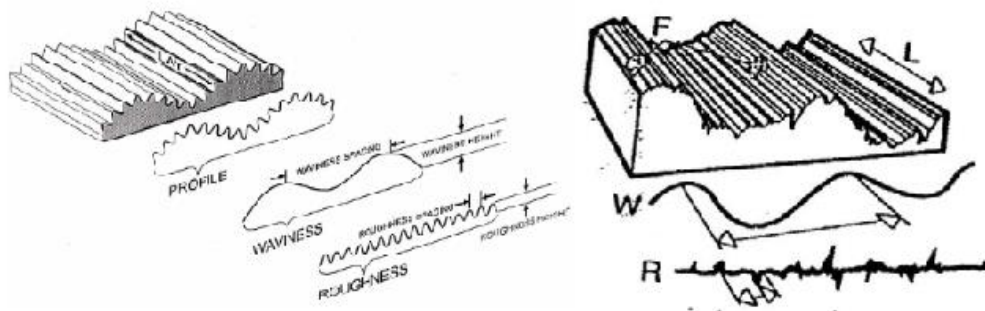
Recomendaciones para obtener un ranurado con un excelente acabado superficial

- Alta velocidad de corte  $V_c$  y de avance media  $f$ .
- Se debe de asegurar la fijación del material, además, con un movimiento rápido de traslación y una elevada velocidad del giro del husillo (Spidle).
- Cuando se trata de superficies planas, la fresada tangencial resulta menos rentable que el fresado frontal.
- Para mejorar el rendimiento en el corte y elevar la calidad del acabado superficial lo recomendable es utilizar herramientas de un solo tipo.

A continuación, se presenta una tabla de ensayos que se han realizado a diferentes compuestos variando los parámetros de corte y herramental.

### **2.1.3 Rugosidad superficial**

La rugosidad superficial  $R_a$  es muy utilizada para representar la calidad del producto y es un requerimiento técnico que exigen los productos mecánicos. Generalmente, un acabado superficial va de la mano con el comportamiento de la pieza. La ASME B46.1, define a la Topografía Superficial como la “Representación tridimensional de las irregularidades geométricas de las superficies”

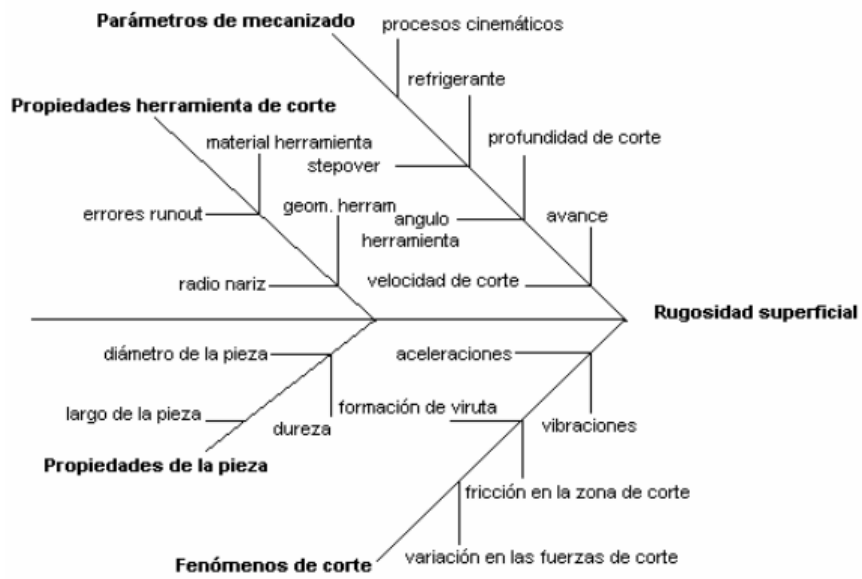


**Figura 7** Términos de la topografía superficial.  
Fuente: [20]

En este punto se ha de describir cada punto mostrado en la **figura 7**.

- **De longitud de onda corta, rugosidad (Roughness, R):** se caracterizan por formar finas irregularidades espaciadas.
- **De onda media, ondulación (Waviness, W):** conceptualizada como la desviación recurrente de la superficie ideal que se considera de magnitud larga (>0,1mm).
- **De onda larga, errores de forma (Form, F):** generalmente se muestran como agujeros, estrías, inclusiones, etc.
- **Dirección de la superficie (Lay, L):** generada por el método del maquinado.

Todas las características antes mencionadas nunca se encuentran de forma separada, ya que las discontinuidades se presentan de forma combinada por lo que tienen influencia en la sobre resistencia a la corrosión, resistencia a la fatiga, la apariencia, el costo, etc. Además, la rugosidad o huella digital de la parte, son productos del proceso irregular de la aplicación de los parámetros de corte o mecanizado tales como al avance  $f$ , velocidad de corte  $V_c$  y la profundidad de corte  $d$ . Todos estos parámetros hay que tomar en cuenta para el diseño ya que un buen acabado superficial representa buena calidad de la pieza refiriéndose al tema ingenieril.



**Figura 8** Factores que afectan la rugosidad superficial.  
Fuente: [20]

### 2.1.3.1 Rugosidad Media ( $R_a$ )

Conocida como CLA (Center Line Average), conceptualizada como una unidad de medición aritmética de los valores absolutos que se encuentran distribuidas en las coordenadas de los puntos del perfil de rugosidad en función al eje central dentro de la longitud de medición  $lm$ . A continuación, se representa la ecuación para el análisis de texturas superficiales [21].

$$R_a = \frac{1}{lm} \int_0^{lm} f(x) \cdot dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(x_i) \quad \text{Ec. 2. 5}$$

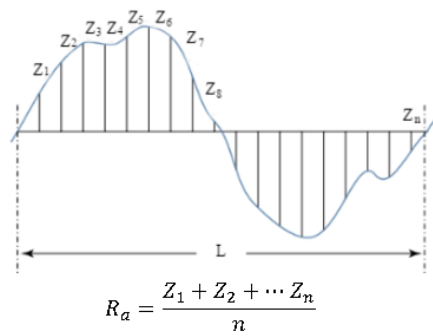
$R_a$  = Media aritmética de la rugosidad

$lm$  = Recorrido de la medición

$f(x)$  = Función que detalla la altura del perfil de rugosidad en función a la distancia recorrida  $x$  en dirección  $lm$ .

Es importante saber que el valor de  $R_a$  se es una medida vertical y no tiene información verídica sobre el perfil de la superficie.

De acuerdo a investigaciones realizadas sobre los factores que afectan la rugosidad superficial relacionada con el ranurado se ha dividido la rugosidad superficial en:



**Figura 9** Derivación del perfil de rugosidad matemáticamente.  
**Fuente:** [20]

**Ideal:** resultado de las dimensiones del herramental y la velocidad de avance  $V_f$ .

**Natural:** producto de las irregularidades presentes en el corte mismas que son: desgaste del herramental, irregularidades en la formación de la viruta, defectología en la estructura de la viruta, vibraciones, etc. [22].

Actualmente, existen investigaciones que han profundizado la clasificación de la rugosidad superficial referente al mecanizado:

**Factores del proceso:** afecciones que sufre la máquina herramienta como es la rigidez y sistemas de accionamiento, y factores que afectan a la pieza a mecanizar como es la geometría y material. Además, la sujeción de la pieza al momento del proceso de mecanizado factores como la rigidez del montaje y el acceso a la zona a mecanizar.

**Factores indirectos del proceso de ranurado:** afecciones que sufre el herramental con son: alineación de los filos del herramental, material, sujeción y geometría. Y las condiciones de corte: estabilidad de corte y parámetros de corte.

El modelo propuesto por [22], se obtendrán valores de rugosidad superficial máxima y se describe a continuación.

$$R_a = \frac{f^2}{4d} \quad \text{Ec.2. 6[22]}$$

$R_a$  =Rugosidad superficial

$f$  = Avance

$d$  = Diámetro del herramental

En la tabla 9 se observa un experimento realizado a diferentes compuestos matriz poliéster reforzado con fibras de vidrio, cáñamo, jute y abacá. Se han determinado valores específicos de velocidad de corte de 32 m/min, avance de 0,10 mm/rev y una profundidad de 2mm para obtener una rugosidad superficial con las rugosidades más bajas.

**Tabla 9** Valores de rugosidad superficial calculados.

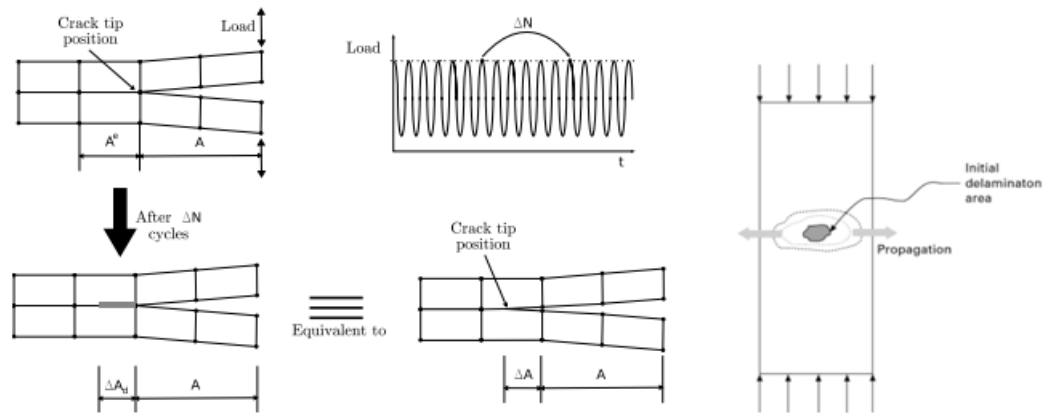
Test	v (m/min)	f (mm/rev)	Delamination factor ( $F_d$ )				Surface Roughness ( $R_a$ )			
			Glass	Hemp	Jute	Banana	Glass	Hemp	Jute	Banana
1	16	0.10	1.19	1.12	1.17	1.18	1.61	1.41	2.85	1.87
2		0.20	1.28	1.19	1.29	1.30	2.04	1.62	3.27	2.34
3		0.30	1.29	1.23	1.43	1.36	2.62	2.79	4.39	2.95
4	24	0.10	1.16	1.11	1.13	1.10	1.39	1.12	2.35	1.34
5		0.20	1.27	1.16	1.27	1.22	1.87	1.35	3.24	1.95
6		0.30	1.31	1.16	1.31	1.29	1.94	2.02	3.81	2.30
7	32	0.10	1.11	1.06	1.10	1.11	0.80	1.07	2.26	0.93
8		0.20	1.18	1.13	1.20	1.16	1.52	1.19	2.70	1.77
9		0.30	1.26	1.17	1.22	1.23	1.84	1.83	2.97	1.92

**Fuente:** [23]

Adicionalmente el instrumento de medición que se utiliza para determinar las rugosidades superficiales es conocido usualmente como rugosímetro superficial, encargado de medir y registrar la rugosidad superficial con un componente denominado estilete de diamante que se desplaza sobre la superficie en línea recta, además, el desplazamiento generado por este componente se denomina recorrido y generalmente está en un rango de 0,08 y 25 mm [22].



## 2.1.4 Delaminación superficial



**Figura 10** Propagación de la delaminación generado por una fuerza en superficie o cara plana.

**Fuente:** [20]

La delaminación consiste en la rotura del laminado del material compuesto que se encuentra distribuido a lo largo del plano de separación de las capas. Este fenómeno se puede generar también por la falta de adherencia entre capas, como consecuencia es un proceso irreversible que afecta la apariencia de la superficie.

Un punto importante a tomar dentro de la delaminación es la fatiga que se genera cuando el material compuesto está expuesto a ciclos altos o bajo cargas dinámicas cíclicas, el proceso de fatiga implica varios mecanismos de daño que resultan en la degradación de la estructura laminar. Existen dos enfoques básicos para evaluar la delaminación bajo cargas generadas por fatiga:

- 1. Mecánica de fractura:** relación entre la velocidad de crecimiento de la grieta de fatiga con la amplitud de tasa de liberación de energía. En la mayoría de estudios, la tasa de crecimiento de la fisura producto de la fatiga está relacionada con la Ley de Paris [24].

$$\frac{\partial A}{\partial N} = C \left( \frac{\Delta G}{G_c} \right)^n \quad \text{Ec. 2. 7}$$

Donde  $A$  es el área de la grieta,  $N$  representa el número de ciclos y los parámetros  $C$  y  $n$  dependen de la relación de modos y se debe determinar a partir del método experimental.

**2. Mecánica de Daños:** describe la pérdida de capacidad de un material compuesto para transportar cargas utilizando uno o más variables de daño, la fractura se representa mediante el modelo de zona cohesiva (CZM) que utiliza una única variable de daño. La representación numérica (ZCM), se han desarrollado para capturar el inicio y fin de la propagación de las grietas de delaminación.

#### 2.1.4.1 Medición de la delaminación

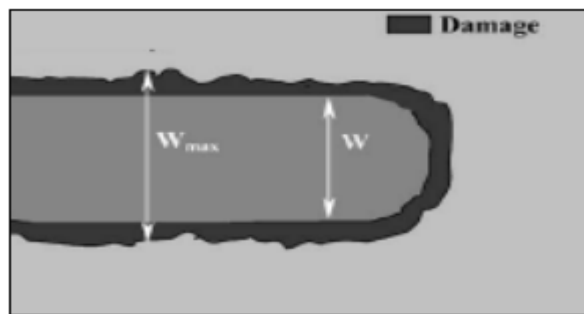
Para determinar un factor de delaminación producido por el arranque de viruta en el mecanizado se emplean la ecuación 2.8, además, para este proceso se debe de analizar cada muestra con el fin de generar datos y por ende tendencias que muestren los parámetros óptimos y así minimizar la delaminación [23].

$$F_d = \frac{W_{m\acute{a}x}}{W} \quad \text{Ec. 2. 8}$$

$F_d$  = Factor de delaminación

$W_{m\acute{a}x}$  = Ancho máximo de los daños alrededor de la periferia

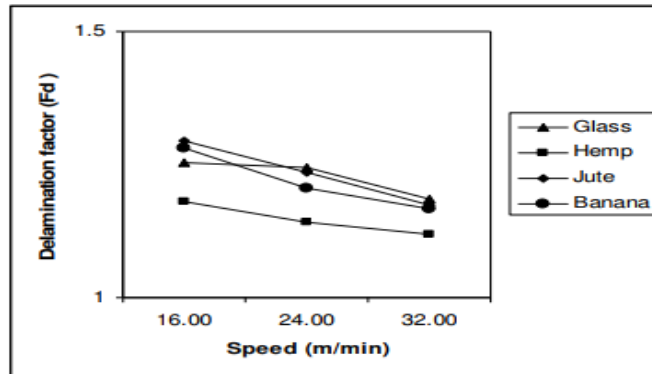
$W$  = Diámetro ancho de corte



**Figura 11** Representación microscópica de la delaminación.  
Fuente: [23]

En la **figura a 11** se detalla claramente como se ha generado la pérdida del material por el arranque de viruta, mismo que se muestra la huella (diámetro) del paso del herramental. Para el análisis se ha utilizado un microscopio Scanning Electron Microscope Vega 3 SEM, además, en la tabla 9 se observa los factores más bajos de delaminación producto de una serie de experimentos realizados con la variación de

los parámetros de mecanizado (velocidad de corte, avance y profundidad de corte constante de 2mm).



**Figura 12** Factor de delaminación  $F_d$  vs. Velocidad de corte  $V_c$ .  
**Fuente:** [23]

En la figura 12 se muestra un ejemplo estadístico del comportamiento de la delaminación en función de la velocidad de corte. Dicho estudio se ha realizado en varios compuestos reforzados con fibras sintéticas y naturales (vidrio, cáñamo, yute y abacá), y se nota significativamente que la velocidad de corte a medida que disminuye constantemente el factor de delaminación decrece.

Este fenómeno genera una serie de desventajas en el proceso de ranurado, por lo que, se describe continuación:

- La taladrina genera un ataque químico al compuesto por lo que se recomienda evitar esta reacción mecanizando en seco o a su vez absorbiendo con una aspiradora de alta potencia las virutas y polvo generado por el proceso de mecanizado.
- El rozamiento o fricción que genera el herramienta en el proceso de ranurado puede generar la elevación de la temperatura por lo que es aconsejable refrigerar la zona con aire a presión.
- La aparición de micro grietas se puede evidenciar por el proceso en sí del mecanizado. Estas discontinuidades se las puede eliminar utilizando herramientas muy afiladas y así evitar que se produzca el sobrecalentamiento de la superficie.

- El deterioro del compuesto se evidencia con el pasar del tiempo producto de la aparición de pelusillas o astillado de las fibras. Por lo que, la ruta de mecanizado debe ser en acorde a la dirección de las fibras utilizando herramientas de filos muy definidos.

## **2.2 Hipótesis**

La variación de los parámetros de corte en materiales compuestos: Fibra Natural (FN) + Fibra de Vidrio (FV) + Resina Poliéster y Fibra Natural (FN) + Resina Poliéster mejorará la rugosidad y delaminación superficial del compuesto.

## **2.3 Señalamiento de las variables de la hipótesis**

### **2.3.1 Variable independiente**

Variación de los parámetros de corte en los diferentes compuestos

### **2.3.2 Variable dependiente**

Rugosidad y delaminación superficial

### **2.3.3 Término de relación**

Mejorará

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Nivel o Tipo de investigación**

##### **3.1.1 Investigación exploratoria**

La investigación exploratoria entrega información confiable que ayuda a identificar el problema y modos de solución basados en estudios que se han realizado anteriormente dotando de conocimiento y directrices con el fin de generar una hipótesis derivada de interrogantes y así realizar una investigación para dar solución con resultados que se adapten a la realidad y al contexto.

##### **3.1.2 Investigación descriptiva**

Conceptualizada como la predicción e identificación de relaciones que enlazan dos o más variables, este método ayuda a expresar datos en términos cuantitativos y cualitativos o a su vez recogen datos sobre la base de una hipótesis. Entonces con este método se puede determinar el número de probetas para el experimento, las propiedades mecánicas, parámetros de corte que son necesarios para el experimento.

##### **3.1.3 Investigación bibliográfica**

Diseñado para una amplia investigación y recaudación de información en diferentes fuentes de interés como son (artículos técnicos, libros, páginas web, etc.) que determinen el conocimiento existente en un área particular con una presentación y orden detallado de los hechos dando constancia con los propósitos del documento.

##### **3.1.4 Investigación experimental**

Este tipo de investigación se trata de manipular una variable y este a su vez controla/aleatoriza el resto de las variables con el fin de observar las consecuencias causadas por los efectos de medición.

## 3.2 Población y muestra

### 3.2.1 Población

La población que aborda este proyecto constituye las probetas o planchas de dos materiales híbridos compuestos: matriz poliéster reforzado con fibra vidrio más fibra natural (cabuya y abacá) y un material compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco que serán sometidos a un proceso de ranurado, además, el proceso de estratificación es al vacío. En la tabla 11 se presenta el conformado de la población.

### 3.2.2 Muestra

La muestra que se estima para el ensayo experimental se basa en el diseño de experimentos factorial, por lo que, interesa estudiar el efecto de la velocidad de corte (factor A), velocidad de avance (factor B) y tipo de fresa (factor C) sobre la calidad superficial y delaminación, además, cada factor consta de dos niveles como se especifica en la tabla 10. Entonces, el diseño de experimentos que rige el proyecto experimental es el diseño factorial  $2^3$  con 8 tratamientos diferentes.

**Tabla 10** Diseño de datos.

<b>Factor</b>	<b>Niveles</b>	
<b>A: Velocidad de corte</b>	48-60	m/min
<b>B: Velocidad de avance</b>	0,1-0,15	mm/rev
<b>C: Tipo de fresa</b>	HSS-HSC	-

**Fuente:** Autor

Las réplicas que se ha de realizar por cada tratamiento son 4, con el fin de generar un conjunto poblacional de datos estadísticos confiables y seguros, por lo que, el número total de tratamientos por probeta o plancha es de 32. En la tabla 11 se estima la muestra de forma distribuida de acuerdo a los argumentos del diseño factorial de 32 tratamientos, en esta tabla se describe el tipo de material híbrido compuesto y material compuesto con sus configuraciones específicas de composición, y variación de los parámetros de corte respectivamente, además, de generar las combinaciones o tratamientos para cada material compuesto.

Tabla 11 Muestra poblacional.

Material híbrido compuesto													
Parámetros de Configuración				Probetas (planchas)	Combinación de ensayos en orden “Velocidad corte (m/min), avance (mm/rev) y tipo de fresa (4H y FC)”								Ensayos Rugosidad-Delaminación por plancha
Tipo	Capas	Orientación de los refuerzos	Fracción Volumétrica		48/0,1/HSS	48/0,1/5/HSS	60/0,1/HSS	60/0,1/5/HSS	48/0,1/HSC	48/0,1/5/HSC	60/0,1/HSC	60/0,1/5/HSC	
Tipo a	1-2-3 (FV+FC+FV)	Fibra de Cabuya 0°	30% FV+FC	1	4	4	4	4	4	4	4	4	32
Tipo b	1-2-3 (FV+FA+FV)	Fibra de Cabuya 0°	30% FV+FA	1	4	4	4	4	4	4	4	4	32
Material compuesto													
Tipo c	1 (Fc)	al azar (0,5-1 cm)	30% Fc	1	4	4	4	4	4	4	4	4	32
<b>Total</b>													<b>96</b>

Fuente: Autor

**Nota:** Especificaciones del compuesto y herramental

**FV:** Fibra de vidrio, **FC:** Fibra de cabuya, **FA:** Fibra de abacá, **Fc:** Fibra de coco, **RP:** Resina poliéster, **HSS** = fresa acero rápido y **HSC** = fresa de metal duro

### 3.3 Operacionalización de variables

#### 3.3.1 Variable independiente

**Tabla 12** Variable Independiente, Análisis de los parámetros de mecanizado.

Contextualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems			Técnicas e instrumentos
Los parámetros de mecanizado constituyen un factor determinante para conseguir un excelente acabado superficial mismo que van acompañados de indicadores que se varían para obtener dicho propósito	Diseño (Parámetros de configuración)	Tipos de fibra	Cabuya	Abacá	Coco	Aporte bibliográfico Hoja de toma de datos
		Configuración de la fibra	Tejido plano 0°	Tejido plano 0°	Fibra corta (0,5-1cm) al azar	Aporte bibliográfico Hoja de toma de datos
		Capas	FV+FC+FV	FV+FA+FV	Fc	Aporte bibliográfico Hoja de toma de datos
	Parámetros de corte óptimos	Velocidad de corte	48 m/min y 60 m/min			Registro de Datos Cuaderno de Notas Investigación Bibliográfica
		Velocidad de avance	0,1 mm/min y 0,15 mm/min			
		Tipos de fresas	HSS-End Mill (6mm) y HSC End Mill para materiales compuestos (6mm)			

Fuente: Autor



### 3.3.2 Variable dependiente

Tabla 13 Variable dependiente, Rugosidad y delaminación superficial.

Contextualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
La calidad superficial se considera un conjunto de irregularidades presentes en la superficie de un elemento y esto a su vez permite validar la microgeometría de la superficie para una determinada función	Rugosidad Superficial	Rugosidad superficial media	¿Cuál será su rugosidad superficial, Ra?	Aporte bibliográfico Formato o fichas para toma de datos de ensayos Registro de Datos Cuaderno de Notas
	Delaminación Superficial	Factor de delaminación	¿Cuál será su factor de delaminación, Fd?	Aporte bibliográfico Formato o fichas para toma de datos de ensayos Registro de Datos Cuaderno de Notas

Fuente: Autor

### 3.4 Plan de recolección de información

En la tabla 14 se genera un plan de recolección de información con el fin satisfacer los requerimientos de estudio experimental.

**Tabla 14** Plan de recolección de datos.

<b>Plan de recolección de información</b>	
<b>¿Qué?</b>	La obtención de la rugosidad superficial Ra y el factor de delaminación Fd de las probetas de dos materiales híbridos compuestos matriz poliéster más fibra de vidrio más fibra natural (cabuya, abacá) y un compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.
<b>¿Para qué?</b>	Se realiza dicho experimento con el fin de conocer los parámetros óptimos de ranurado y así determinar una calidad superficial.
<b>¿Quién?</b>	El estudio experimental es realizado por el investigador (Patricio Vásquez)
<b>¿A quiénes?</b>	El trabajo experimental está dirigido a sujetos que busquen un interés bibliográfico y aporte científico a proyectos que se ejecutan actualmente en la UTA-FICM.
<b>¿Cómo?</b>	El estudio experimental se realiza mediante la utilización de cuadernos de datos, registro de notas, fichas para tomas de datos ensayados y bibliografía.
<b>¿Con qué?</b>	Para obtener los datos de utiliza las fichas de toma de datos para cada ensayo.
<b>¿Cuándo?</b>	Se ejecuta en el año 2017.
<b>¿Cuántas veces?</b>	Se realiza 24 ensayos con 4 réplicas (8 ensayos por compuesto).

<b>¿Dónde?</b>	El trabajo de investigación es realizado en la universidad técnica de Ambato, laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.
----------------	---

**Fuente:** Autor

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

Los datos que se obtuvieron en el estudio experimental fueron procesados y analizados de la siguiente manera.

#### **3.5.1 Revisión de Datos**

Los datos ensayados se han de revisar minuciosamente con el fin de corroborar la información, ya sea por desorden o hayan sido alterados en las fichas de tomas de datos.

#### **3.5.2 Tabulación de la información**

Este punto es primordial para la generación y posterior análisis de los resultados por lo que se lo resuelve con la ayuda de un ordenador.

#### **3.5.3 Análisis de la información**

Este punto resulta de gran contraste, ya que se ha de seleccionar las probetas de ensayo de los tres tipos de compuestos que hayan tenido los mejores resultados.

#### **3.5.4 Presentación de la información analizada**

La información analizada y bien argumentada se ha de presentar con la ayuda de cuadros y gráficas que ayuden a entender claramente la información.

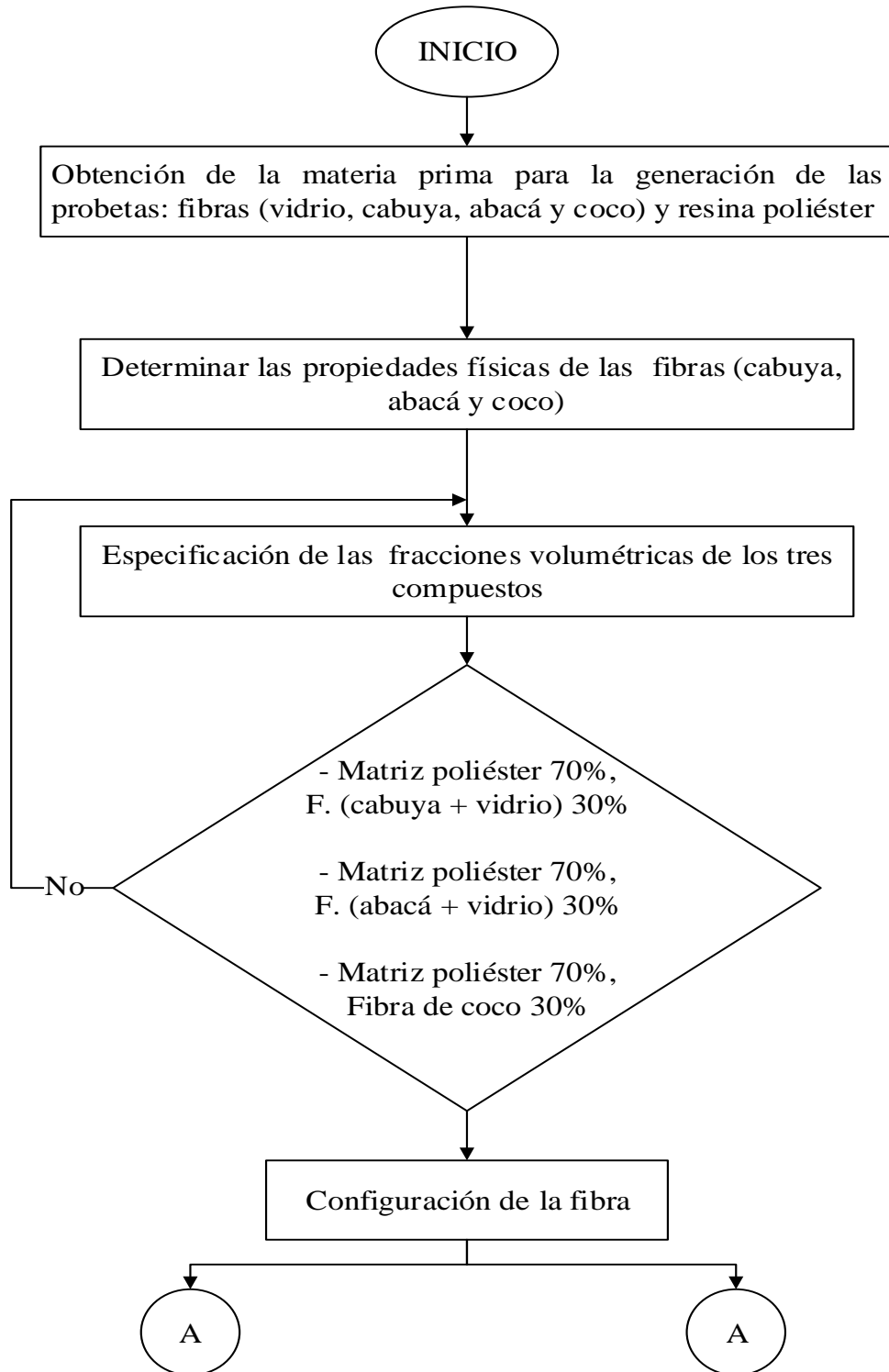
#### **3.5.5 Interpretación de los resultados**

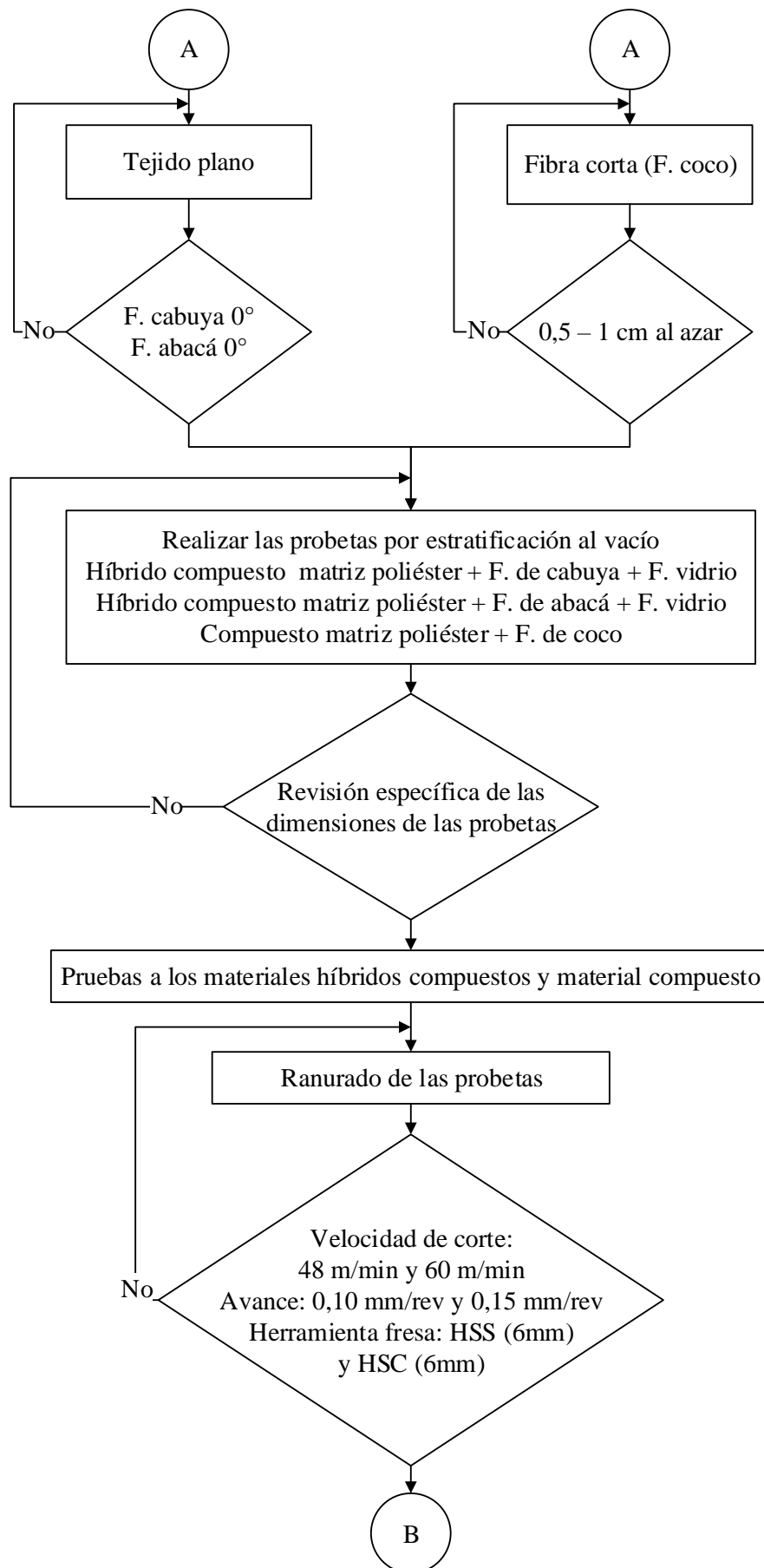
Los resultados generados por el procesamiento y posanálisis de los datos se ha interpretar de manera concisa y argumentada por la presentación de la información analizada.

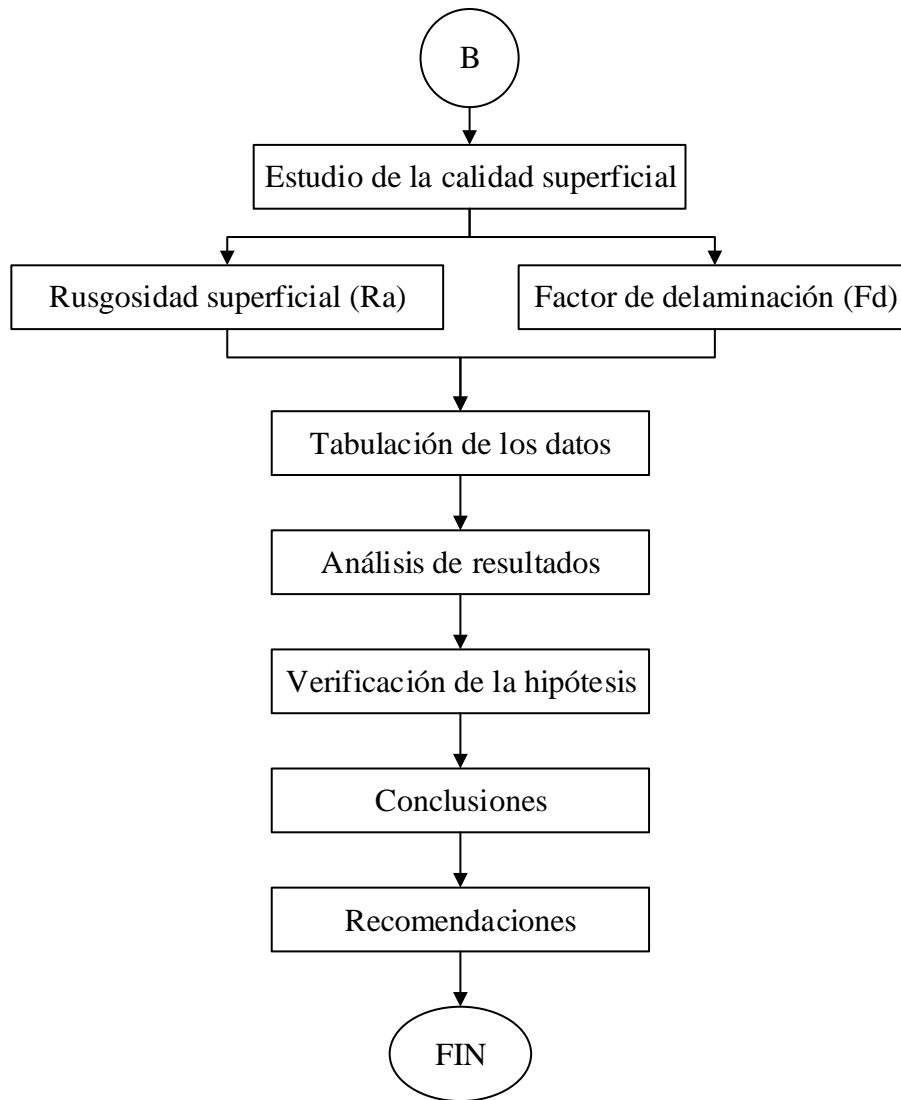
## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Recolección de datos







**Figura 13** Plan de procesamiento y análisis.  
**Fuente:** Autor

#### 4.1.1 Obtención de la materia prima

La materia prima como son: resina poliéster, endurecedor, fibra de vidrio y fibras naturales (cabuya, abacá y coco) se han obtenido en el mercado local como se explica a continuación.

La resina poliéster, endurecedor (Meck Peroxido) y fibra de vidrio  $375 \frac{gr}{m^2}$  se adquirió en un centro de abastecimiento mayorista con dirección: Redondel de Huachi Chico, vía a Riobamba.

La fibra de cabuya se adquirió en el barrio El Rosario de la parroquia Salasaca perteneciente al cantón Pelileo de la provincia de Tungurahua, este producto es elaborado por artesanos de la zona.

La fibra de abacá se obtuvo de la empresa filipina Furukawa situada en el cantón Santo Domingo de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, este producto es industrializado y comercializado por dicha empresa.

La fibra de coco se obtuvo por medio de un comerciante minorista situado en el cantón Ambato sector el mayorista. La fibra es separada del mesocarpio que compone la textura del coco para su posterior utilización.

#### 4.1.2 Determinación de las propiedades físicas de las fibras y resina

En este punto se ha de detallar la densidad generada por investigadores que obtuvieron estos datos a base de experimentos minuciosos.

**Tabla 15** Densidad de las fibras naturales.

<b>Tipo de Fibra</b>	<b><math>\rho = g/cm^3</math></b>
<b>Fibra de cabuya</b>	1,46
<b>Fibra de abacá</b>	1,48
<b>Fibra de coco</b>	1,12
<b>Fibra de vidrio</b>	2,4
<b>Resina poliéster</b>	1,2

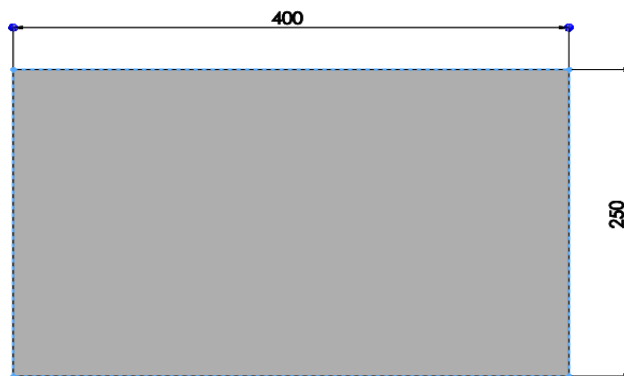
Fuente: [1]–[3]

#### 4.1.3 Especificación de las fracciones volumétricas

Las fracciones volumétricas que se han de utilizar para el presente trabajo experimental con las siguientes:

1. Resina poliéster (matriz) 70%, fibra de vidrio + fibra de cabuya (refuerzo) 30%
2. Resina poliéster (matriz) 70%, fibra de vidrio + fibra de abacá (refuerzo) 30%
3. Resina poliéster (matriz) 70%, fibra de coco (refuerzo) 30%

Entonces, para determinar el volumen que se requiere para formar el sólido de los materiales compuestos se hace referencia a la tabla 11, donde, se estima que por cada placa de ha de hacer 32 ensayos, de modo que, se estima un espacio prudente para la distribución y las sujeciones en el proceso de ranurado, por lo que, se estima una plancha de  $400 \times 250 \times 6 \text{ mm}$  generando así un volumen total por sólido de  $600 \text{ cm}^3$ .



**Figura 14** Dimensiones de la plancha para el ensayo.  
Fuente: Autor

#### 4.1.3.1 Peso de la resina poliéster

$$Volumen\ total = 600 \text{ cm}^3$$

Resina poliéster 70%

$$V_{R.poliester} = 600 \text{ cm}^3 * 70\%$$

$$V_{R.poliester} = 420 \text{ cm}^3$$

$$m_{R.poliester} = \rho_{R.poliester} * V_{R.poliester}$$

$$m_{R.poliester} = 1,2 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * 420 \text{ cm}^3$$

$$m_{R.poliester} = 504 \text{ gr}$$



#### 4.1.3.2 Peso de la fibra de vidrio + fibra de cabuya

Fibra de vidrio y fibra de cabuya 30%

$$V_{fvidrio+fcabuya} = 600cm^3 * 30\%$$

$$V_{fvidrio+fcabuya} = 180cm^3$$

Los porcentajes de acuerdo a las especificaciones del autor [2], tres capas de fibra de vidrio corresponden a 3.2 mm de espesor, por consiguiente, se estima lo requerido para el ensayo son 5 capas de fibra de vidrio que representa el 25% y 1 de fibra de cabuya corresponde al 5% del híbrido compuesto.

$$V_{fvidrio} = 150cm^3$$

$$m_{fvidrio} = \rho_{fvidrio} * V_{fvidrio}$$

$$m_{fvidrio} = 2,4 \frac{gr}{cm^3} * 150cm^3$$

$$m_{fvidrio} = 360gr$$

$$m_{fcabuya} = 1,46 \frac{gr}{cm^3} * 30cm^3$$

$$m_{fcabuya} = 43,8gr$$

$$m_{fvidrio+fcabuya} = 403,8gr$$

#### 4.1.3.3 Peso de la fibra de vidrio + fibra de abacá

Fibra de vidrio y fibra de abacá 30%

$$V_{fvidrio+fabcá} = 600cm^3 * 30\%$$

$$V_{fvidrio+fabcá} = 180cm^3$$

Al igual que en el caso anterior se ha de estimar el 25% de fibra de vidrio por lo que la masa de fibra de vidrio resulta ser de 360gr.

$$m_{fvidrio} = 360gr$$

$$m_{fabacá} = 1,48 \frac{gr}{cm^3} * 30cm^3$$

$$m_{fabacá} = 44,4gr$$

$$m_{fvidrio+fabacá} = 404,4gr$$

#### 4.1.3.4 Peso de la fibra de coco

Fibra de coco 30%

$$V_{fcoco} = 600cm^3 * 30\%$$

$$V_{fcoco} = 180cm^3$$

$$m_{fcoco} = 1,12 \frac{gr}{cm^3} * 180cm^3$$

$$m_{fcoco} = 216gr$$

#### 4.1.3.5 Resumen general de pesos de las fibras y resina

Tabla 16 Cantidad de fibras y resina poliéster.

Descripción	Cantidad de fibras y resina poliéster (gr.)				
	Cabuya	Abacá	Coco	Vidrio	Resina poliéster
Material híbrido compuesto F. (cabuya +vidrio) + R. poliéster	43,8			360	504
Material híbrido compuesto F. (abacá + vidrio) + R. poliéster		44,4		360	504
Material compuesto (F. coco + R. poliéster)			134,4		504
<b>Total</b>	43,8	44,4	134,4	720	1512

Fuente: Autor

En la tabla 16 se estima los valores resumidos de las cantidades necesarias para formar las probetas de cada material compuesto, es importante detallar que para realizar las tres planchas es necesario aproximadamente 1.5 Kg de resina poliéster y 720 gr de fibra de vidrio  $375 \frac{gr}{m^2}$ .

#### 4.1.4 Configuración de la fibra

Las fibras de cabuya y abacá fueron tejidas en un telar con el fin de mejorar su uniformidad y distribución. El tejido plano se encuentra a  $0^\circ$  longitudinal o unidireccional, además, las fibras se encuentran sujetas con hilo de algodón 0,5 cm de distancia uno del otro y la longitud del tejido de fibra es de 250 mm paralelo a la fibra y 400mm perpendicular a la fibra. En la figura 15 se muestra la fibra de coco para realizar la plancha o probeta, este con una característica de 0,5 a 1cm al azar.



**Figura 15** En orden izquierda - derecha: tejido plano  $0^\circ$  fibra de cabuya, tejido plano  $0^\circ$  fibra de cabuya y fibra de coco 0,5-1cm al azar.

**Fuente:** Autor

#### 4.1.5 Proceso de estratificación al vacío del material compuesto

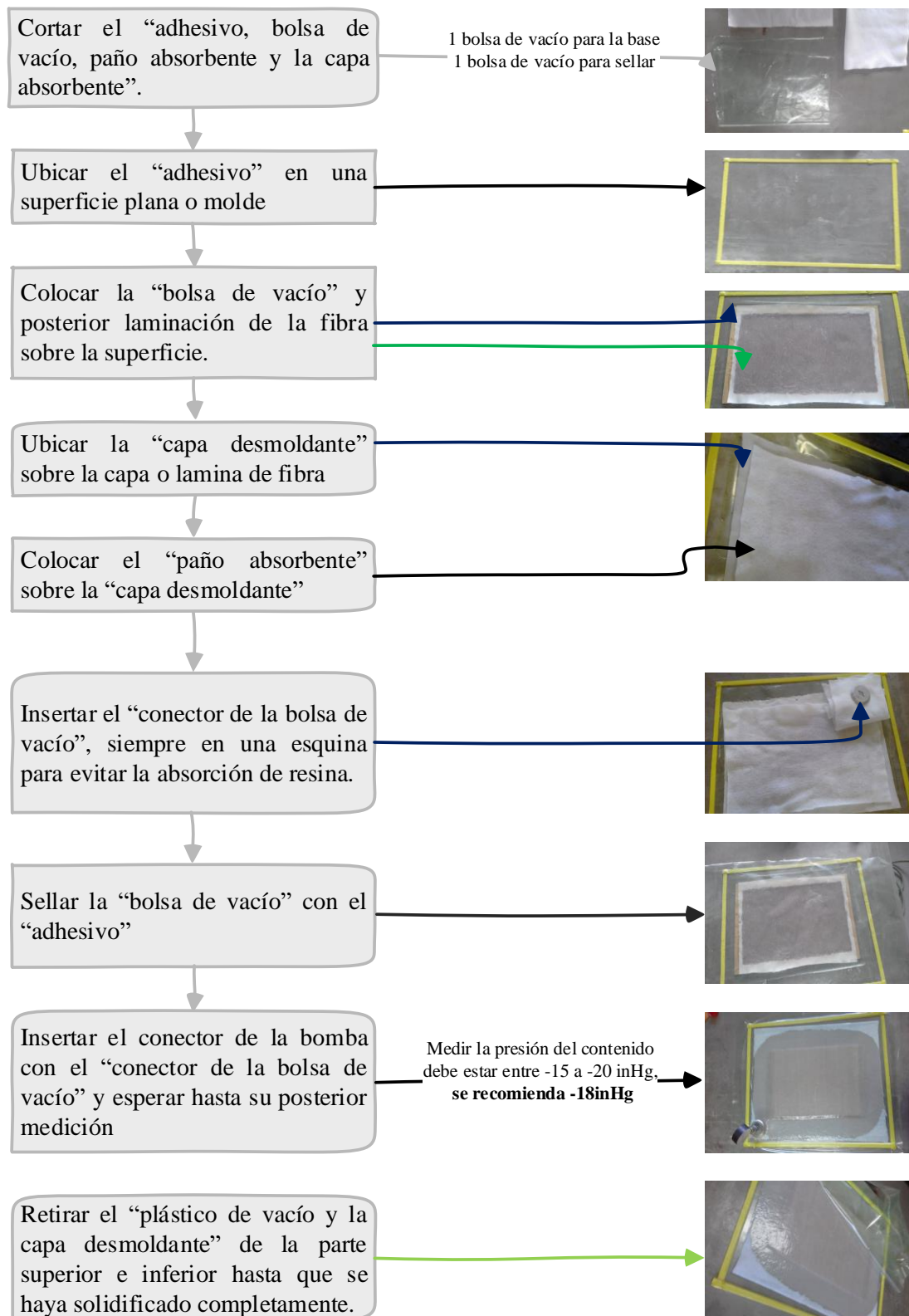
El proceso de obtención de las planchas o probetas para el ensayo se realizó en el laboratorio de materiales compuestos del Centro de Investigación y Desarrollo CID-FAE en el cantón Ambato, mismo que se contó con el apoyo previo a la tramitación de la solicitud. Por lo tanto, para el proceso de estratificación al vacío es necesario contar con los siguientes componentes mostrados en la tabla 17.

**Tabla 17** Componentes para el proceso de estratificación al vacío.

<b>Componentes</b>	<b>Imagen</b>
<p>Bolsa de vacío (Bagging film)</p>	
<p>Capa desmoldaste (Peel ply)</p>	
<p>Paño absorbente (Breather cloth)</p>	
<p>Adhesivo o chicle (Mastic sealant)</p>	
<p>Aspiradora de 1/4HP</p>	
<p>Manómetro de vacío (vacuum gauge)</p>	
<p>Conector de bolsa de vacío (vacuum bag connector)</p>	

Fuente: [25]

#### 4.1.5.1 Proceso de estratificación al vacío



#### 4.1.6 Revisión de las planchas (control de calidad)

Generalmente para que un sólido de material compuesto se haya secado completamente se requieren 21 días, en este caso se procedió a utilizar un horno de radiación ultravioleta a una temperatura de 80 °C durante un lapso de 2 horas con el fin optimizar el tiempo de secado (ver anexo 6), de modo que, las probetas después del proceso de estratificación al vacío y secado presentan una calidad superficial aceptable y cumplen con las medidas propuestas inicialmente 250x400x6mm como se puede apreciar en la figura 14.

A continuación, en la figura 16 se puede apreciar el producto terminado de las tres planchas: dos de híbrido compuesto y uno de material compuesto.








**Figura 16** Probetas en orden izquierda - derecha: híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra vidrio más cabuya, híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio más abacá y compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.

**Fuente:** Autor

#### 4.1.7 Especificación de los equipos, herramienta y máquinas para el ensayo

**Tabla 18** Especificaciones del equipo de trabajo.

<b>Especificaciones del Herramental</b>			
<b>Designación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Ilustración</b>
<b>HSS Flat End Mill 6mm</b>	Fresa de acero rápido 8% Co – hélice derecha 30° SU'S _EM-4144	6	

<b>HSC Flat End Mill 6mm</b>	Fresa de metal duro para compuestos – hélice derecha 10° con rompeviruras CERIN 66SU.060061850	6	
<b>Especificaciones del centro de mecanizado</b>			
<b>Modelo</b>	M-1000 “TRAVIS”		
<b>Voltaje</b>	220V		
<b>Potencia</b>	Motor principal (continuo/30 minutos) 15 / 25 HP		
<b>Revoluciones</b>	0 – 8000 RPM		
<b>Mesa de trabajo</b>	1200x505 mm		
<b>Especificaciones del Rugosímetro</b>			
<b>Modelo</b>	Mitutoyo SJ 210		
<b>Rango de medición</b>	17,5 mm		
<b>Velocidad de medición</b>	0,25, 0,5, 0,75 mm / s 1 mm / s (Vuelta)		
<b>Rango detector</b>	360µm (-200 micrómetros a 160 micras)		
<b>Palpador con radio de punta</b>	2 micras		
<b>Especificaciones del microscopio de barrido SEM</b>			
Filamento LaB6			
Tensión de aceleración: 200 V-30 kV			
Mejor resolución: 2 nm a 30 kV (alto vacío); 2,5 nm a 30 kV (vacío bajo)			
Detector pancromático CL 185-850 nm			
Tasa de conteo de silicio elevada sistema EDS			

Fuente: [26]–[30]

#### **4.1.8 Ranurado de las probetas**

En el proceso de ranurado se han generado condiciones de corte, estas condiciones de corte se establecen de acuerdo a las características del herramental (ver anexo 4 y 5) y estudios referenciales que estiman estos parámetros detallados en:[20], [22], [23], además, de utilizar un tipo de herramienta específicamente para el maquinado de materiales compuestos que se ha de usar para el ensayo experimental. A continuación, se especifican las características del herramental y el centro de mecanizado que se ha de utilizar para el procedimiento del ranurado, mismo que se encuentran disponibles en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Teniendo en cuenta las especificaciones detalladas en la tabla 18, estos datos son de mucha importancia para generar el proceso de ranurado especialmente las herramientas (fresas- End mill flat) que se ha de variar los dos tipos (HSS flat end mill y HSC flat end mill) para cada tipo de compuesto, velocidad y avance de acuerdo a las especificaciones referenciales descritas en el anexo 4 y 5.

Las especificaciones mostradas en la tabla 19 se han establecido que por cada velocidad de corte, avance y herramental se han determinado 4 réplicas por combinación mismo que se ha estimado este valor por la necesidad de obtener un estadístico que muestre una tendencia y así poder generar datos de interés, de modo que, los tratamientos están sustentados debidamente como un diseño de experimentos factorial  $2^3$ . Cabe mencionar que la trayectoria del ranurado para los ensayos tendrá un recorrido de 100 mm (ver figura 17) esto consiste en 32 réplicas por plancha que serán analizados su rugosidad, y de la misma manera en cada grupo de réplicas se ha de estudiar el fenómeno de delaminación.



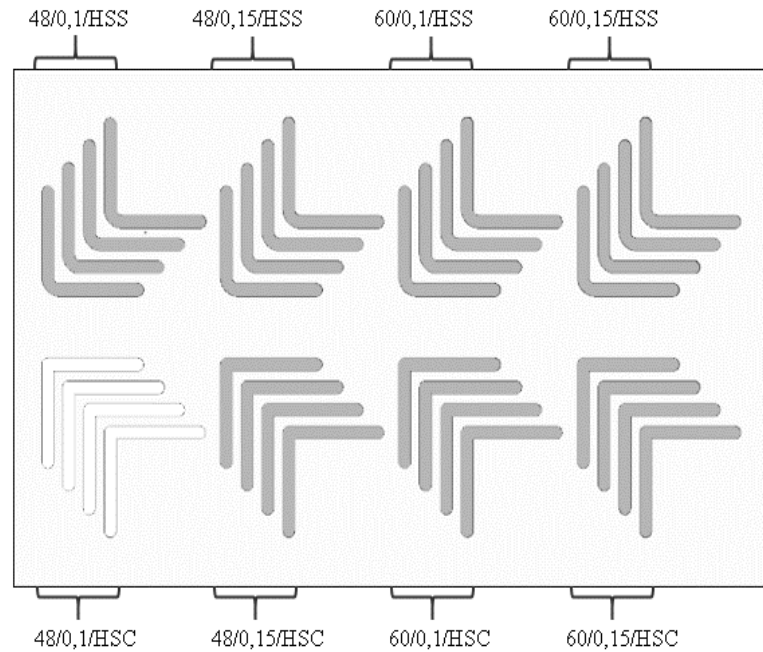
#### 4.1.8.1 Especificación de los ensayos

Tabla 19 Especificación de ensayos (réplicas).

Descripción	Probetas (planchas)	Combinación de ensayos en orden Vel. de corte (m/min), avance (min/rev) y herramental								Ensayos Rugosidad- Delaminación por plancha
		48/0,1/ HSS	48/0,15/ HSS	60/0,1/ HSS	60/0,15/ HSS	48/0,1/ HSC	48/0,15/ HSC	60/0,1/ HSC	60/0,15/ HSC	
Material híbrido compuesto F. (cabuya + vidrio) + R. poliéster	1	4	4	4	4	4	4	4	4	32
Material híbrido compuesto F. (abacá + vidrio) + R. poliéster	1	4	4	4	4	4	4	4	4	32
Material compuesto (F. coco + R. poliéster)	1	4	4	4	4	4	4	4	4	32
Total										96

Fuente: Autor

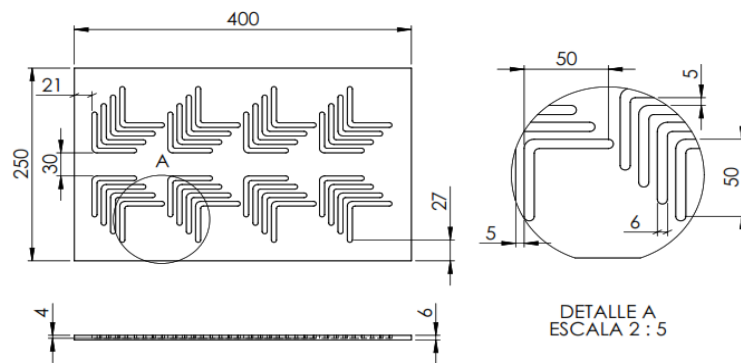
En la figura 17 se esquematiza la distribución de combinación de los parámetros de corte que se ha de efectuar en las tres planchas o probetas.



**Figura 17** Distribución gráfica de las combinaciones de corte.

**Fuente:** Autor

#### 4.1.8.2 Especificación dimensional de las probetas



**Figura 18** Especificación dimensional del proceso de ranurado.

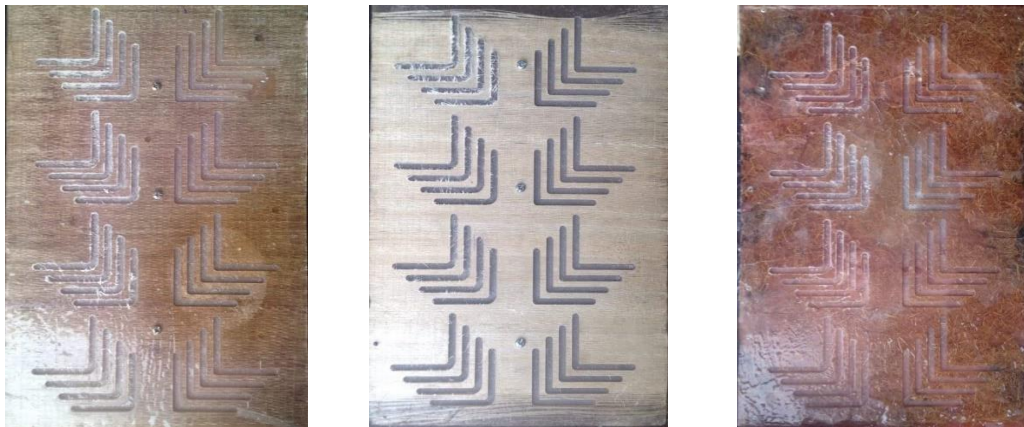
**Fuente:** Autor

La plancha con dimensiones 250x400x6mm se ha dividido en ocho combinaciones por plancha con cuatro réplicas como se evidencia en la figura 17, el recorrido por cada ensayo tiene una longitud de 100mm con espacios de 5mm entre borde como se especifica en la figura 18. Se puede observar las distancias entre recorrido (ranura) y

la distancia de 21mm que se estimó como espacio libre de trabajo con el fin de evitar roturas y posteriores problemas en el proceso de mecanizado.

#### 4.1.8.3 Resultados del proceso de Ranurado

El proceso de ranurado que se ha realizado en las tres planchas mostrados en la figura 19, cumplieron con las expectativas previo a la determinación de la rugosidad superficial ( $R_a$ ) y el factor delaminación ( $F_d$ ). Hay que detallar que el proceso se realizó con refrigerante (aire a presión) con el fin disminuir la dilatación del material compuesto y la eliminación de los residuos generados por el proceso (ver anexo 6 - 12). Así mismo, se ha utilizado una base de madera sujeta a la probeta que resulta de gran soporte para amordazar la plancha y no permitir el desbalance que se ha de generar por la profundidad de pasada de la herramienta que es de 1mm.



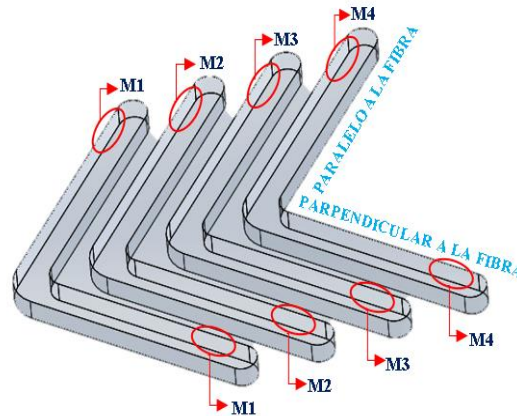
**Figura 19** En orden de izquierda a derecha: ranurado del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio más cabuya, ranurado del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio más abacá y ranurado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.

**Fuente:** Autor

#### 4.1.9 Determinación de la rugosidad superficial ( $R_a$ )

La rugosidad de cada plancha de material compuesto se ha determinado mediante el uso del rugosímetro *SJ-210 Mitutoyo* donde se ha hecho mediciones en la cara paralela en sentido de penetración de la herramienta (ver figura 20), misma que para el caso de los híbridos compuestos reforzados con fibra natural (cabuya y abacá) se han de tomar dos valores de rugosidad; paralelo a la fibra y perpendicular a la fibra. Para la toma de datos del compuesto reformado con fibra de coco se ha de hacer una

medición debido a que la configuración de la fibra en el compuesto se encuentra disperso uniformemente y no afectara el sentido de la fibra.



**Figura 20** Indicaciones de medición de rugosidad paralelo a la fibra y perpendicular a la fibra.  
**Fuente:** Autor

Para tomar los datos de rugosidad se procedió a cortar el material por la mitad de la ranura debido al insuficiente espacio de desplazamiento del palpador del rugosímetro que es de 1cm y así generar un espacio de libre desplazamiento (ver figura 21 y anexo 13 - 15), de igual manera, se ha procedido a codificar cada grupo de réplica de la siguiente manera.

### **Orientación de la fibra-CF(refuerzo) /Vc(m/min) /avance (mm/rev) /tipo de herramienta**

Por ende, se especifica una ejemplificación de código por cada grupo de réplicas y de ahí se distribuyen las 4 mediciones.

**SF – CFAV/48/0,1/HSS;** Esta codificación representa: el mecanizado de la ranura se ha efectuado paralelo a la fibra del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio, velocidad de corte 48(m/min), avance 0.1(min/rev) y con una herramienta HSS.

**PF-CFCV/48/0,1/HSC;** Esta codificación representa: el mecanizado la ranura se ha efectuado perpendicular a la fibra del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio, velocidad de corte 48(m/min), avance 0.1(min/rev) y con una herramienta HSS.

Y por cada réplica de han de hacer 4 mediciones paralelo a la fibra y perpendicular a la fibra detalladas en el anexo 13 - 16.



**Figura 21** En orden de izquierda a derecha, probetas cortadas posterior a medición de la rugosidad del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio más cabuya, híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio más abacá y compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.

**Fuente:** Autor

A continuación, se presentan tres imágenes sobre la medición de la rugosidad superficial (Ra).

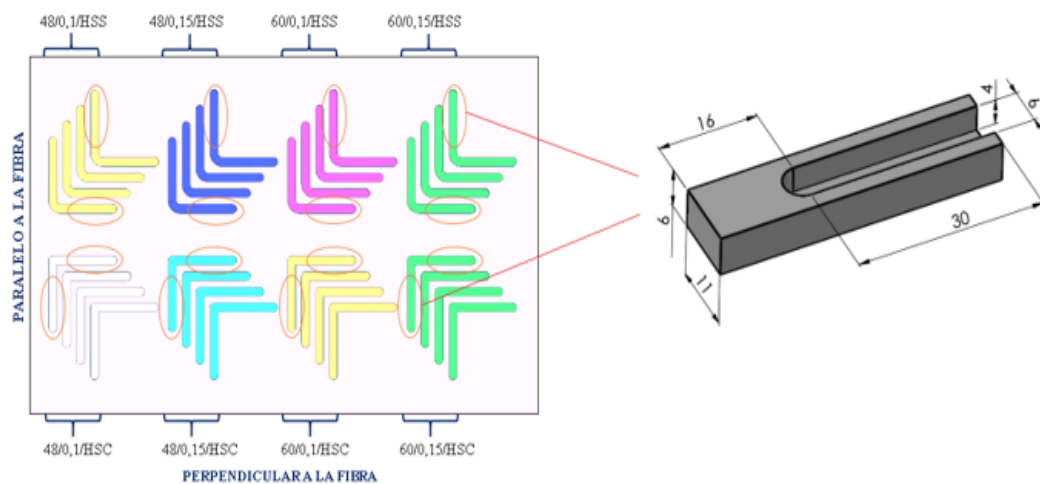


**Figura 22** Toma de datos en el rugosímetro SJ-210 Mitutoyo de las ranuras en orden de izquierda a derecha: CFCV1,1-60/0,15/HSC, medición 3 - CFAV1,2-60/0,1/HSS, medición 1 - CFCV1,1-48/0,1/HSC, medición 2

**Fuente:** Autor

#### 4.1.10 Determinación del factor de delaminación (Fd)

Para establecer el factor de delaminación se han extraído una probeta por cada combinación que posteriormente se han de analizar en el microscopio “*Scanning electron Microscope VEGA3 SEM*”. Los extractos que se han de analizar son producto de cada combinación como se especifica en la figura 23 y a su vez para los híbridos compuestos matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y fibra natural se consideran la dirección de las fibras (16 extractos por plancha) y para el compuesto matriz poliéster reforzado con fibra natural se ha considerado un extracto por combinación (8 extractos por plancha). Además, se especifica el método de medición ya que en cada extracto se han de considerar 4 mediciones de delaminación más relevantes como se detalla en las fichas técnicas 4.6 - 4.10.



**Figura 23** Extractos para la medición de delaminación de los híbridos compuestos.

**Fuente:** Autor

A continuación, se detalla la nomenclatura con que se ha descrito la codificación.

**CF(refuerzo)/ Orientación de la fibra (1.1 o 1.2) /Vc(m/min) /avance (mm/rev) /tipo de herramienta**

En el siguiente ejemplo se hace de ejemplificar como está constituido un extracto de la muestra para el análisis.

**CFCV1.1-60/0.15/HSS**; el extracto esta reforzado con fibra de cabuya y vidrio, paralelo a la fibra (1.1), velocidad de corte 60 m/min, avance 0.15min/rev y se ha utilizado una herramienta HSS.

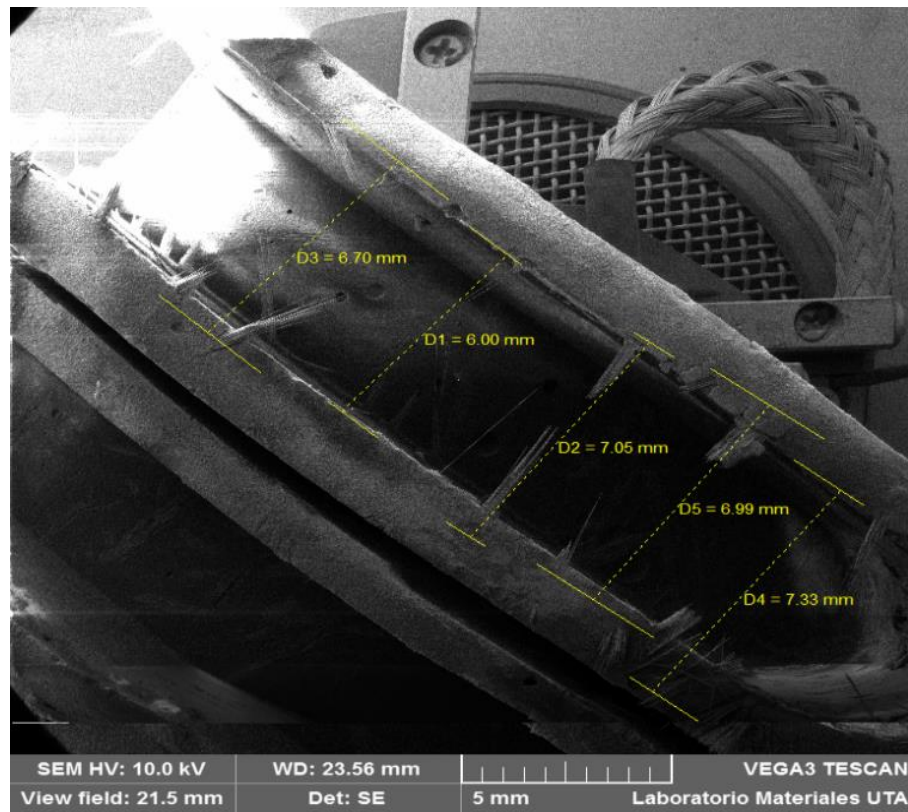
**CFAV1.1-60/0.1/HSC**; el extracto esta reforzado con fibra de abacá y vidrio, perpendicular a la fibra (1.2), velocidad de corte 60 m/min, avance 0.1min/rev y se ha utilizado una herramienta HSC.



**Figura 24** En orden de izquierda a derecha, probetas para la medición de delaminación en el microscopio de barrido SEM del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio más cabuya, híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y abacá y compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.

**Fuente:** Autor

Entonces se muestra en la figura 25 un ejemplo de medición que se ha realizado a una muestra de compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio, proceso de ranurado paralelo a la fibra, velocidad de corte 60 m/min, avance 0.1 min/rev y se ha utilizado un herramental HSS. También se puede observar que por cada extracto se han realizado cuatro mediciones indistintamente de la medición de 6mm que corresponde al diámetro del herramental y calibración de la distancia de trabajo.





**Figura 25** Medición de delaminación en “Scanning electron Microscope VEGA3 SEM” del extracto CFAV 1,1-60/0.1/HSS.

**Fuente:** Autor



#### 4.1.11 Fichas de reporte rugosidad superficial (Ra)

Ficha técnica núm. 1 Recolección de datos y evaluación de la rugosidad superficial (Ra) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio (paralelo a la fibra).

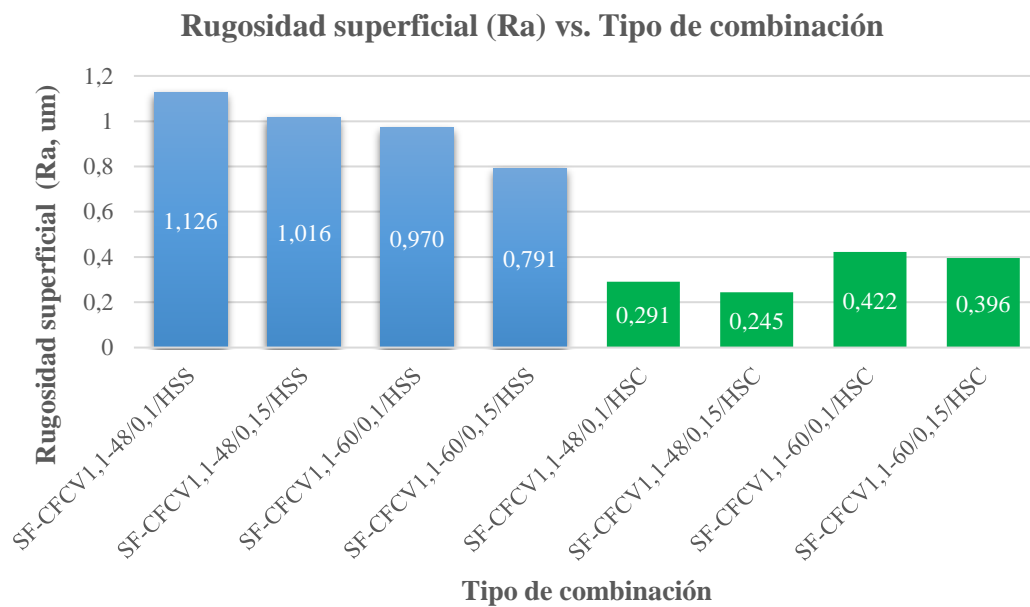
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y</b> <b>MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA</b> <b>MECÁNICA</b>					
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL (Ra) DEL HÍBRIDO COMPUESTO</b> <b>Matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio (paralelo a la fibra de cabuya)</b>							
<b>Fecha:</b>	15-dic-17	<b>Ciudad:</b>	Ambato				
<b>Tipo de ensayo:</b>	Rugosidad superficial (Ra)	<b>Provincia:</b>	Tungurahua				
<b>Laboratorio:</b>	Carrera de Ingeniería Mecánica	<b>Realizado por:</b>	Patricio Vásquez				
<b>Máquina:</b>	Rugosímetro SJ-210 Mitutoyo (ISO-1997)	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes				
<b>Matriz:</b>	Resina poliéster	<b>Frac. volumétrica:</b>	70%				
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de vidrio	<b>Frac. volumétrica:</b>	25%				
	Fibra de cabuya	<b>Frac. volumétrica:</b>	5%				
<b>Configuración de las fibras:</b>	Tejido plano	<b>Número de capas:</b>	6				
<b>Orientación FC:</b>	0°	<b>Número de mediciones:</b>	32				
<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Presión:</b>	-18 inHg.				
<b>Dimensiones:</b>	400x250x6 mm	<b>Herramental:</b>	HSS-HSC				
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL Ra (um)</b>							
Nº.	CÓDIGO	R1	R2	R3	R4	PROMED.	DESV. ESTAN.
1	SF-CFCV1,1-48/0,1/HSS	0,922	1,138	1,261	1,184	1,126	0,145
2	SF-CFCV1,1-48/0,15/HSS	0,982	0,684	0,898	1,500	1,016	0,346
3	SF-CFCV1,1-60/0,1/HSS	0,683	0,936	1,400	0,861	0,970	0,306
4	SF-CFCV1,1-60/0,15/HSS	0,528	0,849	0,926	0,862	0,791	0,179
5	SF-CFCV1,1-48/0,1/HSC	0,396	0,340	0,167	0,262	0,291	0,099
6	SF-CFCV1,1-48/0,15/HSC	0,262	0,204	0,240	0,273	0,245	0,030
7	SF-CFCV1,1-60/0,1/HSC	0,318	0,481	0,324	0,566	0,422	0,122
8	SF-CFCV1,1-60/0,15/HSC	0,497	0,339	0,298	0,449	0,396	0,093

### FOTOGRAFÍA DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD



Medición de la cuarta réplica de PF-CFCV1,2-60/0,15/HSS

### GRÁFICAS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL VERSUS EL TIPO DE COMBINACIÓN





#### Observaciones:

Mediante la utilización de la herramienta HSS, la rugosidad promedio mínima es de 0,791 um con una velocidad de corte de 60m/min y un avance de 0,15 min/rev.

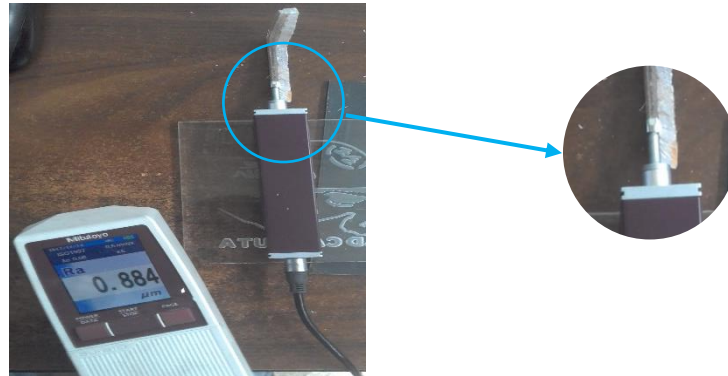
Mediante la utilización de la herramienta HSC, la rugosidad promedio mínima es de 0,245 um con una velocidad de corte de 48m/min y un avance de 0,15 min/rev.

**Fuente:** Autor

Ficha técnica núm. 2 Recolección de datos y evaluación de la rugosidad superficial (Ra) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio (perpendicular a la fibra).

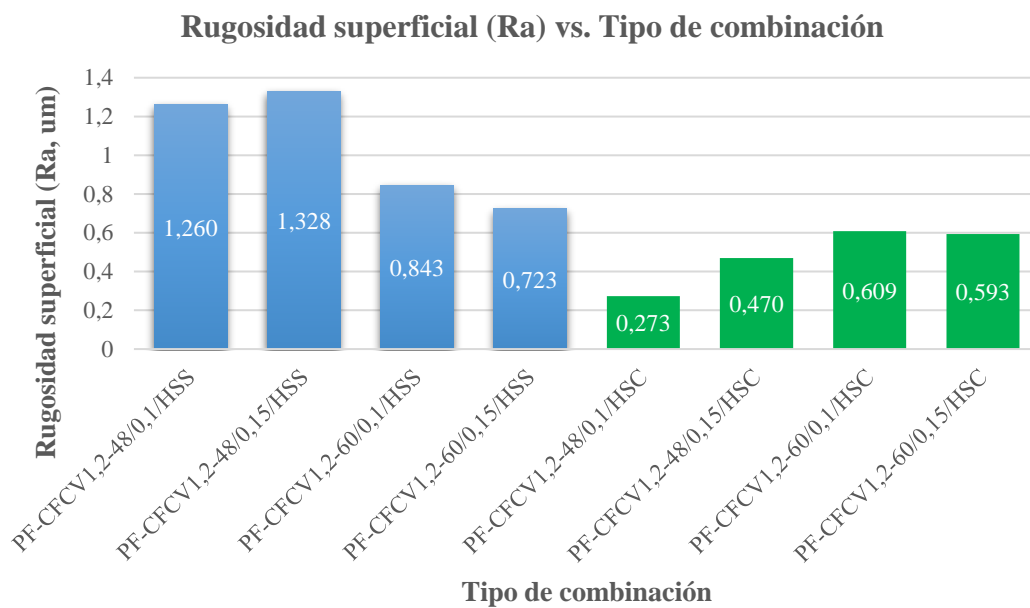
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y</b> <b>MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA</b> <b>MECÁNICA</b>					
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL (Ra) DEL HÍBRIDO COMPUESTO</b> <b>Matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio (perpendicular a la fibra de cabuya)</b>							
<b>Fecha:</b>	15-dic-17	<b>Ciudad:</b>	Ambato				
<b>Tipo de ensayo:</b>	Rugosidad superficial (Ra)	<b>Provincia:</b>	Tungurahua				
<b>Laboratorio:</b>	Carrera de Ingeniería Mecánica	<b>Realizado por:</b>	Patricio Vásquez				
<b>Máquina:</b>	Rugosímetro SJ-210 Mitutoyo (ISO-1997)	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes				
<b>Matriz:</b>	Resina poliéster	<b>Frac. volumétrica:</b>	70%				
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de vidrio	<b>Frac. volumétrica:</b>	25%				
	Fibra de cabuya	<b>Frac. volumétrica:</b>	5%				
<b>Configuración de las fibras:</b>	Tejido plano	<b>Número de capas:</b>	6				
<b>Orientación FC:</b>	0°	<b>Número de mediciones:</b>	32				
<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Presión:</b>	-18 inHg.				
<b>Dimensiones:</b>	400x250x6 mm	<b>Herramental:</b>	HSS-HSC				
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL Ra (um)</b>							
N°.	CÓDIGO	R1	R2	R3	R4	PROMED.	DESV. ESTAN.
1	PF-CFCV1,2-48/0,1/HSS	1,206	1,913	0,910	1,011	1,260	0,452
2	PF-CFCV1,2-48/0,15/HSS	2,086	1,057	1,430	0,738	1,328	0,579
3	PF-CFCV1,2-60/0,1/HSS	0,986	0,858	0,917	0,610	0,843	0,164
4	PF-CFCV1,2-60/0,15/HSS	0,615	0,810	0,584	0,884	0,723	0,147
5	PF-CFCV1,2-48/0,1/HSC	0,375	0,252	0,197	0,268	0,273	0,074
6	PF-CFCV1,2-48/0,15/HSC	0,561	0,453	0,309	0,556	0,470	0,118
7	PF-CFCV1,2-60/0,1/HSC	0,789	0,819	0,400	0,428	0,609	0,226
8	PF-CFCV1,2-60/0,15/HSC	0,563	0,580	0,697	0,532	0,593	0,072

## FOTOGRAFÍA DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD



Medición de la cuarta réplica de PF-CFCV1,2-60/0,15/HSS

## GRÁFICAS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL VERSUS EL TIPO DE COMBINACIÓN



### Observaciones:

Mediante la utilización de la herramienta HSS, la rugosidad promedio mínima es de 0,723 um con una velocidad de corte de 60m/min y un avance de 0,15 min/rev.

Mediante la utilización de la herramienta HSC, la rugosidad promedio mínima es de 0,273 um con una velocidad de corte de 48m/min y un avance de 0,1 min/rev.

**Fuente:** Autor

Ficha técnica núm. 3 Recolección de datos y evaluación de la rugosidad superficial (Ra) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio (paralelo a la fibra).

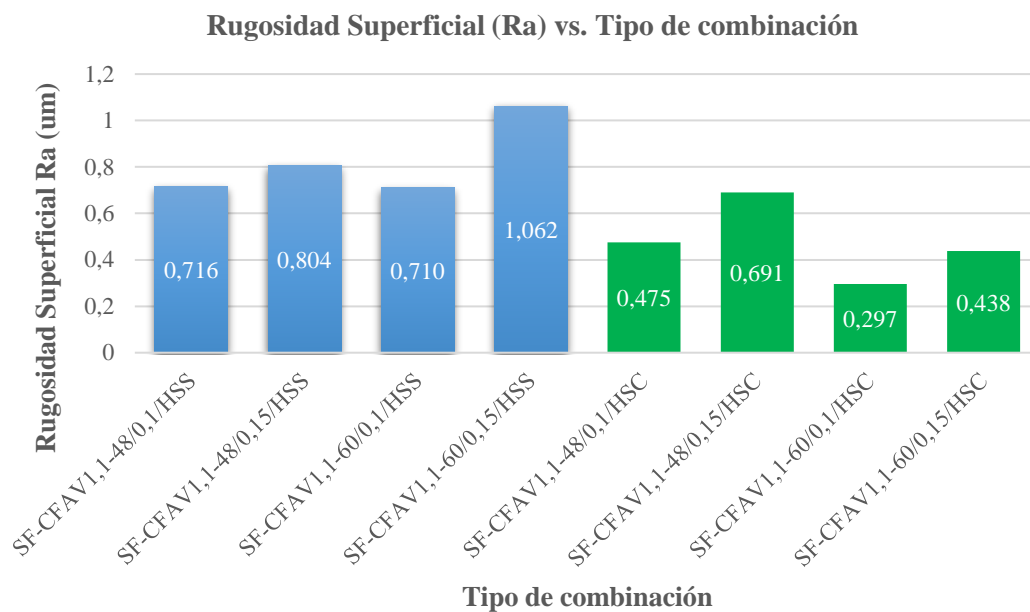
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y</b> <b>MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA</b> <b>MECÁNICA</b>					
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL (Ra) DEL HÍBRIDO COMPUESTO</b> <b>Matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio (paralelo a la fibra de abacá)</b>							
<b>Fecha:</b>	15-dic-17	<b>Ciudad:</b>	Ambato				
<b>Tipo de ensayo:</b>	Rugosidad superficial (Ra)	<b>Provincia:</b>	Tungurahua				
<b>Laboratorio:</b>	Carrera de Ingeniería Mecánica	<b>Realizado por:</b>	Patricio Vásquez				
<b>Máquina:</b>	Rugosímetro SJ-210 Mitutoyo (ISO-1997)	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes				
<b>Matriz:</b>	Resina poliéster	<b>Frac. volumétrica:</b>	70%				
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de vidrio	<b>Frac. volumétrica:</b>	25%				
	Fibra de abacá	<b>Frac. volumétrica:</b>	5%				
<b>Configuración de las fibras:</b>	Tejido plano	<b>Número de capas:</b>	6				
<b>Orientación FC:</b>	0°	<b>Número de mediciones:</b>	32				
<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Presión:</b>	-18 inHg.				
<b>Dimensiones:</b>	400x250x6 mm	<b>Herramental:</b>	HSS-HSC				
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL Ra (um)</b>							
N°.	CÓDIGO	M1	M2	M3	M4	PROMED.	DESV. ESTAN.
1	SF-CFAV1,1-48/0,1/HSS	0,599	0,62	0,732	0,912	0,716	0,143
2	SF-CFAV1,1-48/0,15/HSS	0,793	0,691	0,792	0,941	0,804	0,103
3	SF-CFAV1,1-60/0,1/HSS	0,307	0,915	0,723	0,896	0,710	0,282
4	SF-CFAV1,1-60/0,15/HSS	1,127	1,321	0,676	1,125	1,062	0,273
5	SF-CFAV1,1-48/0,1/HSC	0,46	0,59	0,462	0,386	0,475	0,085
6	SF-CFAV1,1-48/0,15/HSC	0,883	0,534	0,648	0,697	0,691	0,145
7	SF-CFAV1,1-60/0,1/HSC	0,209	0,387	0,28	0,31	0,297	0,074
8	SF-CFAV1,1-60/0,15/HSC	0,577	0,311	0,414	0,448	0,438	0,110

## FOTOGRAFÍA DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD



Medición de la primera réplica de SF-CFCV1,1-60/0,1/HSS

## GRÁFICAS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL VERSUS EL TIPO DE COMBINACIÓN





### Observaciones:

Mediante la utilización de la herramienta HSS, la rugosidad promedio mínima es de 0,710 um con una velocidad de corte de 60m/min y un avance de 0,1 min/rev.

Mediante la utilización de la herramienta HSC, la rugosidad promedio mínima es de 0,297 um con una velocidad de corte de 60m/min y un avance de 0,1 min/rev.

Fuente: Autor

Ficha técnica núm. 4 Recolección de datos y evaluación de la rugosidad superficial (Ra) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio (perpendicular a la fibra).

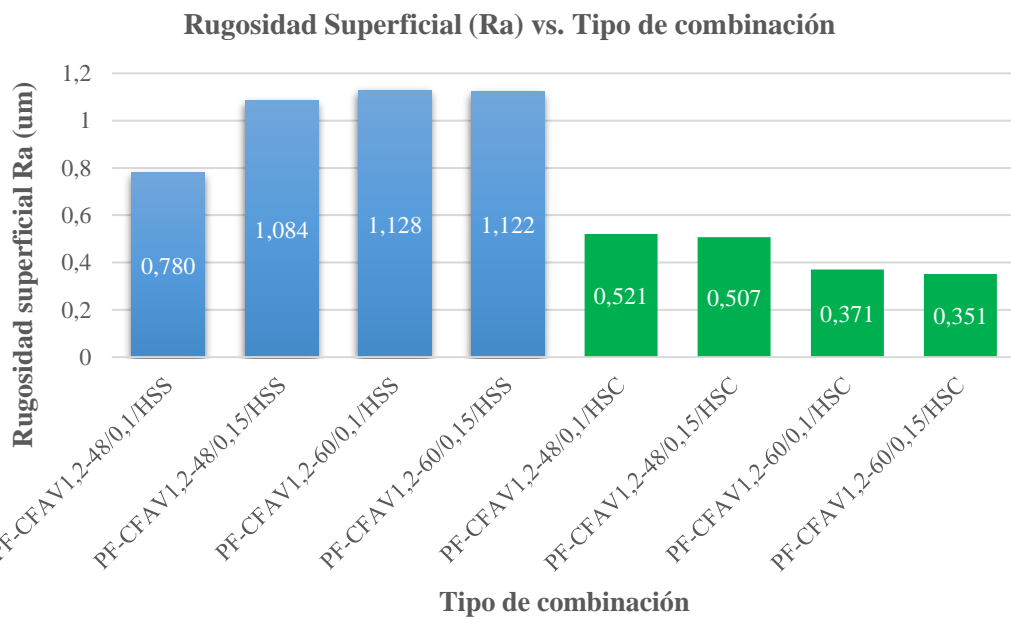
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y</b> <b>MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA</b> <b>MECÁNICA</b>					
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL (Ra) DEL HÍBRIDO COMPUESTO</b> <b>Matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio (perpendicular a la fibra de abacá)</b>							
<b>Fecha:</b>	15-dic-17	<b>Ciudad:</b>	Ambato				
<b>Tipo de ensayo:</b>	Rugosidad superficial (Ra)	<b>Provincia:</b>	Tungurahua				
<b>Laboratorio:</b>	Carrera de Ingeniería Mecánica	<b>Realizado por:</b>	Patricio Vásquez				
<b>Máquina:</b>	Rugosímetro SJ-210 Mitutoyo (ISO-1997)	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes				
<b>Matriz:</b>	Resina poliéster	<b>Frac. volumétrica:</b>	70%				
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de vidrio	<b>Frac. volumétrica:</b>	25%				
	Fibra de abacá	<b>Frac. volumétrica:</b>	5%				
<b>Configuración de las fibras:</b>	Tejido plano	<b>Número de capas:</b>	6				
<b>Orientación FC:</b>	0°	<b>Número de mediciones:</b>	32				
<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Presión:</b>	-18 inHg.				
<b>Dimensiones:</b>	400x250x6 mm	<b>Herramental:</b>	HSS-HSC				
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL Ra (um)</b>							
Nº.	CÓDIGO	M1	M2	M3	M4	PROM.	DESV. ESTAN.
1	PF-CFAV1,2-48/0,1/HSS	0,842	0,658	0,769	0,851	0,780	0,089
2	PF-CFAV1,2-48/0,15/HSS	0,991	0,991	1,019	1,336	1,084	0,168
3	PF-CFAV1,2-60/0,1/HSS	1,178	0,936	1,415	0,982	1,128	0,218
4	PF-CFAV1,2-60/0,15/HSS	0,620	1,302	1,506	1,060	1,122	0,381
5	PF-CFAV1,2-48/0,1/HSC	0,585	0,380	0,534	0,583	0,521	0,097
6	PF-CFAV1,2-48/0,15/HSC	0,544	0,443	0,402	0,639	0,507	0,106
7	PF-CFAV1,2-60/0,1/HSC	0,270	0,446	0,401	0,366	0,371	0,075
8	PF-CFAV1,2-60/0,15/HSC	0,450	0,346	0,333	0,275	0,351	0,073

## FOTOGRAFÍA DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD



Medición de la tercera réplica de PF-CFCV1,2-60/0,1/HSS

## GRÁFICAS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL VERSUS EL TIPO DE COMBINACIÓN



### Observaciones:

Mediante la utilización de la herramienta HSS, la rugosidad promedio mínima es de 0,780 μm con una velocidad de corte de 48m/min y un avance de 0,1 min/rev.

Mediante la utilización de la herramienta HSC, la rugosidad promedio mínima es de 0,351 μm con una velocidad de corte de 60m/min y un avance de 0,15 min/rev.

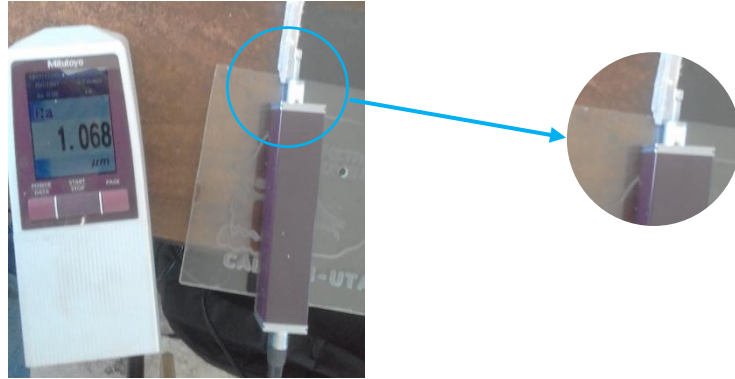
Fuente: Autor



Ficha técnica núm. 5 Recolección de datos y evaluación de la rugosidad superficial (Ra) del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.

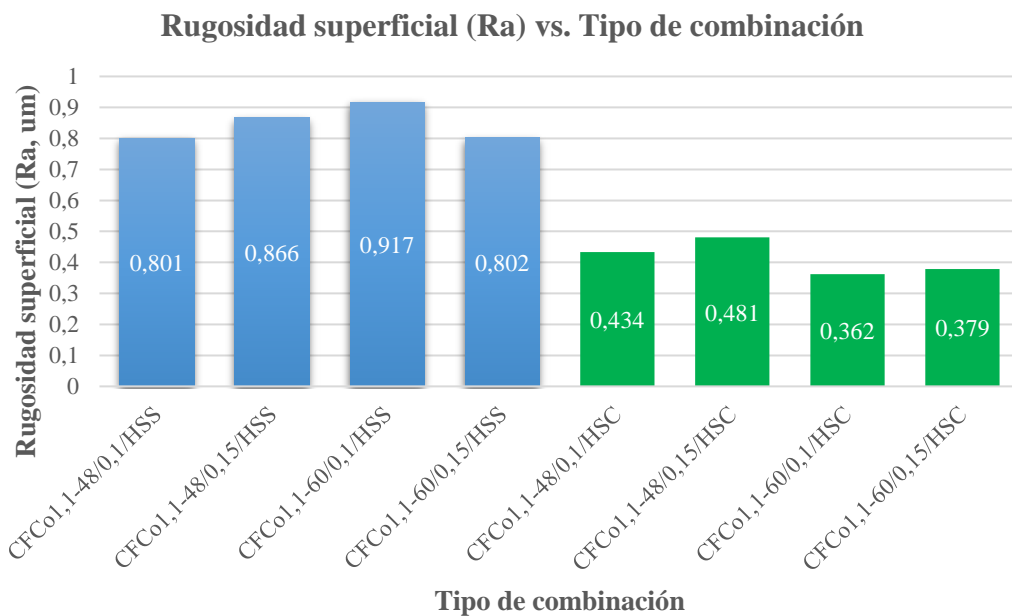
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL (Ra) DEL COMPUESTO Matriz poliéster reforzado con fibra coco</b>							
<b>Fecha:</b>	15-dic-17	<b>Ciudad:</b>	Ambato				
<b>Tipo de ensayo:</b>	Rugosidad superficial (Ra)	<b>Provincia:</b>	Tungurahua				
<b>Laboratorio:</b>	Carrera de Ingeniería Mecánica	<b>Realizado por:</b>	Patricio Vásquez				
<b>Máquina:</b>	Rugosímetro SJ-210 Mitutoyo (ISO-1997)	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes				
<b>Matriz:</b>	Resina poliéster	<b>Frac. volumétrica:</b>	70%				
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de coco	<b>Frac. volumétrica:</b>	30%				
	-	<b>Frac. volumétrica:</b>	-				
<b>Configuración de las fibras:</b>	Tejido plano	<b>Número de capas:</b>	1				
<b>Orientación FC:</b>	0°	<b>Número de mediciones:</b>	32				
<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Presión:</b>	-18 inHg.				
<b>Dimensiones:</b>	400x250x6 mm	<b>Herramental:</b>	HSS-HSC				
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL Ra (um)</b>							
Nº.	CÓDIGO	R1	R2	R3	R4	PROMED.	DESV. ESTAN.
1	CFCo1,1-48/0,1/HSS	0,790	0,89	0,804	0,721	0,801	0,069
2	CFCo1,1-48/0,15/HSS	0,889	0,939	0,889	0,748	0,866	0,082
3	CFCo1,1-60/0,1/HSS	0,857	1,068	0,733	1,010	0,917	0,152
4	CFCo1,1-60/0,15/HSS	0,567	0,927	0,858	0,856	0,802	0,160
5	CFCo1,1-48/0,1/HSC	0,360	0,412	0,600	0,363	0,434	0,113
6	CFCo1,1-48/0,15/HSC	0,424	0,511	0,55	0,437	0,481	0,060
7	CFCo1,1-60/0,1/HSC	0,437	0,167	0,387	0,458	0,362	0,134
8	CFCo1,1-60/0,15/HSC	0,386	0,329	0,396	0,405	0,379	0,034

## FOTOGRAFÍA DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD



Medición de la segunda réplica de CFCo1,1-60/0,1/HSS

## GRÁFICAS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL VERSUS EL TIPO DE COMBINACIÓN



### Observaciones:

Mediante la utilización de la herramienta HSS, la rugosidad promedio mínima es de 0,801 um con una velocidad de corte de 48m/min y un avance de 0,1 min/rev.

Mediante la utilización de la herramienta HSC, la rugosidad promedio mínima es de 0,362 um con una velocidad de corte de 60m/min y un avance de 0,1 min/rev.

Fuente: Autor

#### 4.1.12 Fichas de reporte del factor de delaminación

Ficha técnica núm. 6 Recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio (paralelo a la fibra).

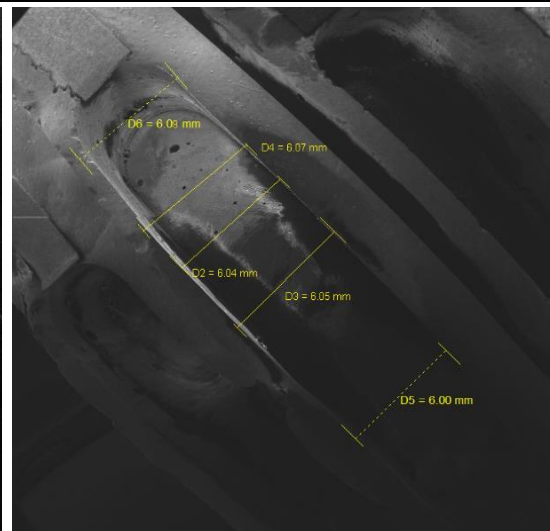
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y</b> <b>MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA</b> <b>MECÁNICA</b>									
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DEL FACTOR DE DELAMINACIÓN (Fd) DEL HÍBRIDO COMPUESTO</b> <b>Matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio (paralelo a la fibra de cabuya)</b>											
<b>Fecha:</b>	15-dic-17	<b>Ciudad:</b>	Ambato								
<b>Tipo de ensayo:</b>	Factor de delaminación (Fd)	<b>Provincia:</b>	Tungurahua								
<b>Laboratorio:</b>	Carrera de Ingeniería Mecánica	<b>Realizado por:</b>	Patricio Vásquez								
<b>Maquina:</b>	Microscopio de barrido SEM	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes								
<b>Matriz:</b>	Resina poliéster	<b>Frac. volumétrica:</b>	70%								
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de vidrio	<b>Frac. volumétrica:</b>	25%								
	Fibra de cabuya	<b>Frac. volumétrica:</b>	5%								
<b>Conf. de las fibras:</b>	Tejido plano	<b>Número de capas:</b>	6								
<b>Orientación FC:</b>	0°	<b>Núm. de mediciones:</b>	32								
<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Presión:</b>	-18 inHg.								
<b>Dimensiones:</b>	400x250x6 mm	<b>Herramental:</b>	HSS-HSC								
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO</b>											
N°	CÓDIGO	M1	M2	M3	M4	I1	I2	I3	I4	F.Pr	Desv.
1	SF-CFCV1,1-48/0,1/HSS	6,80	7,10	6,43	6,86	1,133	1,183	1,072	1,143	1,133	0,05
2	SF-CFCV1,1-48/0,15/HSS	6,70	6,81	6,37	6,58	1,117	1,135	1,062	1,097	1,103	0,03
3	SF-CFCV1,1-60/0,1/HSS	6,49	6,53	6,32	6,39	1,082	1,088	1,053	1,065	1,072	0,02
4	SF-CFCV1,1-60/0,15/HSS	6,67	7,17	6,98	6,89	1,112	1,195	1,163	1,148	1,155	0,03
5	SF-CFCV1,1-48/0,1/HSC	6,47	6,32	6,29	6,20	1,078	1,053	1,048	1,033	1,053	0,02
6	SF-CFCV1,1-48/0,15/HSC	6,48	6,94	6,33	6,27	1,080	1,157	1,055	1,045	1,084	0,05
7	SF-CFCV1,1-60/0,1/HSC	6,05	6,09	6,07	6,04	1,008	1,015	1,012	1,007	1,010	0,00
8	SF-CFCV1,1-60/0,15/HSC	6,68	6,17	6,93	6,51	1,113	1,028	1,155	1,085	1,095	0,05

## FOTOGRAFÍAS DE MEDICIÓN DE LA DELAMINACIÓN



SEM HV: 30.0 kV WD: 24.73 mm VEGA3 TESCAN  
View field: 22.8 mm Det: SE 5 mm Laboratorio Materiales UTA

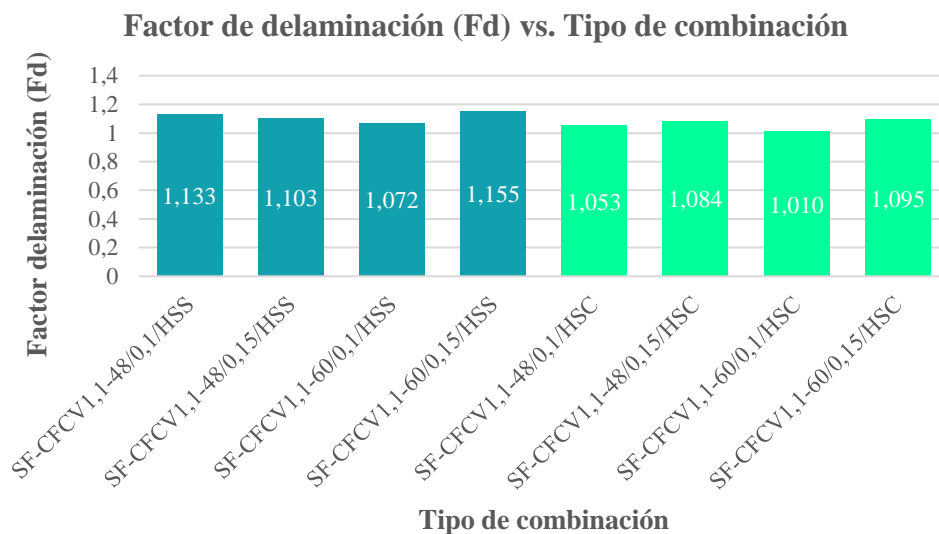
Medición de delaminación de SF-CFCV1,1-60/0,15/HSS



SEM HV: 10.0 kV WD: 27.59 mm VEGA3 TESCAN  
View field: 25.2 mm Det: SE 5 mm Laboratorio Materiales UTA

Medición de delaminación de SF-CFCV1,1-60/0,1/HSC

## GRÁFICAS DEL FACTOR DE DELAMINACIÓN VERSUS EL TIPO DE COMBINACIÓN



### Observaciones:

En el proceso de ranurado paralelo a la fibra de cabuya con herramienta HSS, se obtiene un factor de delaminación promedio mínima de 1,072 con los siguientes parámetros: velocidad de corte 60m/min y avance 0,1 mm/rev.

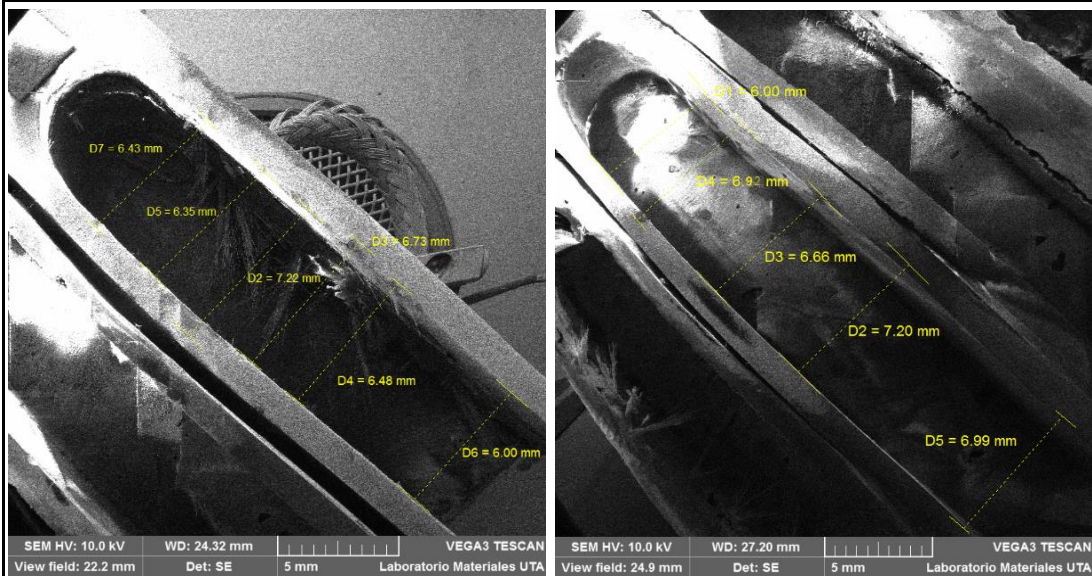
En el proceso de ranurado paralelo a la fibra de cabuya con herramienta HSC, se obtiene un factor de delaminación promedio mínima de 1,010 con los siguientes parámetros: velocidad de corte 60m/min y avance 0,1 mm/rev.

Fuente: Autor

**Ficha técnica núm. 7** Recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio (perpendicular a la fibra).

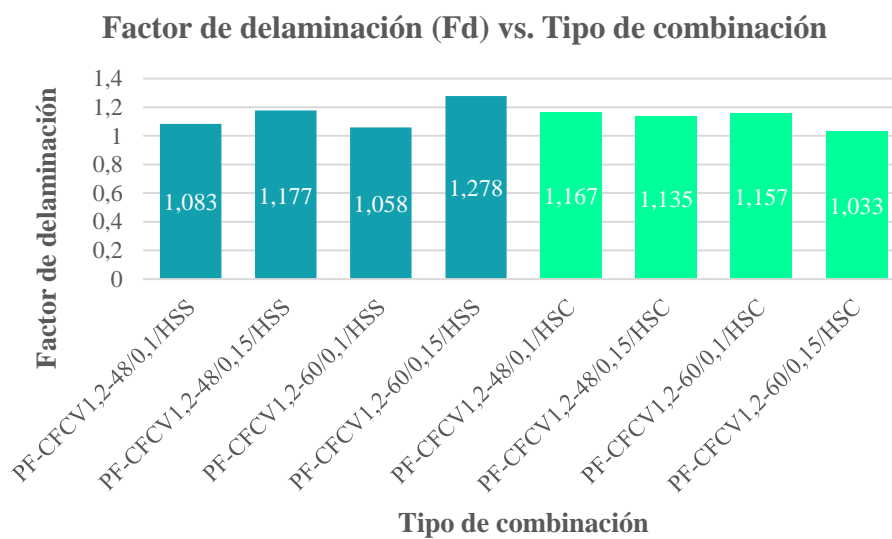
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y</b> <b>MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA</b> <b>MECÁNICA</b>									
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DEL FACTOR DE DELAMINACIÓN (Fd) DEL HÍBRIDO COMPUESTO</b> <b>Matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio (perpendicular a la fibra de cabuya)</b>											
<b>Fecha:</b>	15-dic-17			<b>Ciudad:</b>	Ambato						
<b>Tipo de ensayo:</b>	Factor de delaminación (Fd)			<b>Provincia:</b>	Tungurahua						
<b>Laboratorio:</b>	Carrera de Ingeniería Mecánica			<b>Realizado por:</b>	Patricio Vásquez						
<b>Maquina:</b>	Microscopio de barrido SEM			<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes						
<b>Matriz:</b>	Resina poliéster			<b>Frac. volumétrica:</b>	70%						
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de vidrio			<b>Frac. volumétrica:</b>	25%						
	Fibra de cabuya			<b>Frac. volumétrica:</b>	5%						
<b>Conf. de las fibras:</b>	Tejido plano			<b>Número de capas:</b>	6						
<b>Orientación FC:</b>	0°			<b>Núm. de mediciones:</b>	32						
<b>Estratificación:</b>	Al vacío			<b>Presión:</b>	-18 inHg.						
<b>Dimensiones:</b>	400x250x6 mm			<b>Herramental:</b>	HSS-HSC						
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO</b>											
N°.	CÓDIGO	M1	M2	M3	M4	I1	I2	I3	I4	F.Pr	DES.EST.
1	PF-CFCV1,2-48/0,1/HSS	6,35	6,73	6,48	6,43	1,058	1,122	1,080	1,072	1,083	0,027
2	PF-CFCV1,2-48/0,15/HSS	7,10	7,08	7,10	6,97	1,183	1,180	1,183	1,162	1,177	0,010
3	PF-CFCV1,2-60/0,1/HSS	6,35	6,43	6,32	6,30	1,058	1,072	1,053	1,050	1,058	0,010
4	PF-CFCV1,2-60/0,15/HSS	8,05	8,15	8,11	6,37	1,342	1,358	1,352	1,062	1,278	0,145
5	PF-CFCV1,2-48/0,1/HSC	7,19	6,94	6,87	7,00	1,198	1,157	1,145	1,167	1,167	0,023
6	PF-CFCV1,2-48/0,15/HSC	6,89	6,75	6,58	7,03	1,148	1,125	1,097	1,172	1,135	0,032
7	PF-CFCV1,2-60/0,1/HSC	7,20	6,66	6,92	6,99	1,200	1,110	1,153	1,165	1,157	0,037
8	PF-CFCV1,2-60/0,15/HSC	6,22	6,23	6,18	6,15	1,037	1,038	1,030	1,025	1,033	0,006

## FOTOGRAFÍAS DE MEDICIÓN DE LA DELAMINACIÓN



Medición de delaminación de PF-CFCV1,2-48/0,1/HSS Medición de delaminación de PF-CFCV1,2-60/0,1/HSC

## GRÁFICAS DEL FACTOR DE DELAMINACIÓN VERSUS EL TIPO DE COMBINACIÓN



### Observaciones:

En el proceso de ranurado perpendicular a la fibra de cabuya con herramienta HSS, se obtiene un factor de delaminación promedio mínima de 1,058 con los siguientes parámetros: velocidad de corte 60m/min y avance 0,1 mm/rev.

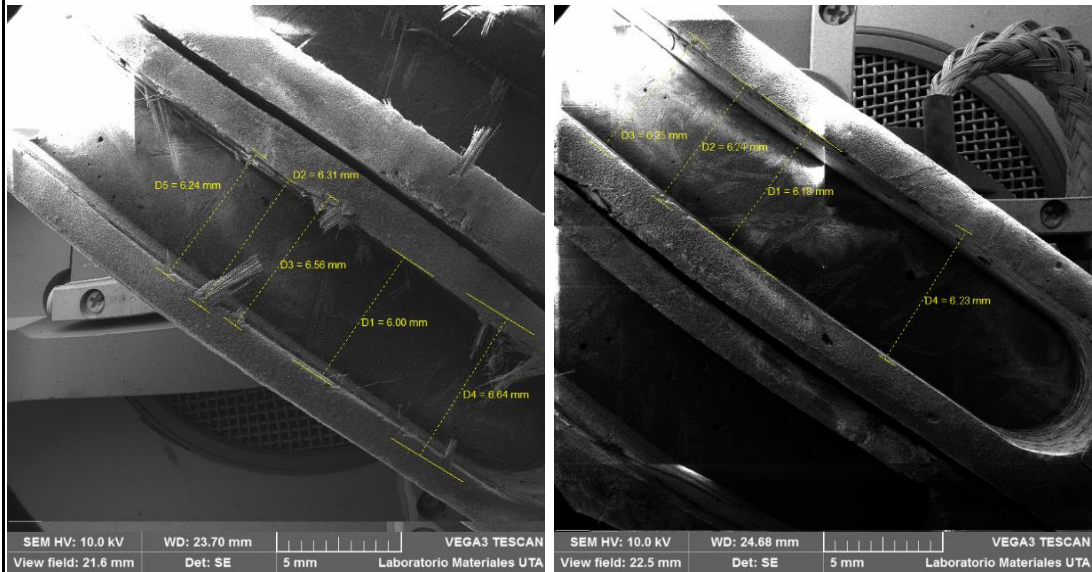
En el proceso de ranurado perpendicular a la fibra de cabuya con herramienta HSC, se obtiene la delaminación promedio mínima de 1,033 con los siguientes parámetros: velocidad de corte 60m/min y avance 0,15 mm/rev.

Fuente: Autor

**Ficha técnica núm. 8** Recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio (paralelo a la fibra).

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y</b> <b>MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA</b> <b>MECÁNICA</b>									
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DEL FACTOR DE DELAMINACIÓN (Fd) DEL HÍBRIDO COMPUESTO</b> <b>Matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio (paralelo a la fibra de abacá)</b>											
<b>Fecha:</b>	15-dic-17			<b>Ciudad:</b>	Ambato						
<b>Tipo de ensayo:</b>	Factor de delaminación (Fd)			<b>Provincia:</b>	Tungurahua						
<b>Laboratorio:</b>	Carrera de Ingeniería Mecánica			<b>Realizado por:</b>	Patricio Vásquez						
<b>Maquina:</b>	Microscopio de barrido SEM			<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes						
<b>Matriz:</b>	Resina poliéster			<b>Frac. volumétrica:</b>	70%						
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de vidrio			<b>Frac. volumétrica:</b>	25%						
	Fibra de abacá			<b>Frac. volumétrica:</b>	5%						
<b>Conf. de las fibras:</b>	Tejido plano			<b>Número de capas:</b>	6						
<b>Orientación FC:</b>	0°			<b>Núm. de mediciones:</b>	32						
<b>Estratificación:</b>	Al vacío			<b>Presión:</b>	-18 inHg.						
<b>Dimensiones:</b>	400x250x6 mm			<b>Herramental:</b>	HSS-HSC						
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO</b>											
N°.	CÓDIGO	M1	M2	M3	M4	I1	I2	I3	I4	F. Pr	DES.EST.
1	SF-CFAV1,1-48/0,1/HSS	6,31	6,56	6,64	6,34	1,052	1,093	1,107	1,057	1,077	0,027
2	SF-CFAV1,1-48/0,15/HSS	7,33	7,05	6,94	7,11	1,222	1,175	1,157	1,185	1,185	0,027
3	SF-CFAV1,1-60/0,1/HSS	7,05	7,10	7,33	6,99	1,175	1,183	1,222	1,165	1,186	0,025
4	SF-CFAV1,1-60/0,15/HSS	7,61	7,66	7,63	7,57	1,268	1,277	1,272	1,262	1,270	0,006
5	SF-CFAV1,1-48/0,1/HSC	7,57	6,52	6,49	6,51	1,262	1,087	1,082	1,085	1,129	0,089
6	SF-CFAV1,1-48/0,15/HSC	6,35	6,27	6,27	6,25	1,058	1,045	1,045	1,042	1,048	0,007
7	SF-CFAV1,1-60/0,1/HSC	6,18	6,24	6,23	6,25	1,030	1,040	1,038	1,042	1,038	0,005
8	SF-CFAV1,1-60/0,15/HSC	6,20	6,19	6,30	6,23	1,033	1,032	1,050	1,038	1,038	0,008

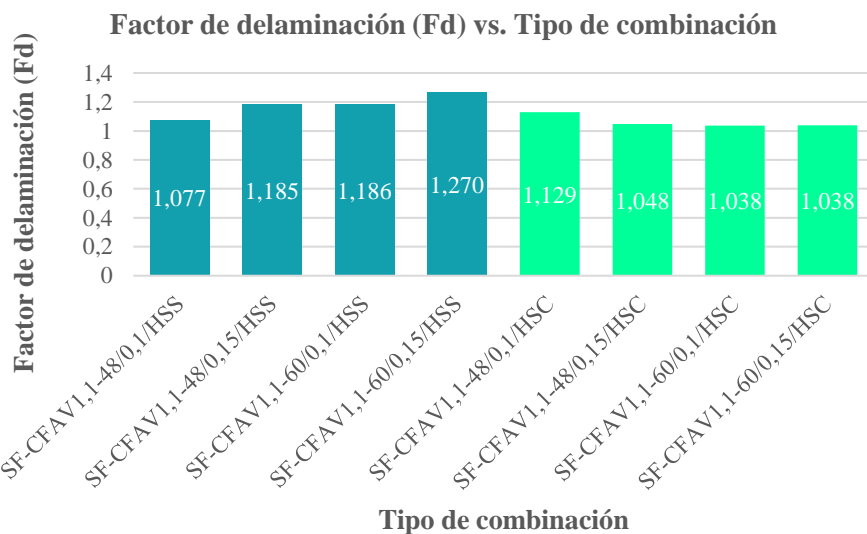
## FOTOGRAFÍAS DE MEDICIÓN DE LA DELAMINACIÓN



Medición de delaminación de SF-CFAV1,1-48/0,1/HSS

Medición de delaminación de SF-CFAV1,1-60/0,1/HSC

## GRÁFICAS DEL FACTOR DE DELAMINACIÓN VERSUS EL TIPO DE COMBINACIÓN



### Observaciones:



En el proceso de ranurado paralelo a la fibra de abacá con herramienta HSS, se obtiene un factor de delaminación promedio mínima de 1,077 con los siguientes parámetros: velocidad de corte 48m/min y avance 0,1 mm/rev.

En el proceso de ranurado paralelo a la fibra de abacá con herramienta HSC, se obtiene un factor de delaminación promedio mínima de 1,038 con los siguientes parámetros: velocidad de corte 60m/min y avance 0,1 - 0,15 mm/rev.

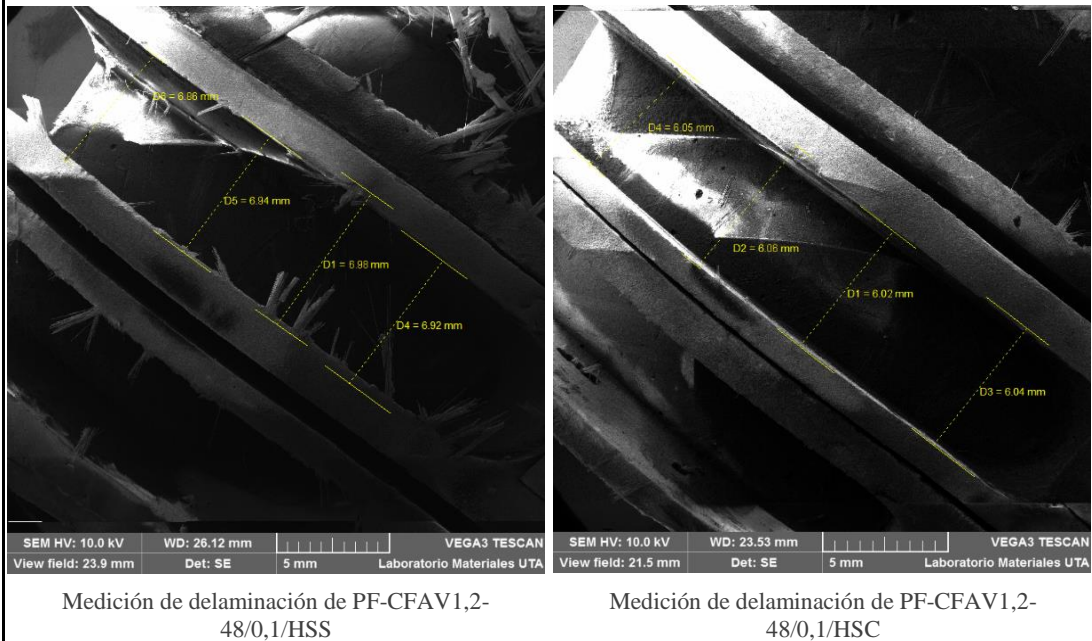
Fuente: Autor



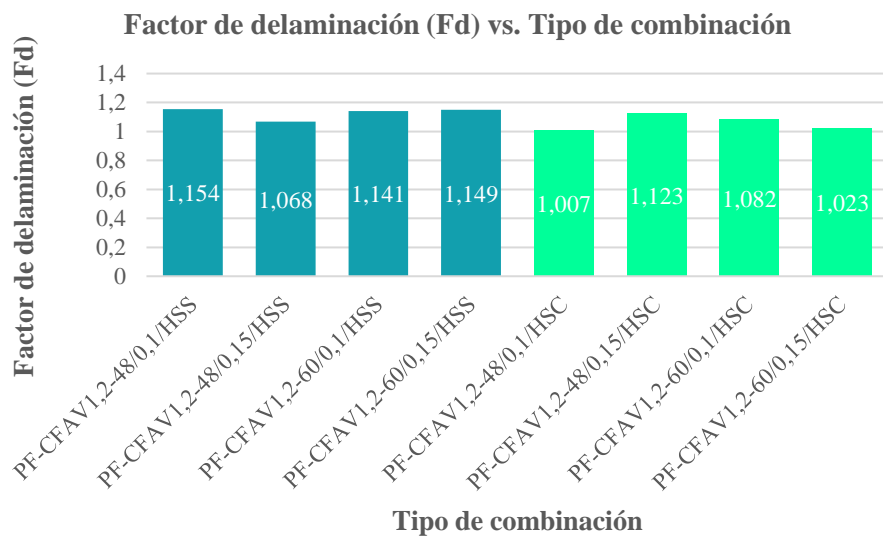
**Ficha técnica núm. 9** Recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio (perpendicular a la fibra).

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y</b> <b>MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA</b> <b>MECÁNICA</b>									
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DEL FACTOR DE DELAMINACIÓN (Fd) DEL HÍBRIDO COMPUESTO</b> <b>Matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio (perpendicular a la fibra de abacá)</b>											
<b>Fecha:</b>	15-dic-17			<b>Ciudad:</b>	Ambato						
<b>Tipo de ensayo:</b>	Factor de delaminación (Fd)			<b>Provincia:</b>	Tungurahua						
<b>Laboratorio:</b>	Carrera de Ingeniería Mecánica			<b>Realizado por:</b>	Patricio Vásquez						
<b>Maquina:</b>	Microscopio de barrido SEM			<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes						
<b>Matriz:</b>	Resina poliéster			<b>Fracción volumétrica:</b>	70%						
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de vidrio			<b>Fracción volumétrica:</b>	25%						
	Fibra de abacá			<b>Fracción volumétrica:</b>	5%						
<b>Conf. de las fibras:</b>	Tejido plano			<b>Número de capas:</b>	6						
<b>Orientación FC:</b>	0°			<b>Núm. de mediciones:</b>	32						
<b>Estratificación:</b>	Al vacío			<b>Presión:</b>	-18 inHg.						
<b>Dimensiones:</b>	400x250x6 mm			<b>Herramental:</b>	HSS-HSC						
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO</b>											
N°.	CÓDIGO	M1	M2	M3	M4	I1	I2	I3	I4	F. Pr.	DES.EST.
1	PF-CFAV1,2-48/0,1/HSS	6,94	6,98	6,92	6,86	1,157	1,163	1,153	1,143	1,154	0,008
2	PF-CFAV1,2-48/0,15/HSS	6,30	6,40	6,45	6,48	1,050	1,067	1,075	1,080	1,068	0,013
3	PF-CFAV1,2-60/0,1/HSS	7,03	6,86	6,90	6,60	1,172	1,143	1,150	1,100	1,141	0,030
4	PF-CFAV1,2-60/0,15/HSS	7,06	6,72	6,86	6,94	1,177	1,120	1,143	1,157	1,149	0,024
5	PF-CFAV1,2-48/0,1/HSC	6,02	6,06	6,04	6,05	1,003	1,010	1,007	1,008	1,007	0,003
6	PF-CFAV1,2-48/0,15/HSC	6,70	6,82	6,73	6,71	1,117	1,137	1,122	1,118	1,123	0,009
7	PF-CFAV1,2-60/0,1/HSC	6,40	6,62	6,49	6,46	1,067	1,103	1,082	1,077	1,082	0,015
8	PF-CFAV1,2-60/0,15/HSC	6,18	6,14	6,12	6,11	1,030	1,023	1,020	1,018	1,023	0,005

## FOTOGRAFÍAS DE MEDICIÓN DE LA DELAMINACIÓN



## GRÁFICAS DEL FACTOR DE DELAMINACIÓN VERSUS EL TIPO DE COMBINACIÓN



### Observaciones:

En el proceso de ranurado perpendicular a la fibra de abacá con herramienta HSS, se obtiene un factor de delaminación promedio mínima de 1,068 con los siguientes parámetros: velocidad de corte 48m/min y avance 0,15 mm/rev.

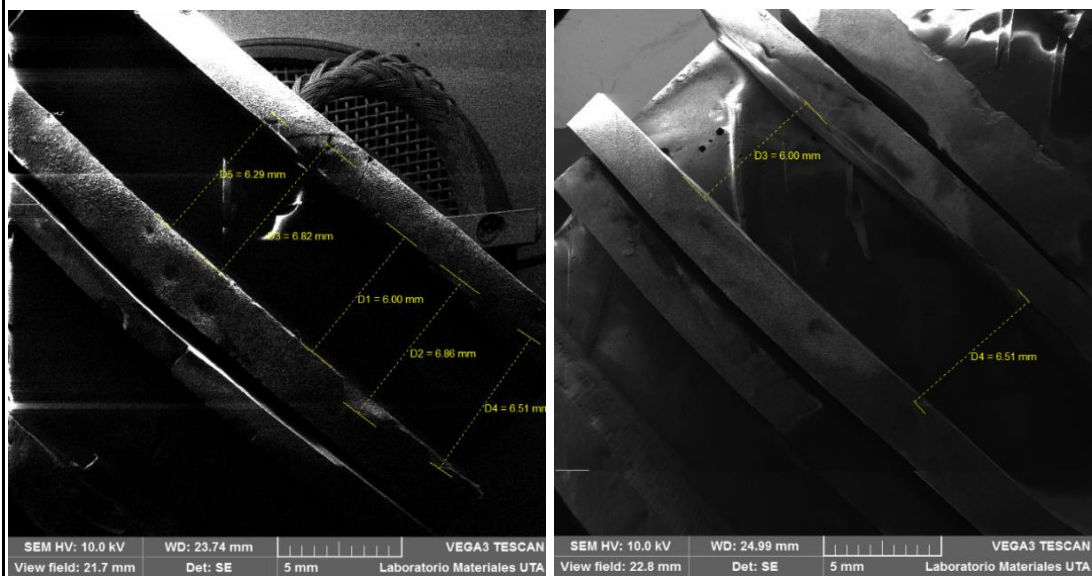
En el proceso de ranurado perpendicular a la fibra de abacá con herramienta HSC, se obtiene un factor de delaminación promedio mínima de 1,007 con los siguientes parámetros: velocidad de corte 48m/min y avance 0,1 mm/rev.

**Fuente:** Autor

**Ficha técnica núm. 10** Recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd) del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>										
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DEL FACTOR DE DELAMINACIÓN (Fd) DEL COMPUESTO</b> <b>Matriz poliéster reforzado con fibra de coco</b>											
<b>Fecha:</b>	15-dic-17	<b>Ciudad:</b>	Ambato								
<b>Tipo de ensayo:</b>	Factor de delaminación (Fd)	<b>Provincia:</b>	Tungurahua								
<b>Laboratorio:</b>	Carrera de Ingeniería Mecánica	<b>Realizado por:</b>	Patricio Vásquez								
<b>Maquina:</b>	Microscopio de barrido SEM	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes								
<b>Matriz:</b>	Resina poliéster	<b>Frac. volumétrica:</b>	70%								
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de coco	<b>Frac. volumétrica:</b>	30%								
	-	<b>Frac. volumétrica:</b>	-								
<b>Conf. de las fibras:</b>	0,5 – 1cmm	<b>Número de capas:</b>	1								
<b>Orientación FC:</b>	Al azar	<b>Núm. de mediciones:</b>	32								
<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Presión:</b>	-18 inHg.								
<b>Dimensiones:</b>	400x250x6 mm	<b>Herramental:</b>	HSS-HSC								
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO</b>											
N°.	CÓDIGO	M1	M2	M3	M4	I1	I2	I3	I4	F. Pr.	DES.EST.
1	CFCo1,1-48/0,1/HSS	6,770	6,780	7,680	6,590	1,128	1,130	1,280	1,098	1,159	0,082
2	CFCo1,1-48/0,15/HSS	6,860	6,820	6,510	6,290	1,143	1,137	1,085	1,048	1,103	0,045
3	CFCo1,1-60/0,1/HSS	7,070	6,140	6,420	6,000	1,178	1,023	1,070	1,000	1,068	0,079
4	CFCo1,1-60/0,15/HSS	8,200	7,580	6,780	7,460	1,367	1,263	1,130	1,243	1,251	0,097
5	CFCo1,1-48/0,1/HSC	6,920	6,090	6,000	6,000	1,153	1,015	1,000	1,000	1,042	0,075
6	CFCo1,1-48/0,15/HSC	6,300	6,000	6,000	6,000	1,050	1,000	1,000	1,000	1,013	0,025
7	CFCo1,1-60/0,1/HSC	6,510	6,000	6,000	6,000	1,085	1,000	1,000	1,000	1,021	0,043
8	CFCo1,1-60/0,15/HSC	6,250	6,000	6,000	6,000	1,042	1,000	1,000	1,000	1,010	0,021

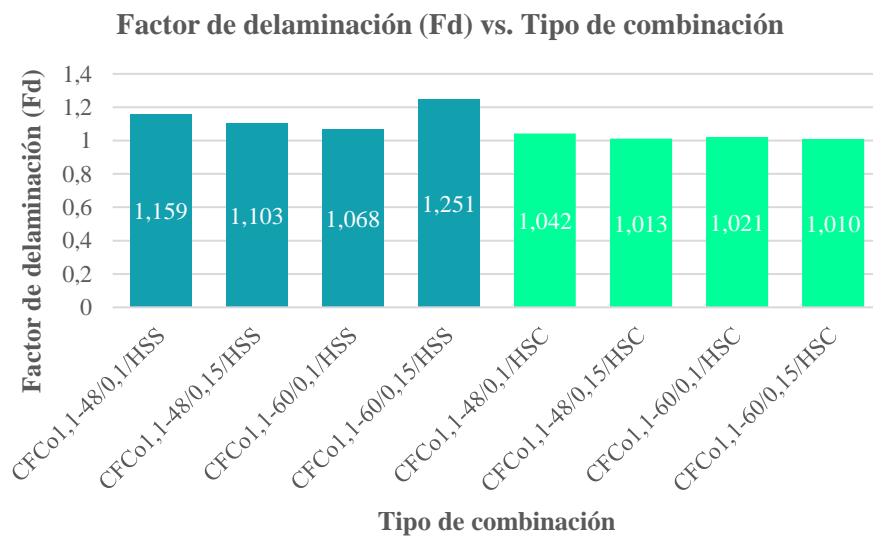
## FOTOGRAFÍAS DE MEDICIÓN DE LA DELAMINACIÓN



Medición de delaminación de CFCo1,1-48/0,15/HSS

Medición de delaminación de CFAV1,1-60/0,1/HSC

## GRÁFICAS DEL FACTOR DE DELAMINACIÓN VERSUS EL TIPO DE COMBINACIÓN



### Observaciones:

En el proceso de ranurado del compuesto reforzado con fibra de coco con herramienta HSS, se obtiene un factor de delaminación promedio mínima de 1,068 con los siguientes parámetros: velocidad de corte 60m/min y avance 0,1 mm/rev.

En el proceso de ranurado del compuesto reforzado con fibra de coco con herramienta HSC se obtiene un factor de delaminación promedio mínima de 1,011 con los siguientes parámetros: velocidad de corte 60m/min y avance 0,15mm/rev.

Fuente: Autor

## 4.2 Análisis de Resultados

Para analizar los resultados obtenidos de los ensayos de rugosidad superficial (Ra) y factor de delaminación (Fd) se resuelve con el aporte del software Minitab 18. El desarrollo para generar el análisis de resultados se utiliza un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de confianza del 95% para cada análisis [31], [32]. A continuación, se especifica el orden de cada análisis de resultado por ensayo.

1. El procedimiento para el análisis de resultados es realizar la prueba de normalidad, esta prueba generará una gráfica de probabilidad normal, puesto que, los datos de muestra (rugosidad superficial (Ra) y factor de delaminación (Fd)) deben de aprobar la hipótesis  $H_o$ . Este procedimiento se utiliza para poner a prueba el supuesto de normalidad donde se demuestran las hipótesis:

$H_o =$  los datos siguen una distribución normal o valor  $- p > 0,05$

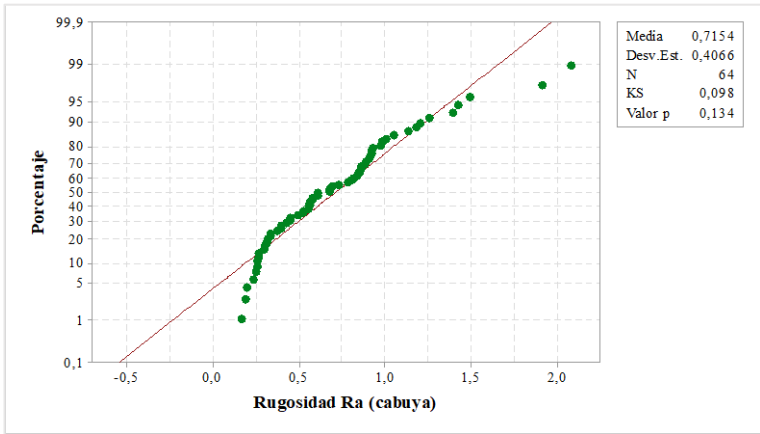
$H_A =$  los datos no siguen una distribución normal o valor  $- p < 0,05$

Las gráficas de normalidad son evaluadas de acuerdo a dos modelos estadísticos:

- Kolmogorov Smirnov: el tamaño de la muestra debe de ser mayor a 50.
  - Shapiro Wilk: el tamaño de la muestra debe de ser menor a 50.
2. Generar la matriz de diseño y analizar el diseño factorial (ver anexo 17-22), donde se estudia gráficamente el efecto individual y la interacción que existe entre los factores que gobiernan este experimento (*velocidad de corte, velocidad de avance, herramienta y orientación*) sobre las respuestas obtenidas. Cabe recalcar que para el compuesto reforzado con fibra de coco se estudia los factores (*velocidad de corte, velocidad de avance y herramienta*) ya que la configuración del refuerzo no amerita.
  3. El análisis de resultados requiere una interpretación precisa de todos los datos obtenidos, por consiguiente, se ha de generar la interpretación de datos resumidos y valorando la combinación óptima para generar una rugosidad superficial (Ra) y el factor de delaminación (Fd) mínima.

#### 4.2.1 Análisis de rugosidad superficial (Ra) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio.

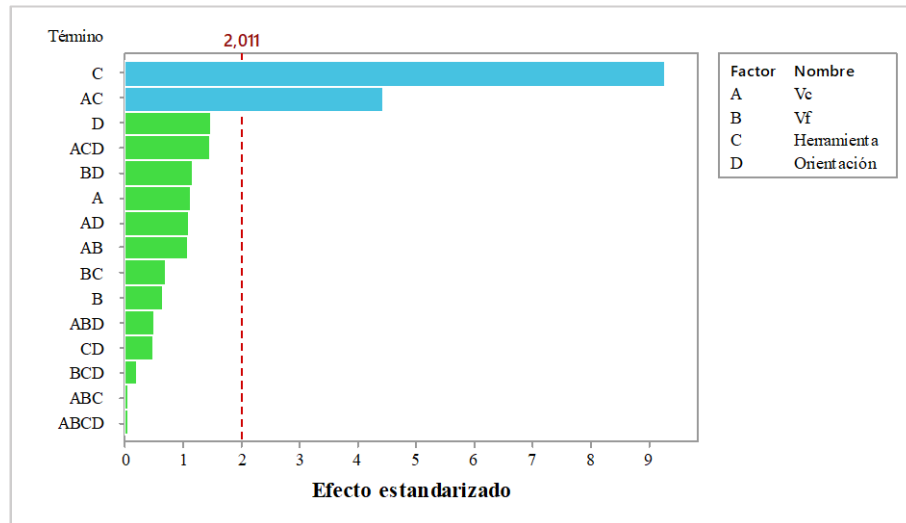
##### Prueba de normalidad de los datos de rugosidad superficial (Ra)

<b>Hipótesis:</b>	
$H_0$ = Los datos de rugosidad superficial (Ra) tienen distribución normal	
$H_A$ = Los datos de rugosidad superficial (Ra) no tienen distribución normal	
<b>Nivel de significancia:</b>	<b>Número de muestras:</b>
$\alpha = 0,05$	64
	
<p><b>Figura 26</b> Gráfica de probabilidad normal – rugosidad superficial (Ra), fibra de cabuya.  <b>Fuente:</b> Minitab® Statistical Software</p>	
<b>Estadístico de prueba:</b>	
Kolmogorov Smirnov (KS) = 0,098	
Valor – p = 0,134	
<b>Decisión:</b> No se rechaza la hipótesis nula	
<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que las muestras de rugosidad superficial (Ra) sí tienen distribución normal.	

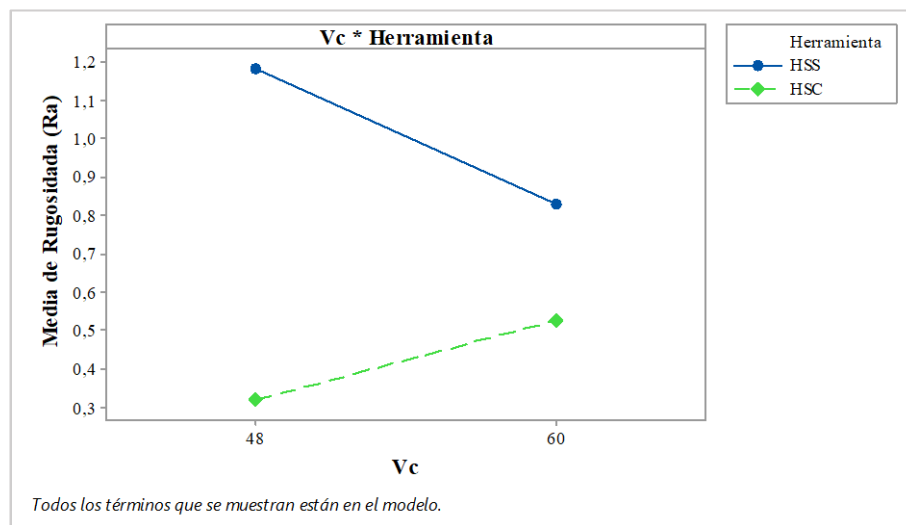
##### Resultados del análisis del diseño factorial de la rugosidad superficial (Ra)

En la figura 26 se representa el diagrama de Pareto de los efectos, esta ilustración detalla que el factor C, correspondiente al herramienta utilizado representa un factor altamente significativo al momento de generar una rugosidad superficial Ra, de la

misma manera se detalla que la interacción de los factores AC, corresponden a la velocidad de corte y herramental son significativamente notables por debajo del herramental.



**Figura 27** Diagrama de Pareto de los efectos - rugosidad superficial (Ra), fibra de cabuya.  
**Fuente:** Minitab® Statistical Software



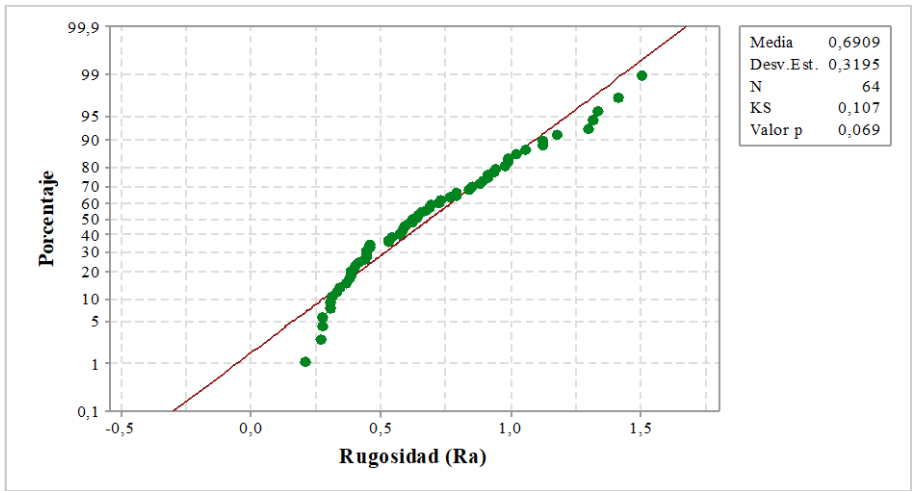
**Figura 28** Gráfica de interacción para Rugosidad (Ra), fibra de cabuya.  
**Fuente:** Minitab® Statistical Software

Una vez teniendo la gráfica de interacción de los factores que representan significancia en función de la rugosidad (Ra), se especifica únicamente la interacción que tiene la herramienta - velocidad de corte en función de la rugosidad superficial (Ra).

- Si se trabaja con una  $V_c$  de 60 m/min y una herramienta HSS se obtendrá una rugosidad superficial (Ra) media de 0,8318  $\mu\text{m}$ .
- Si se trabaja con una  $V_c$  de 48 m/min y una herramienta HSC se obtendrá una rugosidad superficial (Ra) media de 0,3198  $\mu\text{m}$ .

#### 4.2.2 Análisis de la rugosidad superficial (Ra) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio

##### Prueba de normalidad de los datos de rugosidad superficial (Ra)

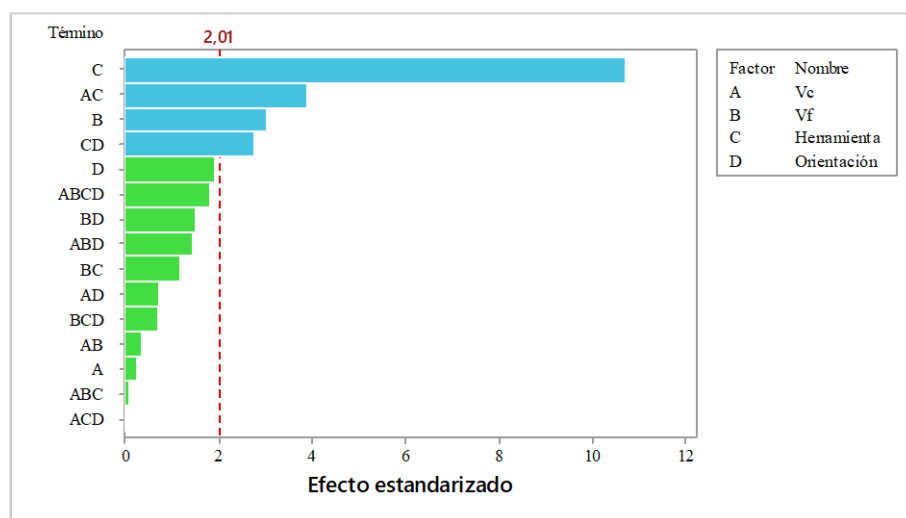
<b>Hipótesis:</b>	
$H_0$ = Los datos de rugosidad superficial (Ra) tienen distribución normal	
$H_A$ = Los datos de rugosidad superficial (Ra) no tienen distribución normal	
<b>Nivel de significancia:</b>	<b>Número de muestras:</b>
$\alpha = 0,05$	64
	
<p><b>Figura 29</b> Gráfica de probabilidad normal – rugosidad superficial (Ra), fibra de abacá.  <b>Fuente:</b> Minitab® Statistical Software</p>	
<b>Estadístico de prueba:</b>	
Kolmogorov Smirnov (KS) = 0,107	
Valor – p = 0,069	
<b>Decisión:</b> No se rechaza la hipótesis nula	
<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que las muestras de	



rugosidad superficial (Ra) tienen distribución normal.

### Resultados del análisis del diseño factorial de la rugosidad superficial (Ra)

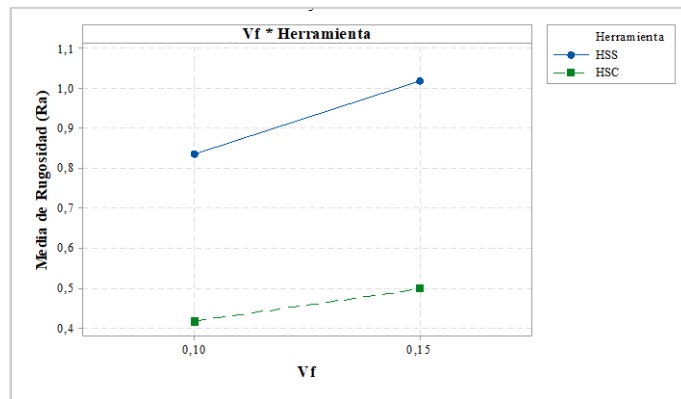
El factor C (herramienta) y B (velocidad de avance) y los factores dobles que interaccionan AD Y AC representa gran significancia de acuerdo al diagrama de Pareto de los efectos estandarizados a diferencia de los demás factores A y D son considerados no influyentes significativamente para generar una rugosidad superficial (Ra) por encima de la media en un proceso de ranurado.



**Figura 30** Diagrama de Pareto de los efectos rugosidad superficial (Ra), fibra de abacá.  
**Fuente:** Minitab® Statistical Software

Entonces, partiendo de los resultados sintetizados en el diagrama de Pareto de los efectos se genera la gráfica de interacción, dichos resultados que se encuentra en función de la rugosidad superficial (Ra); se prosigue con la interpretación basada en datos reales que se muestra en la gráfica 31.

- Si se trabaja con una  $V_f$  de 0,10 mm/rev y una herramienta HSS, se obtendrá una rugosidad superficial (Ra) media de 0,8334  $\mu\text{m}$ .
- Si se trabaja con una  $V_f$  de 0,10 m/rev y una herramienta HSC, se obtendrá una rugosidad superficial (Ra) media de 0,4156  $\mu\text{m}$ .



**Figura 31** Gráfica de interacción para la rugosidad (Ra), fibra de abacá.  
**Fuente:** Minitab® Statistical Software

### 4.2.3 Análisis de la rugosidad superficial (Ra) del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco

#### Prueba de normalidad de los datos de rugosidad superficial (Ra)

<b>Hipótesis:</b>	
$H_0$ = Los datos de rugosidad superficial (Ra) tienen distribución normal	
$H_A$ = Los datos de rugosidad superficial (Ra) no tienen distribución normal	
<b>Nivel de significancia:</b>	<b>Número de muestras:</b>
$\alpha = 0,05$	32
<b>Figura 4. 1</b> Gráfica de probabilidad normal – rugosidad superficial (Ra), fibra de coco. <b>Fuente:</b> Minitab® Statistical Software	
<b>Estadístico de prueba:</b>	

Shapiro - Wilk (RJ) = 0,967

Valor - p = 0,061

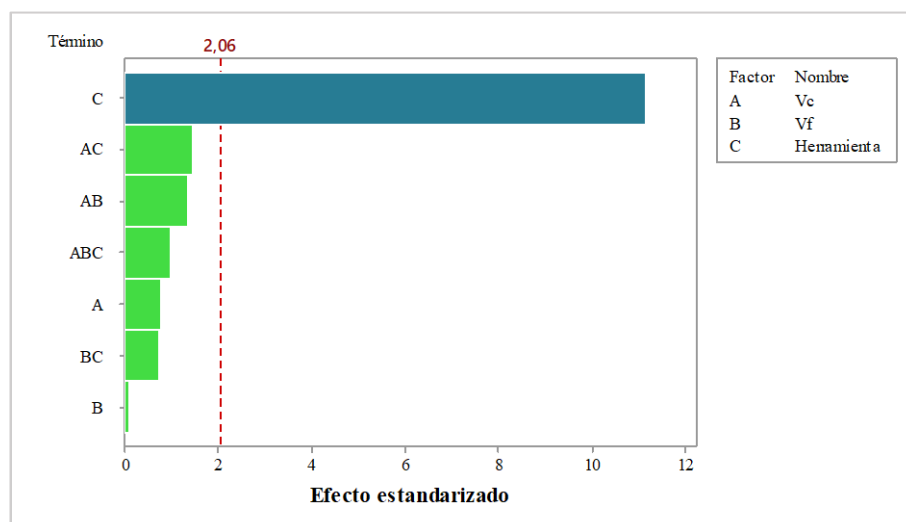
**Decisión:** No se rechaza la hipótesis nula

**Conclusión:** Con una significancia del 5%, se concluye que las muestras de rugosidad superficial tienen distribución normal.

### Resultados del análisis del diseño factorial de la rugosidad superficial (Ra)

Para la solución a los datos del ensayo del compuesto reforzado con fibra de coco se ha resuelto mediante el diseño factorial  $2^3$ , debido a que la configuración está representada por fibras de 0,5 -1cm que se encuentran dispersas uniformemente, por lo que, se ha llegado a conclusión de obviar la orientación (paralelo y perpendicular) conservando así los factores  $V_c$ ,  $V_f$  y herramienta.

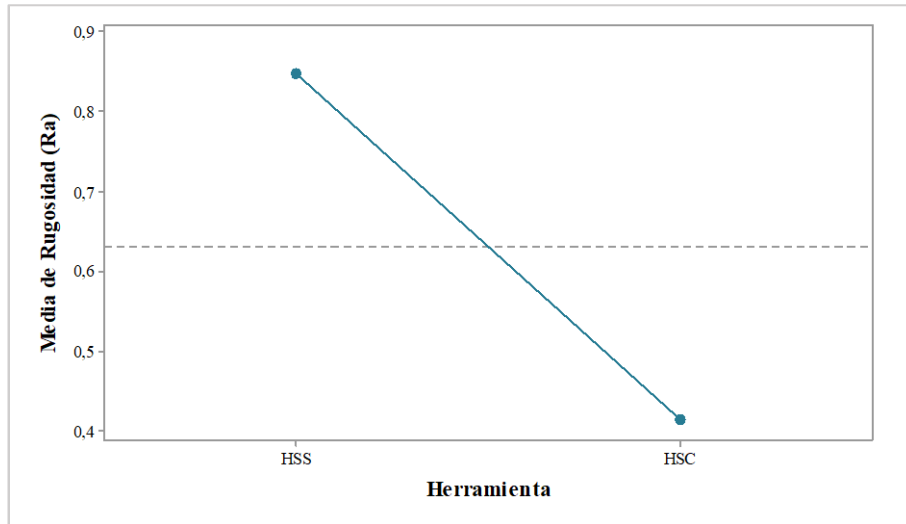
En la figura 32, el diagrama de Pareto revela que los factores: A (velocidad de corte), B (velocidad de avance) no son representativos para generar una rugosidad superficial (Ra) aceptable. Sin embargo, se considera que la herramienta (HSS o HSC) es significativo o son determinantes al momento de generar una rugosidad superficial mínima en el proceso de ranurado



**Figura 32** Diagrama de Pareto de los efectos - rugosidad superficial (Ra), fibra de coco.

**Fuente:** Minitab® Statistical Software

Se detalla además el diagrama de efectos principales (ver figura 33), esta gráfica se encuentra en función de la rugosidad superficial (Ra) y detalla lo siguiente:



**Figura 33** Gráfica de los efectos principales para Rugosidad (Ra), fibra de coco.

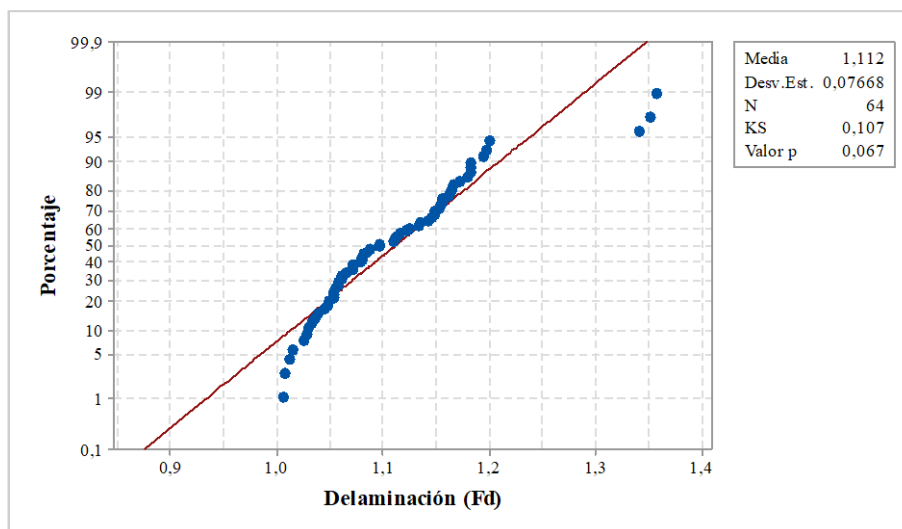
**Fuente:** Minitab® Statistical Software

- Si se trabaja con una herramienta HSS se obtendrá una rugosidad superficial (Ra) media de 0,843  $\mu\text{m}$ .
- Si se trabaja con una herramienta HSC se obtendrá una rugosidad superficial (Ra) media de 0,4138  $\mu\text{m}$ .

#### 4.2.4 Análisis del factor de delaminación (Fd) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio

##### Prueba de normalidad de los datos del factor de delaminación (Fd)

<b>Hipótesis:</b>	
$H_0$ = Los datos del factor de delaminación (Fd) tienen distribución normal	
$H_A$ = Los datos de del factor de delaminación (Fd) no tienen distribución normal	
<b>Nivel de significancia:</b>	<b>Número de muestras:</b>
$\alpha = 0,05$	64



**Figura 34** Gráfica de probabilidad normal – factor de delaminación (Fd), fibra de cabuya.  
**Fuente:** Minitab® Statistical Software

**Estadístico de prueba:**

Kolmogorov Smirnov (KS) = 0,107

Valor – p = 0,067

**Decisión:** No se rechaza la hipótesis nula

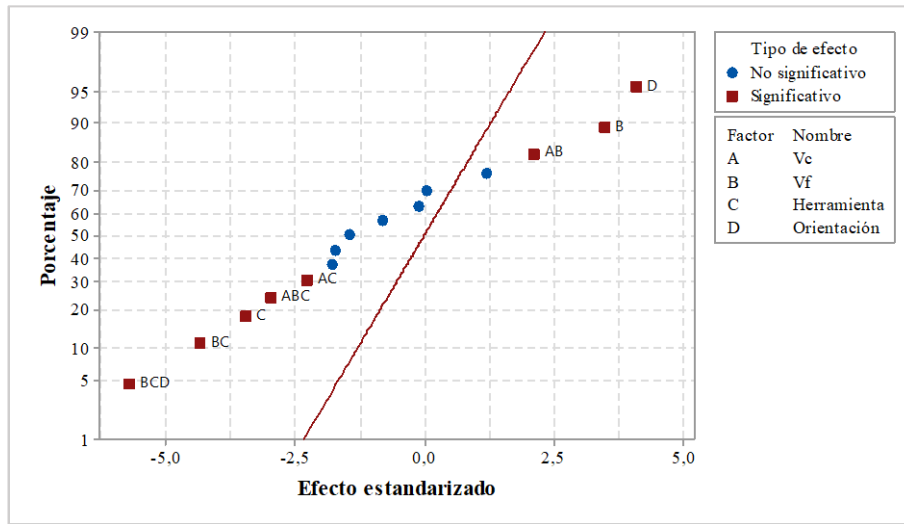
**Conclusión:** Con una significancia del 5%, se concluye que las muestras del factor de delaminación (Fd) tienen distribución normal.

**Resultados para el análisis del diseño factorial entorno al factor de delaminación (Fd)**

Para el análisis de resultados en el proceso de delaminación se ha generado la gráfica de Daniel, esta gráfica es una herramienta muy útil que comprueba la distribución que siguen los datos en función de una variable aleatoria continua (Ra), donde se evalúa los efectos significativos dentro del diseño experimental mediante lo que estadísticamente se denomina Plot de Daniel [33].

Teniendo en consideración los expuesto anteriormente, la figura 35 detalla que los factores ( $V_f$ , herramienta y orientación) representan gran significancia al momento de

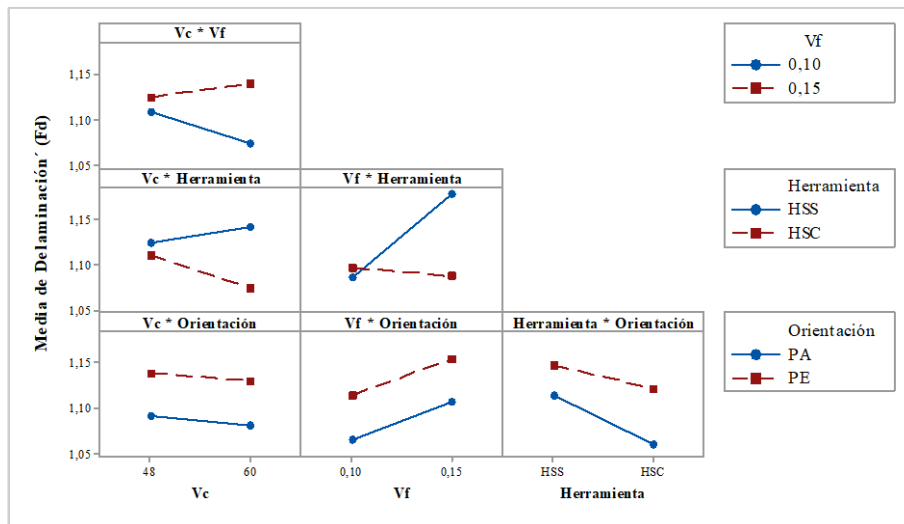
analizar la delaminación a diferencia del factor A ( $V_c$ ) que no representa directamente una significancia en el proceso.



**Figura 35** Gráfica normal de los efectos estandarizados – factor de delaminación (Fd), fibra de cabuya.

**Fuente:** Minitab® Statistical Software

Entonces, se hace un análisis de la figura 36, en esta figura especifica la significancia de la velocidad de corte que tiene al momento de interactuar con los demás factores (A, C y D). Entonces se hace un análisis de las interacciones generadas por el modelo.



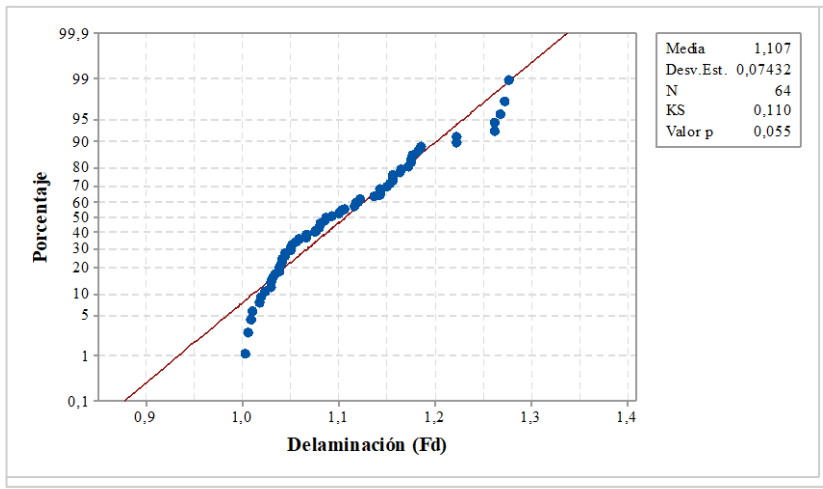
**Figura 36** Gráfica de interacción para delaminación (Fd), fibra de cabuya.

**Fuente:** Minitab® Statistical Software

- Si se trabaja con una  $V_c$  de 60 m/min y paralelo a la fibra se obtendrá un factor de delaminación (Fd) media de 1,083.
- Si se trabaja con una  $V_c$  de 60 m/min y perpendicular a la fibra se obtendrá un factor de delaminación (Fd) media de 1,131.
- Si se trabaja con una  $V_f$  de 0,10 mm/rev y paralelo a la fibra se obtendrá un factor de delaminación (Fd) media de 1,067.
- Si se trabaja con una  $V_f$  de 0,10 mm/rev y perpendicular a la fibra se obtendrá un factor de delaminación (Fd) media de 1,116.
- Si se trabaja con una herramienta HSC y perpendicular a la fibra se obtendrá un factor de delaminación (Fd) media de 1,123.

#### 4.2.5 Análisis del factor de delaminación (Fd) del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio

##### Prueba de normalidad de los datos del factor de delaminación (Fd)

<b>Hipótesis:</b>	
$H_0$ = Los datos del factor de delaminación (Fd) tienen distribución normal	
$H_A$ = Los datos del factor de delaminación (Fd) no tienen distribución normal	
<b>Nivel de significancia:</b>	<b>Número de muestras:</b>
$\alpha = 0,05$	64
	
<p><b>Figura 37</b> Gráfica de probabilidad normal – factor de delaminación (Fd), fibra de abacá.  <b>Fuente:</b> Minitab® Statistical Software</p>	
<b>Estadístico de prueba:</b>	

Kolmogorov Smirnov (KS) = 0,110

Valor – p = 0,055

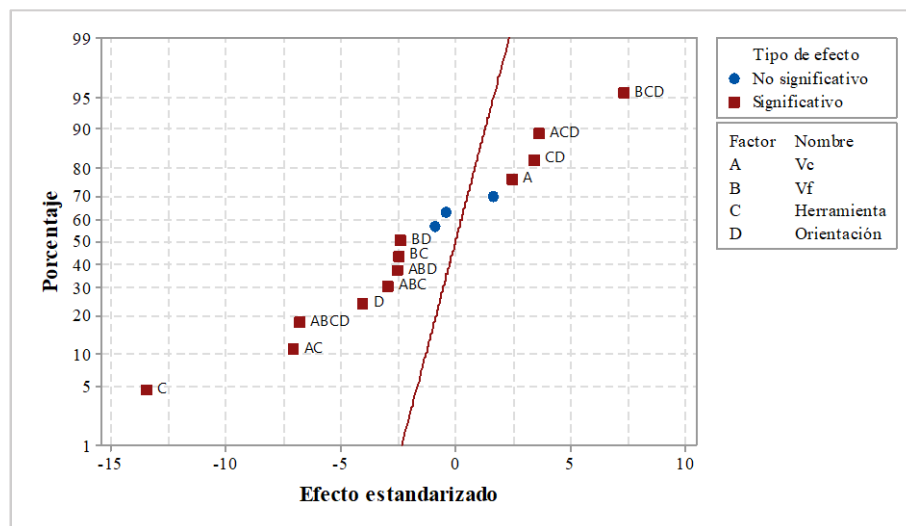
**Decisión:** No se rechaza la hipótesis nula

**Conclusión:** Con una significancia del 5%, se concluye que las muestras del factor de delaminación (Fd) tienen distribución normal.

### Resultados para el análisis del diseño factorial entorno al factor de delaminación (Fd)

La gráfica normal de los efectos estandarizados detalla que los factores A, C y D son significativos y representan gran importancia al momento de generar una ranura y obtener un factor de delaminación (Fd) mínimo. Pero el factor B, la velocidad de avance no resulta tener gran significancia con respecto al resultado obtenido.

Además, existen interacciones de valores que muestran gran significancia como es caso de A y C (velocidad de corte y herramienta), pero el factor de más relevancia destaca en una interacción es el A.



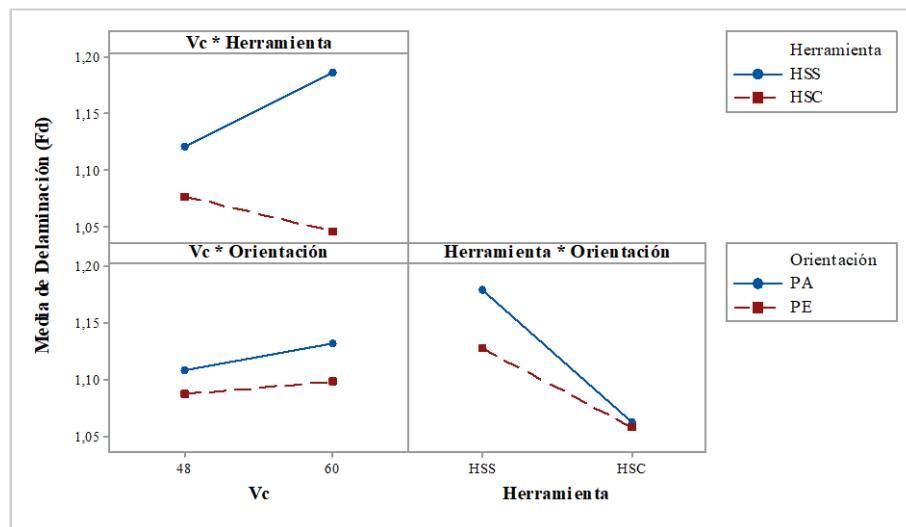
**Figura 38** Gráfica normal de efectos estandarizados – delaminación (Fd), fibra de abacá.

**Fuente:** Minitab® Statistical Software



En la gráfica 38, se describen cada una de las interacciones de los factores A, C y D ( $V_c, V_f$ , herramienta y orientación respectivamente). Por lo que, se ha describir los efectos representativos de cada factor sobre la media del factor de delaminación (Fd).

- Si se trabaja con una  $V_c$  de 48 m/min y HSS, se obtendrá un factor de delaminación (Fd) media de 1,121.
- Si se trabaja con una  $V_c$  de 60 m/min y HSC se obtendrá un factor de delaminación (Fd) media de 1,045.
- Si se trabaja con una  $V_c$  de 48 m/min y paralelo a la fibra se obtendrá un factor de delaminación (Fd) media de 1,110.
- Si se trabaja con una  $V_c$  de 48 m/min y perpendicular a la fibra se obtendrá un factor de delaminación (Fd) media de 1,088.
- Si se trabaja con una herramienta HSC y paralelo a la fibra se obtendrá un factor de delaminación (Fd) media de 1,063.

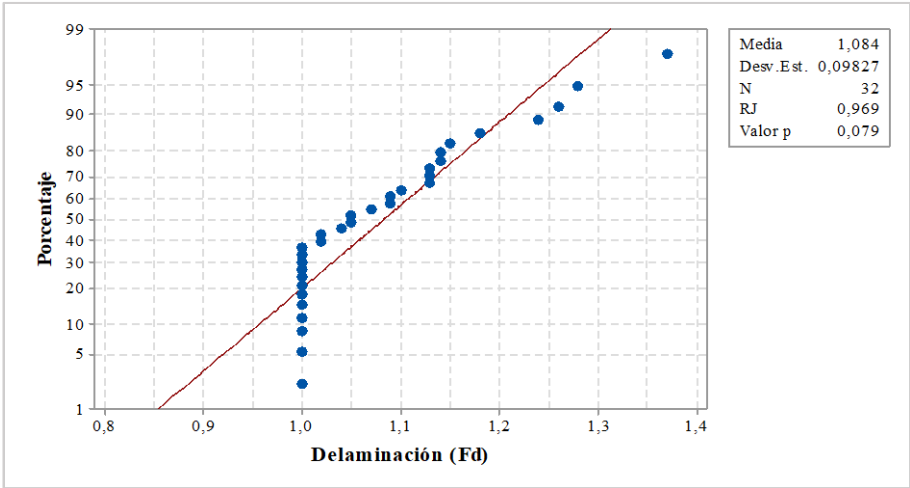


**Figura 39** Gráfica de interacción para delaminación (Fd), fibra de abacá.  
**Fuente:** Minitab® Statistical Software

- Si se trabaja con una herramienta HSC y perpendicular a la fibra se obtendrá un factor de delaminación (Fd) media de 1.085.

#### 4.2.6 Análisis del factor de delaminación (Fd) del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco

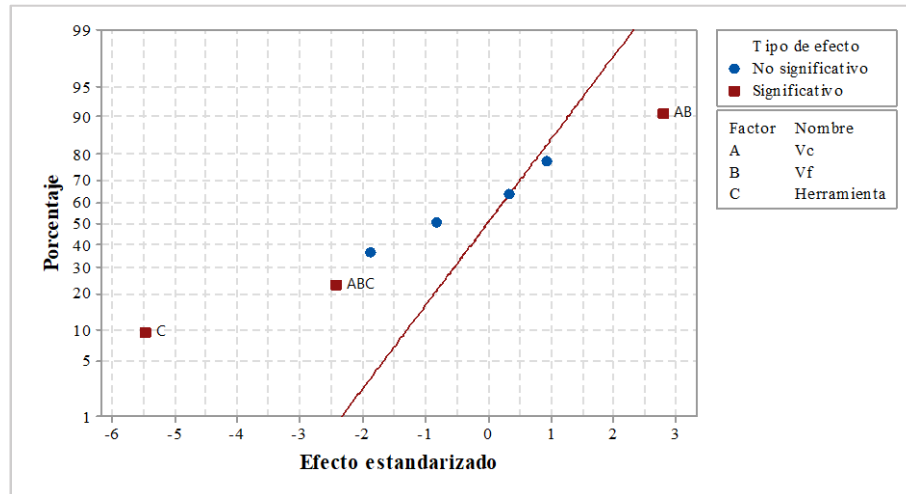
##### Prueba de normalidad de los datos del factor de delaminación (Fd)

<b>Hipótesis:</b>	
$H_0$ = Los datos del factor de delaminación (Fd) tienen distribución normal	
$H_A$ = Los datos del factor de delaminación (Fd) no tienen distribución normal	
<b>Nivel de significancia:</b>	<b>Número de muestras:</b>
$\alpha = 0,05$	32
	
<p><b>Figura 40</b> Gráfica de probabilidad normal – factor de delaminación (Fd), fibra de coco.  <b>Fuente:</b> Minitab® Statistical Software</p>	
<b>Estadístico de prueba:</b>	
Shapiro - Wilk (KS) = 0,969	
Valor – p = 0,079	
<b>Decisión:</b> No se rechaza la hipótesis nula	
<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que las muestras del factor de delaminación (Fd) tienen distribución normal.	

#### Resultados para el análisis del diseño factorial entorno al factor de delaminación (Fd)

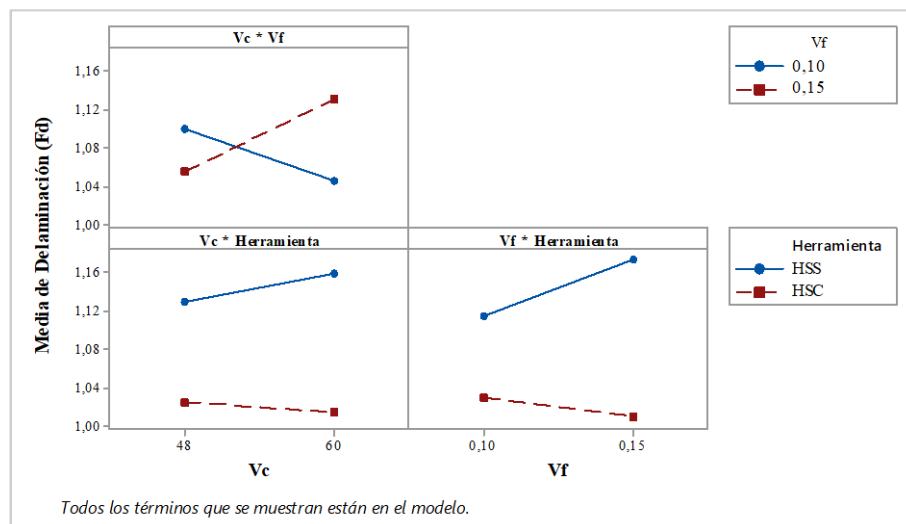
En el análisis de resultados para generar tendencias de significancia, se han de utilizar las gráficas de efectos de Daniel ya que tiene el mismo efecto que la gráfica

de Pareto mismo que se observa en la figura 41. Además, es importante detallar que los factores A (velocidad de corte), B (velocidad de avance), C (herramienta); todos estos factores resultan tener un grado de significancia para generar un factor de delaminación (Fd) mínima en el proceso de ranurado.



**Figura 41** Gráfica normal de efectos estandarizados - delaminación (Fd), fibra de coco.  
**Fuente:** Minitab® Statistical Software

En la gráfica 42 se detalla el efecto que tiene todos y cada uno de los factores en función de la rugosidad media (Ra), por tanto, se describen cada tendencia de interacción.



**Figura 42** Gráfica de interacción para delaminación (Fd), fibra de coco.  
**Fuente:** Minitab® Statistical Software

- Si se trabaja con una  $V_c$  de 60 m/min y  $V_f$  de 0,10 mm/rev se obtendrá un factor de delaminación (Fd) media de 1,045
- Si se trabaja con una  $V_c$  de 48 m/min y  $V_f$  de 0,15 mm/rev se obtendrá un factor de delaminación (Fd) media de 1,055.
- Si se trabaja con una  $V_c$  de 48 m/min y una herramienta HSS se obtendrá un factor de delaminación (Fd) media de 1,13
- Si se trabaja con una  $V_c$  de 60 m/min y una herramienta HSC se obtendrá un factor de delaminación (Fd) media de 1,015.
- Si se trabaja con una  $V_f$  de 0,1 mm/rev y una herramienta HSS se obtendrá un factor de delaminación (Fd) media de 1,115.
- Si se trabaja con una  $V_f$  de 0,15 mm/rev y una herramienta HSC se obtendrá un factor de delaminación (Fd) media de 1,01 um.

#### 4.2.7 Interpretación final de datos

De acuerdo a los datos obtenidos a partir diseño factorial se obtienen resultados que no difieren ampliamente y tampoco resultan significantes estadísticamente respecto a la media obtenida como el caso de la velocidad de avance en el compuesto reforzado con fibra de coco, por lo que, se procede a escoger el mejor parámetro de corte por cada material compuesto.

**Tabla 20** Interpretación final de la rugosidad superficial (Ra)

<b>Rugosidad superficial media (Ra)</b>									
<b>Tipo de refuerzo</b>	<b>Vel. Corte (m/min)</b>		<b>Avance (mm/rev)</b>		<b>Herramienta</b>		<b>Orientación</b>		<b>Óptimo</b>
	48	60	0,1	0,15	HSS	HSC	PA	PE	
<b>Fibra de cabuya</b>	0,7510	0,6796	0,7345	0,6942	1,0072	0,4236	0,6684	0,7623	60/0,15/HSC/PA
<b>Fibra de abacá</b>	0,6971	0,6845	0,6245	0,7573	0,9258	0,4560	0,6489	0,7323	60/0,10/HSC/PA
<b>Fibra de coco</b>	0,6454	0,6151	0,6285	0,6319	0,8466	0,4139	-	-	60/0,10/HSC
<b>Factor de delaminación media (Ra)</b>									
<b>Tipo de refuerzo</b>	<b>Vel. Corte (m/min)</b>	<b>Avance (mm/rev)</b>	<b>Herramienta</b>	<b>Orientación</b>	<b>Óptimo</b>				

	48	60	0,1	0,15	HSS	HSC	PA	PE	
<b>Fibra de cabuya</b>	1,1169	1,1073	1,0917	1,1325	1,1323	1,0919	1,0881	1,1364	60/0,10/HSC/PA
<b>Fibra de abacá</b>	1,0980	1,1159	1,1018	1,1129	1,1538	1,0609	1,1212	1,0935	60/0,10/HSC/PE
<b>Fibra de coco</b>	1,0800	1,0875	1,0731	1,0934	1,1456	1,0218	-	-	60/0,10/HSC

Fuente: Minitab® Statistical Software

Es importante notar que la empresa local en su mayoría trabaja con herramientas HSS debido a la complejidad de obtener una fresa (Flat end mill) HSC, por consiguiente, se hace un análisis de varianza ANOVA para corroborar que combinación genera menos rugosidad con el uso de una herramienta HSS. Importante saber que se ha resuelto utilizando el método de Turkey con una confianza de 95%, este método se basa en ponderar la media más significativa por combinación.

**Tabla 21** Selección de la mejor combinación con el uso de una herramienta HSS método de Turkey.

<b>Rugosidad superficial media (Ra)</b>								
<b>Descripción</b>		<b>Fibra de cabuya</b>		<b>Fibra de abacá</b>		<b>Fibra de coco</b>		
Combinación	N	Media	Agrupación	Media	Agrupación	Media	Agrupación	
48-0,10-HSS	8	1,1931	A	0,7478	B	0,8013	A	
48-0,15-HSS	8	1,1719	A B	0,9443	A B	0,8663	A	
60-0,10-HSS	8	0,9064	A B	0,9190	A B	0,9170	A	
60-0,15-HSS	8	0,7573	B	1,0921	A	0,8020	A	
<b>Factor de delaminación media (Fd)</b>								
<b>Descripción</b>		<b>Fibra de cabuya</b>		<b>Fibra de abacá</b>		<b>Fibra de coco</b>		
Combinación	N	Media	Agrupación	Media	Agrupación	Media	Agrupación	
48-0,10-HSS	8	1,1079	B	1,1156	B	1,1592	B	
48-0,15-HSS	8	1,1398	A B	1,1262	B	1,1033	A B	
60-0,10-HSS	8	1,0652	B	1,1637	A B	1,0679	A B	
60-0,15-HSS	8	1,2165	A	1,2093	A	1,2508	A	

Fuente: Minitab® Statistical Software

### 4.3 Verificación de hipótesis:

Para la verificación de la hipótesis, “La variación de los parámetros de corte en materiales compuestos: Fibra Natural (FN) + Fibra de Vidrio (FV) + Resina Poliéster y Fibra Natural (FN) + Resina Poliéster mejorará la rugosidad y delaminación superficial del compuesto”, se resuelve hacer un análisis de varianza ANOVA en el software Minitab 18 planteado hipótesis específicas con el fin de evaluar estadísticamente la significancia de cada factor en función del *valor- p*. El valor-p debe de ser menor a 0,05 para considerar relevancia del factor y rechazar la hipótesis nula.

#### 4.3.1 ANOVA y verificación de hipótesis específicas de la rugosidad superficial (Ra).

<b>Hipótesis específica:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>H_o</math> = La rugosidad superficial (Ra) <i>es igual</i> al mecanizar con una herramienta HSS y HSC</li> <li>• <math>H_A</math> = La rugosidad superficial (Ra) <i>es diferente</i> al mecanizar con una herramienta HSS y HSC</li> </ul>					
<b>Nivel de significancia (<math>\alpha</math>) = 0,05</b>					
<b>Estadístico de prueba de acuerdo al tipo de Refuerzo</b>					
<b>Fibra de cabuya y vidrio</b>		<b>Fibra de abacá y vidrio</b>		<b>Fibra de coco</b>	
<b>F</b>	<b>Valor p</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
68,17	0,000	83,27	0,000	119,20	0,000
<b>Decisión:</b> Se rechaza la hipótesis nula		<b>Decisión:</b> Se rechaza la hipótesis nula		<b>Decisión:</b> Se rechaza la hipótesis nula	
<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la herramienta si afecta		<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la herramienta si afecta		<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la herramienta si afecta	

directamente la rugosidad superficial (Ra).		directamente la rugosidad superficial (Ra).		directamente la rugosidad superficial (Ra).	
<b>Hipótesis específica:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>H_o</math> = La rugosidad superficial (Ra) <i>es igual</i> al mecanizar con una velocidad de corte de 48 y 60 m/min</li> <li>• <math>H_A</math> = La rugosidad superficial (Ra) <i>es diferente</i> al mecanizar con una velocidad de corte de 48 y 60 m/min</li> </ul>					
Nivel de significancia ( $\alpha$ ) = 0,05					
<b>Estadístico de prueba de acuerdo al tipo de Refuerzo</b>					
<b>Fibra de cabuya y vidrio</b>		<b>Fibra de abacá y vidrio</b>		<b>Fibra de coco</b>	
<b>F</b>	<b>Valor p</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
1,02	0,316	0,06	0,811	0,59	0,450
<b>Decisión:</b> No se rechaza la hipótesis nula		<b>Decisión:</b> No se rechaza la hipótesis nula		<b>Decisión:</b> No se rechaza la hipótesis nula	
<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la velocidad de corte no afecta directamente la rugosidad superficial (Ra).		<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la velocidad de corte no afecta directamente la rugosidad superficial (Ra).		<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la velocidad de corte no afecta directamente la rugosidad superficial (Ra).	
<b>Hipótesis específica:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>H_o</math> = La rugosidad superficial (Ra) <i>es igual</i> al mecanizar con una velocidad de avance de 0,1 y 0,15 mm/rev.</li> <li>• <math>H_A</math> = La rugosidad superficial (Ra) <i>es diferente</i> al mecanizar con una velocidad de avance de 0,1 y 0,15 mm/rev.</li> </ul>					
Nivel de significancia ( $\alpha$ ) = 0,05					
<b>Estadístico de prueba de acuerdo al tipo de Refuerzo</b>					
<b>Fibra de cabuya y vidrio</b>		<b>Fibra de abacá y vidrio</b>		<b>Fibra de coco</b>	

F	Valor p	F	Valor p	F	Valor p
0,33	0,570	6,66	0,012	0,01	0,933
<b>Decisión:</b> No se rechaza la hipótesis nula		<b>Decisión:</b> Se rechaza la hipótesis nula		<b>Decisión:</b> No se rechaza la hipótesis nula	
<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la velocidad de avance no afecta directamente la rugosidad superficial (Ra).		<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la velocidad de avance si afecta directamente la rugosidad superficial (Ra).		<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la velocidad de avance no afecta directamente la rugosidad superficial (Ra).	
<b>Hipótesis específica:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>H_o</math> = La rugosidad superficial (Ra) <i>es igual</i> al mecanizar en orientación paralelo y perpendicular a la fibra.</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>H_A</math> = La rugosidad superficial (Ra) <i>es diferente</i> al mecanizar en orientación paralelo y perpendicular la fibra.</li> </ul>					
<b>Nivel de significancia</b> ( $\alpha$ ) = 0,05					
<b>Estadístico de prueba de acuerdo al tipo de Refuerzo</b>					
<b>Fibra de cabuya y vidrio</b>		<b>Fibra de abacá y vidrio</b>		<b>Fibra de coco</b>	
F	Valor p	F	Valor p	F	Valor p
1,76	1,189	2,66	0,108	-	-
<b>Decisión:</b> No se rechaza la hipótesis nula		<b>Decisión:</b> No se rechaza la hipótesis nula		<b>Decisión:</b>	
<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la orientación no afecta directamente la rugosidad superficial (Ra).		<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la orientación no afecta directamente la rugosidad superficial (Ra).		<b>Conclusión:</b>	



**4.3.2 ANOVA y verificación de hipótesis específicas del factor de delaminación (Fd).**

<b>Hipótesis específica:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>H_o</math> = El factor de delaminación (Fd) <i>es igual</i> al mecanizar con una herramienta HSS y HSC</li> <li>• <math>H_A</math> = El factor de delaminación (Fd) <i>es diferente</i> al mecanizar con una herramienta HSS y HSC</li> </ul>					
<b>Nivel de significancia (<math>\alpha</math>) = 0,05</b>					
<b>Estadístico de prueba de acuerdo al tipo de Refuerzo</b>					
<b>Fibra de cabuya y vidrio</b>		<b>Fibra de abacá y vidrio</b>		<b>Fibra de coco</b>	
<b>F</b>	<b>Valor p</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
5,53	0,022	42,53	0,000	19,85	0,000
<b>Decisión:</b> Se rechaza la hipótesis nula		<b>Decisión:</b> Se rechaza la hipótesis nula		<b>Decisión:</b> Se rechaza la hipótesis nula	
<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la herramienta si afecta directamente el factor de delaminación (Fd).		<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la herramienta si afecta directamente el factor de delaminación (Fd).		<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la herramienta si afecta directamente el factor de delaminación (Fd).	
<b>Hipótesis específica:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>H_o</math> = El factor de delaminación (Fd) <i>es igual</i> al mecanizar con una velocidad de corte de 48 y 60 m/min</li> <li>• <math>H_A</math> = El factor de delaminación (Fd) <i>es diferente</i> al mecanizar con una velocidad de corte de 48 y 60 m/min</li> </ul>					
<b>Nivel de significancia (<math>\alpha</math>) = 0,05</b>					
<b>Estadístico de prueba de acuerdo al tipo de Refuerzo</b>					

Fibra de cabuya y vidrio		Fibra de abacá y vidrio		Fibra de coco	
F	Valor p	F	Valor p	F	Valor p
0,31	0,582	1,44	0,235	0,07	0,780
<b>Decisión:</b> No se rechaza la hipótesis nula		<b>Decisión:</b> No se rechaza la hipótesis nula		<b>Decisión:</b> No se rechaza la hipótesis nula	
<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la velocidad de corte no afecta directamente el factor de delaminación (Fd).		<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la velocidad de corte no afecta directamente el factor de delaminación (Fd).		<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la velocidad de corte no afecta directamente el factor de delaminación (Fd).	
<b>Hipótesis específica:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>H_o</math> = El factor de delaminación (Fd) <i>es igual</i> al mecanizar con una velocidad de avance de 0,1 y 0,15 mm/rev.</li> <li>• <math>H_A</math> = El factor de delaminación (Fd) <i>es diferente</i> al mecanizar con una velocidad de avance de 0,1 y 0,15 mm/rev.</li> </ul>					
<b>Nivel de significancia (<math>\alpha</math>) = 0,05</b>					
<b>Estadístico de prueba de acuerdo al tipo de Refuerzo</b>					
Fibra de cabuya y vidrio		Fibra de abacá y vidrio		Fibra de coco	
F	Valor p	F	Valor p	F	Valor p
5,62	0,021	0,01	0,437	0,59	0,451
<b>Decisión:</b> Se rechaza la hipótesis nula		<b>Decisión:</b> No se rechaza la hipótesis nula		<b>Decisión:</b> No se rechaza la hipótesis nula	
<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la velocidad de avance si afecta		<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la velocidad de avance no afecta		<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la velocidad de avance no afecta	

directamente el factor de delaminación (Fd).		directamente el factor de delaminación (Fd).		directamente el factor de delaminación (Fd).	
<b>Hipótesis específica:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>H_o</math> = El factor de delaminación (Fd) <i>es igual</i> al mecanizar en orientación paralelo y perpendicular a la fibra.</li> <li>• <math>H_A</math> = El factor de delaminación (Fd) <i>es diferente</i> al mecanizar en orientación paralelo y perpendicular a la fibra.</li> </ul>					
<b>Nivel de significancia</b> ( $\alpha$ ) = 0,05					
<b>Estadístico de prueba de acuerdo al tipo de Refuerzo</b>					
<b>Fibra de cabuya y vidrio</b>		<b>Fibra de abacá y vidrio</b>		<b>Fibra de coco</b>	
<b>F</b>	<b>Valor p</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
7,74	0,007	3,97	0,056	-	-
<b>Decisión:</b> Se rechaza la hipótesis nula		<b>Decisión:</b> No rechaza la hipótesis nula		<b>Decisión:</b>	
<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la orientación si afecta directamente el factor de delaminación (Fd)		<b>Conclusión:</b> Con una significancia del 5%, se concluye que la orientación no afecta directamente el factor de delaminación (Fd).		<b>Conclusión:</b>	

Se ha efectuado un análisis de varianza ANOVA a partir del modelo lineal general donde se ha determinado si las medias de dos o más grupos son diferentes. Por lo que, se han incluido los factores pertenecientes a los parámetros de corte (velocidad de corte, velocidad de avance, herramienta y orientación) y se ha demostrado la significancia estadística que comprende cada factor al momento de obtener una calidad superficial aceptable (Rugosidad superficial mínima Ra y Factor de delaminación mínima Fd). Entonces la hipótesis se ha demostrado con la variabilidad de sus parámetros y la generación del óptimo parámetro de mecanizado en el proceso de ranurado.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

La rugosidad superficial (Ra) y factor de delaminación (Fd) en la operación de ranurado han sido medidos para el mecanizado CNC en los compuestos matriz poliéster reforzado con fibra de: cabuya más vidrio, abacá más vidrio y coco a diferentes condiciones de corte utilizando diseños factoriales  $2^4$  y  $2^3$  respectivamente; las siguientes conclusiones son válidas para los parámetros de corte en la operación de ranurado efectuado en los materiales antes mencionados, utilizando herramientas HSS y HSC.

- El modelo experimental de investigación aplicado es el *diseño de experimentos DOE* donde se organiza, diseña y analiza los parámetros de corte (velocidad de corte, velocidad de avance y herramienta) para el ranurado, no obstante, se instaura el factor *orientación del paso de la herramienta*; conformado diseños factoriales  $2^4$  para los compuestos reforzados con fibra: cabuya más vidrio y abacá más vidrio y un diseño factorial  $2^3$  para el compuesto reforzado con fibra de coco. Esto se debe a que, en el compuesto reforzado con fibra de coco no se estudia el factor orientación del paso de la herramienta.
- El modelo experimental realizado está conformado por cuatro réplicas que evalúan la variación de los parámetros de corte: velocidad de corte, velocidad de avance y herramienta para el ranurado con el fin de obtener tendencias estadísticas significativas al momento de evaluar la calidad superficial, estas tendencias estadísticas están sujetas al *valor-p* ( $>0,05$ ) que establece rechazo o aceptación de una hipótesis específica nula.
- Las probetas establecidas para el ensayo experimental se han generado partiendo de las especificaciones de los autores [1]–[3], donde establecen: 70% matriz poliéster y 30% de refuerzo (fibra natural y sintética), seguidamente, se efectuó la estratificación *al vacío*. Este proceso de

estratificación se caracterizó con el fin de minimizar la aparición de poros o grietas en el interior del sólido por el paso de la herramienta.

- Las pruebas experimentales desarrolladas se establecieron modificando y combinando los factores de corte: velocidad de corte (m/min), velocidad de avance (mm/rev) y herramienta (HSS y HSC), además, los parámetros de corte constan de dos niveles por cada factor, dando como resultado ocho combinaciones: 48/0,10/HSS, 48/0,15/HSS, 60/0,10/HSS, 60/0,15/HSS, 48/0,10/HSC, 48/0,15/HSC, 60/0,10/HSC y 60/0,15/HSC. Estas combinaciones están enmarcadas para trabajar a una profundidad de corte constante de 4 mm y 1mm por paso de la herramienta.
- Las pruebas experimentales se contemplan con la toma de datos mediante el uso de los equipos: rugosímetro SJ-210 Mitutoyo y microscopio de barrido SEM, estos equipos permitieron la lectura de datos veraces sobre la rugosidad superficial ( $R_a$ ) y factor de delaminación ( $F_d$ ), debido a que ofrecen facilidades técnicas y son confiables, por último, se adopta el software estadístico *Minitab®18.1 Statistical Software* con el objetivo de analizar los datos y ejecutar respuestas fidedignas y eficaces.
- A medida que la velocidad de corte  $V_c$  y velocidad de avance  $V_f$  aumentan de 48 a 60m/min y 0,10 a 0,15 mm/rev respectivamente, la rugosidad superficial ( $R_a$ ) disminuye, pero, a medida que la velocidad de corte  $V_c$  aumenta de 48 a 60m/min y la velocidad de avance  $V_f$  disminuye de 0,15 a 0,10mm/rev, el factor de delaminación ( $F_d$ ) decrece, esto sucede cuando se efectúa una ranura en el compuesto reforzado con fibra de cabuya más vidrio utilizando una herramienta HSC.
- A medida que la velocidad de corte  $V_c$  aumenta de 48 a 60m/min y la velocidad de avance  $V_f$  disminuye de 0,15 a 0,10mm/rev, la rugosidad superficial ( $R_a$ ) decrece, pero, a medida que la velocidad de corte  $V_c$  y velocidad de avance  $V_f$  disminuyen de 60 a 48m/min y 0,15 a 0,10 mm/rev respectivamente, el factor de delaminación ( $F_d$ ) decrece, esto sucede cuando

se efectúa una ranura en el compuesto reforzado con fibra de abacá más vidrio utilizando una herramienta HSC.

- A medida que la velocidad de corte  $V_c$  aumenta de 48 a 60m/min y la velocidad de avance disminuye de 0,15 a 0,10 mm/rev, la rugosidad superficial (Ra) y factor de delaminación (Fd) decrece, esto sucede cuando se efectúa una ranura en el compuesto reforzado con fibra de coco.

## **5.2. Recomendaciones**

- En el proceso de estratificación al vacío previo a la generación de las probetas de material compuesto se debe de contemplar el tiempo de secado de la resina poliéster (aprox. 10min), debido a que, parte de ese tiempo se utiliza para sellar la bolsa de vacío, así mismo, la presión óptima que debe de marcar el manómetro de vacío debe ser aproximadamente de -18inHg.
- En el proceso de ranurado se debe de considerar las sujeciones de la plancha de material compuesto, estas sujeciones permiten tener un posicionamiento rígido a la mesa del centro de mecanizado, así mismo, la herramienta se debe de mantener libre de residuos producto del proceso mismo. Esto se lo hace con el fin mantener el filo de los dientes de la herramienta.
- Para la medición de la rugosidad tener en cuenta los parámetros del rugosímetro (longitud de recorrido del palpador, norma, etc.) independiente al que se haya utilizado en el ensayo, además, utilizar una sujeción porta probetas, esto se lo hace con el fin de eliminar el movimiento y pequeñas vibraciones que se producen durante el movimiento de recorrido del palpador del rugosímetro.
- Para la aplicación del diseño de experimentos DOE, se debe de tener en cuenta los factores a los que se está trabajando y los niveles que tiene cada factor para evitar problemas en el análisis del diseño factorial, si se cuenta con réplicas del ensayo, la toma de datos de rugosidad superficial Ra o factor de delaminación Fd se debe de corroborar que los datos leídos sean consecuentes y no generen distorsiones durante el diseño factorial.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. E. M. Ortíz, “Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales,” Universidad Técnica de Ambato, 2017.
- [2] Juan Gilberto Paredes Salinas, “Estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en Guardachoques para Buses,” Universidad Técnica de Ambato, 2012.
- [3] H. G. V. Salazar, “Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de vidrio y abacá mediante estratificación,” Escuela Politécnica Nacional, 2011.
- [4] T. sunny, J. Babu, and J. Philip, “Experimental Studies on Effect of Process Parameters on Delamination in Drilling GFRP Composites Using Taguchi Method,” *Procedia Mater. Sci.*, vol. 6, no. Icmpc, pp. 1131–1142, 2014.
- [5] Laura Montero García, “Estudio del mecanizado de materiales compuestos,” Universidad Carlos III de Madrid Repositorio, 2010.
- [6] Vassalina Radeva, “Materiales compuestos refoorzados con fibra,” 2006.
- [7] M. Santiago Poveda, “Lecturas complementarias - Materiales compuestos,” *Mater. compuestos*, p. 123–139, Vol 1., 2000.
- [8] J. G. P. Salinas, C. F. P. Salinas, and C. B. C. Miniguano, “Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz ( Analysis of the mechanical properties of the composite of polyester matrix reinforced with glass fiber ,” pp. 1–15, 2017.
- [9] C. Edil, F. Velasco, J. Manuel, and T. Castelló, “Materiales compuestos de matriz metálica . I parte . Tipos , propiedades ,” vol. 36, pp. 179–192, 2000.
- [10] K. Balasubramanian, M. T. H. Sultan, F. Cardona, and N. Rajeswari,

- “Machining analysis of natural fibre reinforced composites using fuzzy logic,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 152, p. 12051, 2016.
- [11] M. O. Santiago, “Composites: Characteristics and applications in building construction,” 2010.
- [12] V. H. Guerrero, P. Pontón, A. Tamayo, H. Villacís, F. Delgado, and S. Galeas, “Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas,” Quito, 2016.
- [13] T. Majewski and A. Błędzki, “Plásticos Reforzados Con Fibras Naturales En El Sector Automotriz,” vol. 52, no. 222.
- [14] M. Zurayyen, A. Mutalib, and M. J. Jamal, “Effect of machining parameters on delamination during milled banana fiber reinforced polyester composites,” vol. 1, no. 1, pp. 9–13, 2017.
- [15] Sandvik Coromant, “Fresado de ranuras.” [Online]. Available: [https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/milling/application\\_overview/slot\\_milling/end\\_milling\\_of\\_slots](https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/milling/application_overview/slot_milling/end_milling_of_slots). [Accessed: 03-Mar-2018].
- [16] Guillermo Castro, “Mecanizado de alta velocidad,” Buenos Aires, pp. 1–72, Feb-2008.
- [17] ICS Cutting Tools, “high speed tool data - ICS Cutting Tools.” [Online]. Available: <http://www.icscuttingtools.com/Tooldata.htm>. [Accessed: 03-Mar-2018].
- [18] Sandvik Coromant, “El proceso de fresado.” [Online]. Available: [https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/milling/formulas\\_and\\_definitions/the\\_milling\\_process](https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/milling/formulas_and_definitions/the_milling_process). [Accessed: 03-Mar-2018].
- [19] M. M. A. Nassar, R. Arunachalam, and K. I. Alzebdeh, “Machinability of natural fiber reinforced composites: a review,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*,



vol. 88, no. 9–12, pp. 2985–3004, 2017.

- [20] Stephanie Vivarini, “Efecto de las variables del proceso de mecanizado en el acabado superficial de polímeros termoplásticos,” Universidad Simón Bolívar, 2016.
- [21] G. tecnología Mecánica, “Rugosidad Superficial,” 2010. [Online]. Available: <https://www.universidadperu.com>.
- [22] M. Correa, M. D. J. Ramírez, J. R. Alique, and C. a Rodríguez, “Factores que afectan el acabado superficial en los procesos de mecanizado: Técnicas de análisis y modelos,” *XXV Jornadas Automática Ind. CEA-IFAC*, pp. 75–82, 2004.
- [23] G. D. Babu, K. S. Babu, and B. U. M. Gowd, “Effect of Machining Parameters on Milled Natural Fiber-Reinforced Plastic Composites,” *J. Adv. Mech. Eng.*, pp. 1–12, 2013.
- [24] A. Turon, J. Costa, P. P. Camanho, and C. G. Dávila, “Simulation of delamination in composites under high-cycle fatigue,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 38, no. 11, pp. 2270–2282, 2007.
- [25] West System, “Vacuum Bagging Techniques,” 2010. [Online]. Available: <http://www.westsystem.com>.
- [26] SU’S, “HSE End Mills.” [Online]. Available: <http://www.suspt.com.tw/hse-end-mills.htm>. [Accessed: 03-Mar-2018].
- [27] Cerin, “End Mills for composite materials: Carbide Precision Tools.” [Online]. Available: [http://www.cerin.it/p\\_end\\_mills\\_2\\_4.html](http://www.cerin.it/p_end_mills_2_4.html). [Accessed: 03-Mar-2018].
- [28] Travis, “Centro de Mecanizado CNC M-1000 - Travis CNC.” [Online]. Available: <http://www.traviscnc.com/spa/p/product/product/productos-maquinas-cnc-convencionales/centro-de-mecanizado-m-1000.htm>. [Accessed: 03-Mar-2018].

- [29] Sariki Metrología, “Rugosímetro portátil Mitutoyo SJ 210 | Metrología Sariki.” [Online]. Available: <http://www.sariki.es/productos/info/1443/rugosimetro-portatil-mitutoyo-sj-210/>. [Accessed: 03-Mar-2018].
- [30] nanoFAB, “Scanning Electron Microscope (Tescan Vega-3 w/ EDX) | nanoFAB.” [Online]. Available: <https://www.nanofab.ualberta.ca/capabilities/our-equipment/scanning-electron-microscope-tescan/>. [Accessed: 03-Mar-2018].
- [31] R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers, and R. Cruz, *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Prentice Hall, 1999.
- [32] G. P. Humberto and D. la V. S. Román, *Análisis y diseño de experimentos*, 2nd ed. Guanajuato, México, 2008.
- [33] G. M. Mónica and B. M. Manuel, “El papel probabilístico normal,” Valencia, España, 2014.

## ANEXOS

### 1. Tabla de rugosidad promedio en diferentes procesos

Rugosidad promedio en micrómetros – Ra $\mu\text{m}$													
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				■	■	■	■	■	■	■	■		

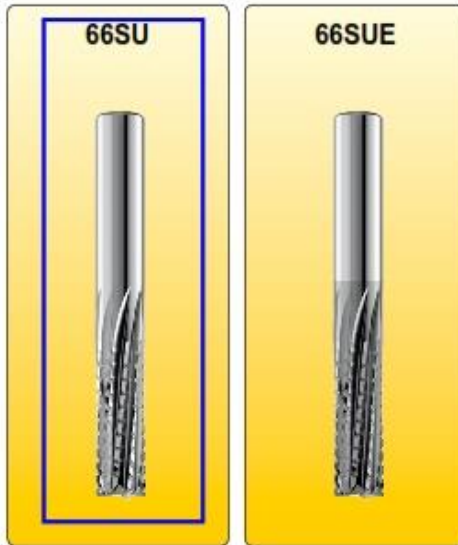
### 2. Tabla de rugosidad de superficies según el método de fabricación

MÉTODOS DE FABRICACIÓN Y RUGOSIDAD DE SUPERFICIES						
Métodos de producción por arranque de viruta		Rugosidad Rz ( $\mu\text{m}$ )				
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

### 3. Especificaciones “Fresa de metal duro para composites”

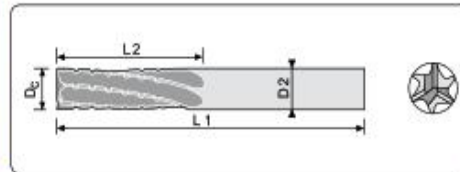


**Kunststoff Fräser - 10° Rechtsdrall - grobe gegenläufige Spanteiler - WN**  
**End mills for composite materials - 10° right helix - large counterwise chip breaker - Internal standard**



Einsatzgebiete / Range of application

B: Kunststoffe - Faserverstärkte Kunststoffe  
 B: Plastics - Reinforced plastic fibres  
 (AFK - CFK - GFK) B1.4 B2.1-2.4



2.  
04

D <sub>c</sub> h10	L2	L1	D2 h6	Z	66SU	66SUE
						Beschichtet / Coated
2	7	40	6	6	66SU.020060740	66SU.020060740E
3	12	50	6	6	66SU.030061250	66SU.030061250E
4	20	50	6	6	66SU.040062050	66SU.040062050E
5	16	50	6	6	66SU.050061650	66SU.050061650E
6	18	50	6	6	66SU.060061850	66SU.060061850E
6	35	75	6	6	66SU.060063575	66SU.060063575E
8	20	63	6	6	66SU.080062063	66SU.080062063E
8	40	100	6	6	66SU.0800640100	66SU.0800640100E
10	25	72	10	6	66SU.100102572	66SU.100102572E
12	30	83	12	6	66SU.120123083	66SU.120123083E

Für Arbeitsparameter siehe Seite 123  
 For working-parameters see page 123

#### 4. Especificaciones de corte de la fresa HSS-Co 8% o HSE

## 標準2刃、4刃高鈷端銑刀鑽切削條件選擇表 Recommended Milling Conditions For HSE End Mills

SUN'S

### 高鈷端銑刀 HSE End Mills

被削材 Work Material		切削條件 Milling Conditions			銑刀外徑 Dia Of Mill/mm												
材質 Material	硬度 Hardness	切削速度 Cutting Speed	參考條件 Reference	1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25		
構造用鋼 Structural Steel 碳素鋼 Carbon Steel SS34 SS41 SS50 S45C	HB220 以下 Lower	V=m/min 18 - 25	□轉速 R.P.M.	5500	3200	2400	2000	1600	1400	1050	850	720	550	420	350		
			進給速度 Feed mm/min	$\frac{2}{2}$ Flutes 65	70	75	80	90	100	110	110	110	110	100	80	70	
合金鋼 Alloy Steel 碳素鋼 Carbon Steel SCr SCM SNCM440 S55C	HB 200~250	18 - 20	□轉速 R.P.M.	5000	2500	2000	1400	1150	950	720	580	480	350	280	240		
			進給速度 Feed mm/min	$\frac{2}{2}$ Flutes 50	55	60	65	75	75	80	85	80	75	60	50		
工具鋼 Tool Steel 模具鋼 Mold Steel SKD SKT SKS	HB 230~330	10 - 15	□轉速 R.P.M.	3200	1900	1500	1100	950	800	600	500	420	320	250	200		
			進給速度 Feed mm/min	$\frac{2}{2}$ Flutes 35	45	50	50	60	60	60	60	55	50	45	40		
不銹鋼 Stainless Steel SUS 410 420 SUS 304 316	N/mm <sup>2</sup> 500~900 HB 150~250	8 - 12	□轉速 R.P.M.	2500	1500	1150	900	750	650	500	400	330	250	200	150		
			進給速度 Feed mm/min	$\frac{2}{2}$ Flutes 20	25	30	30	35	40	40	45	40	35	30	25		
非鐵金屬 Non Ferrous 鋁合金 Aluminum Alloy ADC	N/mm <sup>2</sup> 180~300	40 - 60	□轉速 R.P.M.	12000	7500	5300	4100	3500	3000	2300	1850	1650	1200	950	750		
			進給速度 Feed mm/min	$\frac{2}{2}$ Flutes 150	150	220	260	300	300	330	350	350	300	250	230		
鑄鐵 Cast Iron FC FCD	HB 180~300	18 - 22	□轉速 R.P.M.	5100	2850	2000	1600	1300	1100	850	700	580	440	340	285		
			進給速度 Feed mm/min	$\frac{2}{2}$ Flutes 65	75	80	90	100	105	110	120	110	105	90	80		

側銑深度值  
Side Milling

直徑 D > Ø3  
W = 0.2D  
H = 1.5D  
直徑 D < Ø3  
W = 0.1D  
H = 1D

槽銑深度值  
Slotting

直徑 D > Ø3  
H = 0.5D  
直徑 D < Ø3  
0H = 0.1~0.2D

- ◆ 覆TiCN端銑刀，請依上述切削速度、□轉速之數據調升30%切削。
- ◆ 長刃端銑刀則依上述數據調降30%~40%。
- ◆ For TiCN coated end mills, use above listed cutting speed, the rotation speed should be increased by 30%.
- ◆ For long flute end mills, reduce 30%~40% of above listed data.

## 5. Especificaciones de corte para la fresa HSC en materiales compuestos

**Karnasch®**

**30 6215** Datos de corte orientativos para metal duro • Aluminio-Highspeed • Fresa HSC (corte de alta velocidad)  
Recommended cutting data for solid carbide • alu-highspeed • end mills HSC

**1**

Ranurado/Desbastado  
Slot milling/Roughing

**2**

Fresado de contornos/Acabado  
Circumference milling/Finishing

Los valores de corte son válidos para:  
ap = 1x D    ac = 0,3 x D  
Para otros cortes transversales de  
ejección, adecuar los correspondientes  
valores de corte.

Para diseños entrelargos, deben reducirse  
los valores de corte en un 50 %.

Cutting data refers to:  
ap = 1x D    ac = 0,3 x D  
For different cutting volumes, adjust  
cutting data correspondingly.  
For extra long design reduce cutting  
data by approximately 50 %.

Grupo de material Material group	Material	Vc Velocidad de corte -m/min. Cutting speed	Diámetro de fresa/Dimension D in mm							
			1-	2-4	5-8	8	10	12	16	20
9.1 9.2	Aluminio/aluminium - Aleación maleable no endurecida - Aleación maleable de magnesio - wrought alloy, unhardened - magnesium wrought alloy	500 - 2000	0,01 -0,04	0,03 -0,05	0,04 -0,08	0,06 -0,12	0,07 -0,15	0,08 -0,18	0,10 -0,20	0,12 -0,25
	Aluminio/aluminium - Aleación maleable endurecida - Aleación de fundición hasta el 6 % de Si - wrought alloy, hardened - casting alloy up to 6% Si	300 - 1000	0,01 -0,04	0,03 -0,05	0,04 -0,08	0,06 -0,12	0,07 -0,15	0,08 -0,18	0,10 -0,20	0,12 -0,25
9.3 9.4	Aluminio/aluminium - Aleación de fundición por encima del 6 % de Si - casting alloy over 6% Si	200 - 600	0,005 -0,03	0,02 -0,04	0,03 -0,06	0,04 -0,08	0,05 -0,10	0,06 -0,12	0,08 -0,15	0,10 -0,20
10.1	Cobre/chopper - no aleado - Aleación maleable no endurecida - Aleación maleable endurecida - unalloyed - wrought alloy, unhardened - wrought alloy, hardened	120 - 200	0,005 -0,03	0,02 -0,04	0,03 -0,06	0,04 -0,08	0,05 -0,10	0,06 -0,12	0,08 -0,15	0,10 -0,20
	Latón/brass - Cu/Zn de viruta corta y larga - Bronce CuSn de viruta corta y larga - CuZn short- and long-chipping - bronze, CuSn short- and long-chipping Plásticos reforzados de fibra, p. ej., fibra de carbono fiber reinforced plastic e.g. carbon fibre	100 - 600	0,005 -0,03	0,01 -0,04	0,02 -0,06	0,03 -0,08	0,05 -0,10	0,06 -0,15	0,08 -0,18	0,08 -0,20
11.1 11.2 11.4	Plásticos - Termoplásticos, Duroplásticos plastics - thermoplastic, duroplastic	160 - 500	0,005 -0,03	0,01 -0,04	0,02 -0,06	0,03 -0,08	0,05 -0,10	0,06 -0,12	0,08 -0,15	0,10 -0,20

**30 7320** Datos de corte recomendados para fresa de punta única  
Recommended cutting data for one-tooth end mill

Grupo de material Material group	0,1 - 2,0	3,0 - 6,0	8,0 - 12,0	
9.1, 9.2, 10.2	Aluminio, Latón / Aluminium, brass	2.000 - 4.000	1.000 - 3.600	900 - 2.000
10.1 - 10.3	Cobre / Copper	1.000 - 1.500	800 - 1.200	500 - 800

**fz = 0,01 x d1**

1124 **ENC TOOLS DIVISION**  
Para obtener más información, llame al número +49 6203-6039-0 o escriba un correo electrónico a [Info@karnasch.tools](mailto:Info@karnasch.tools).  
For more informations please call +49 6203-6039-0 send a mail to [Info@karnasch.tools](mailto:Info@karnasch.tools).

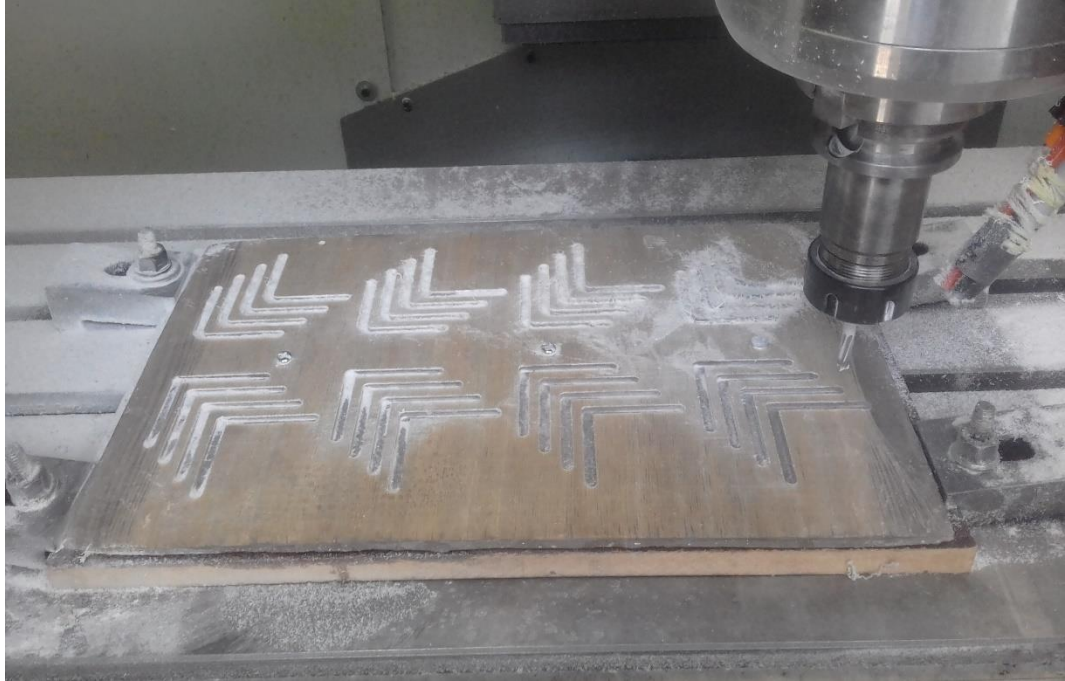
**6. Ubicación de las probetas en el horno para su secado**



**7. Proceso de ranurado del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio.**



- 8. Proceso de ranurado del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio.**

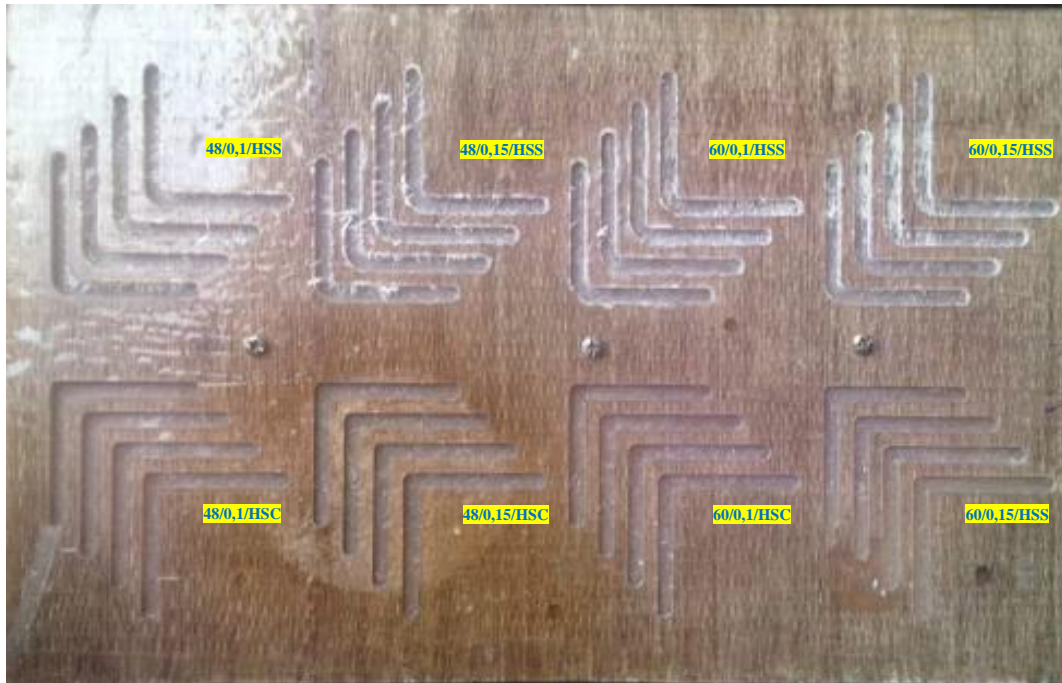


- 9. Proceso de ranurado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.**

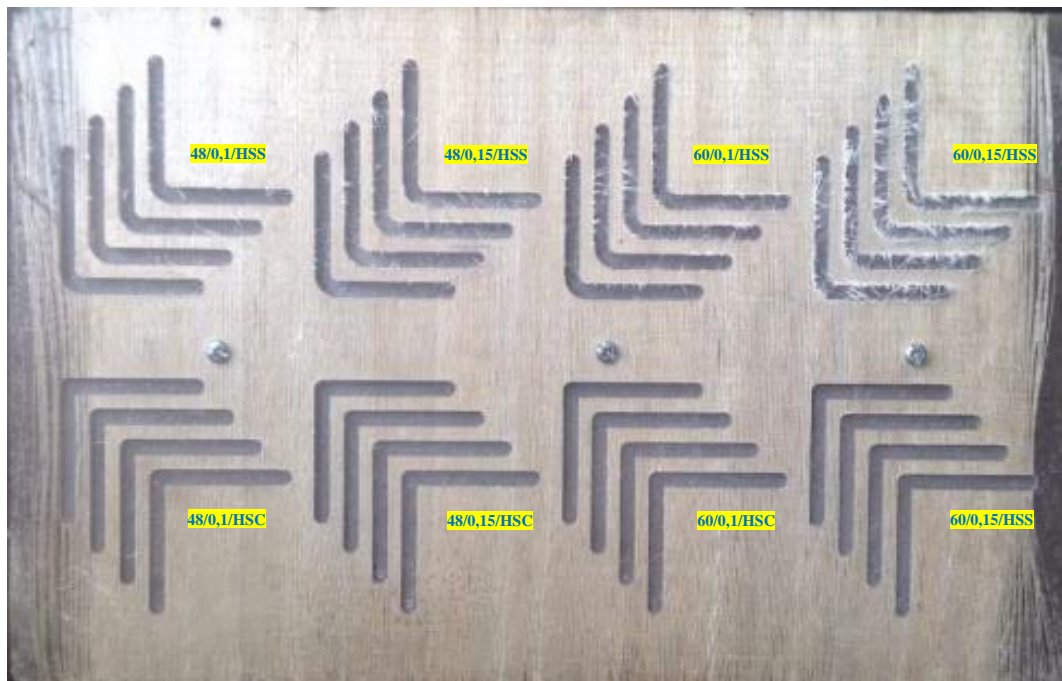




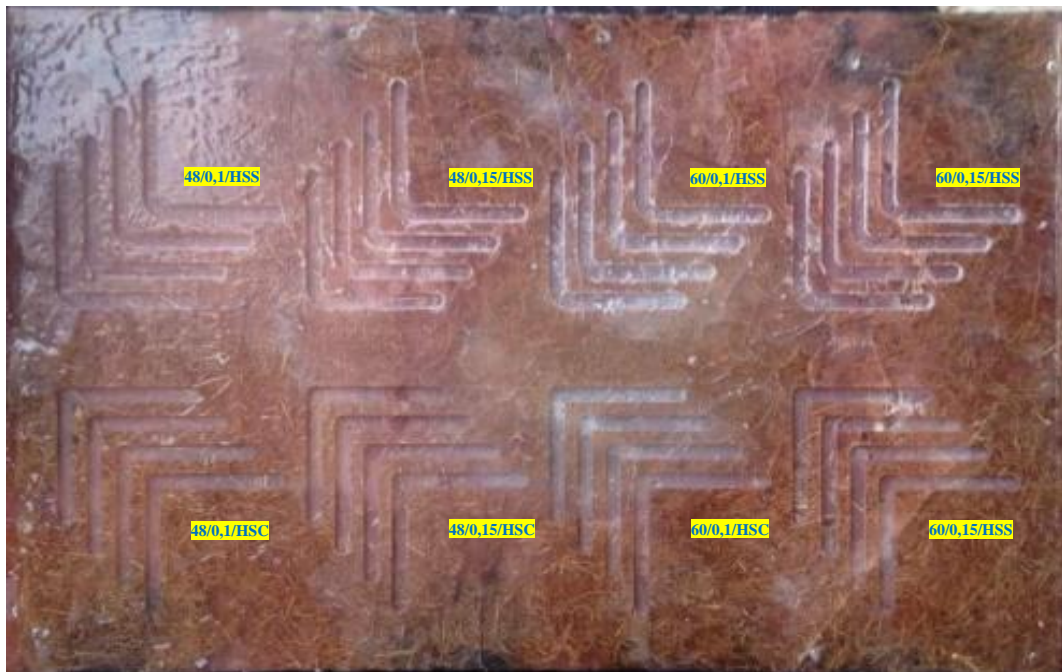
**10. Ranuras del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio.**



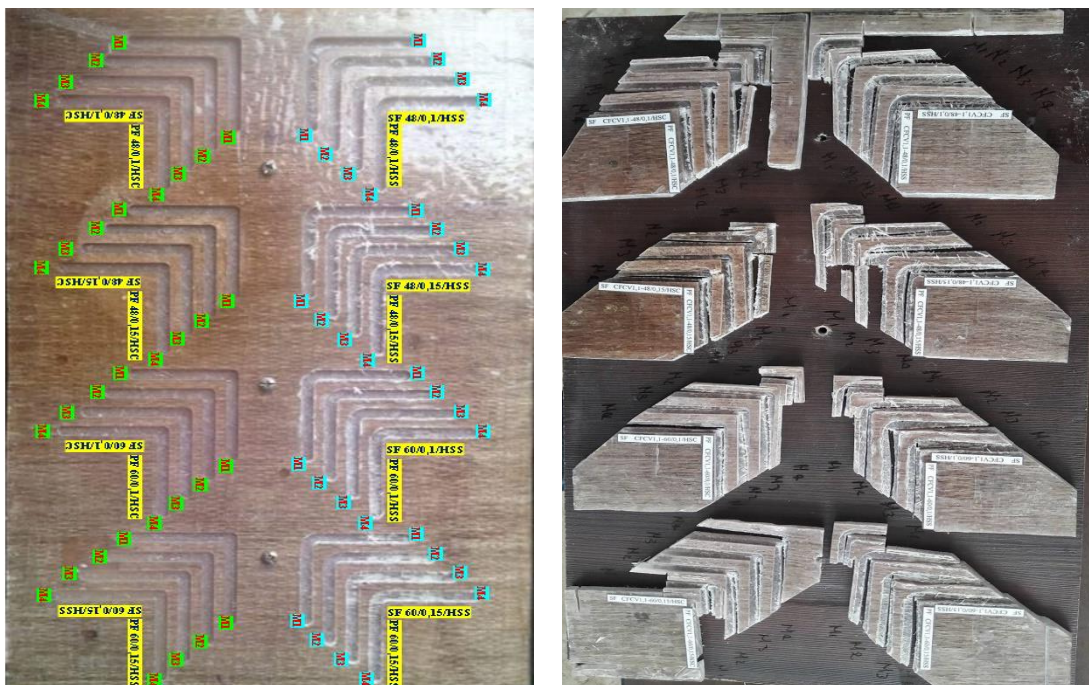
**11. Ranuras del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio.**



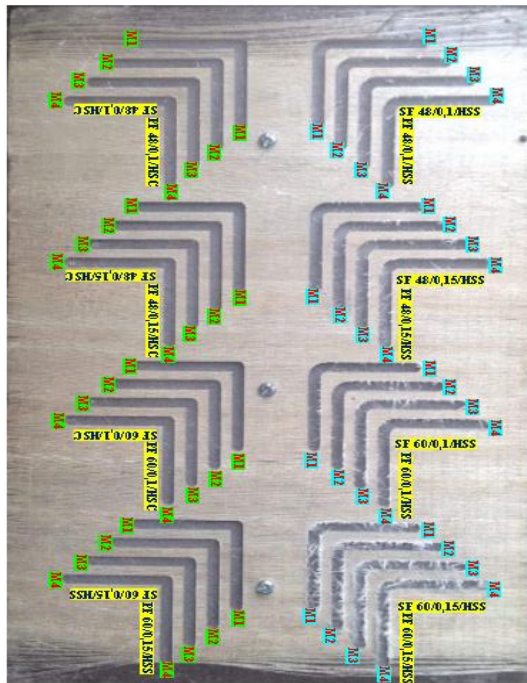
## 12. Ranuras del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.



### 12.1. Puntos de medición y corte del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio.



**13. Puntos de medición y corte del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio.**



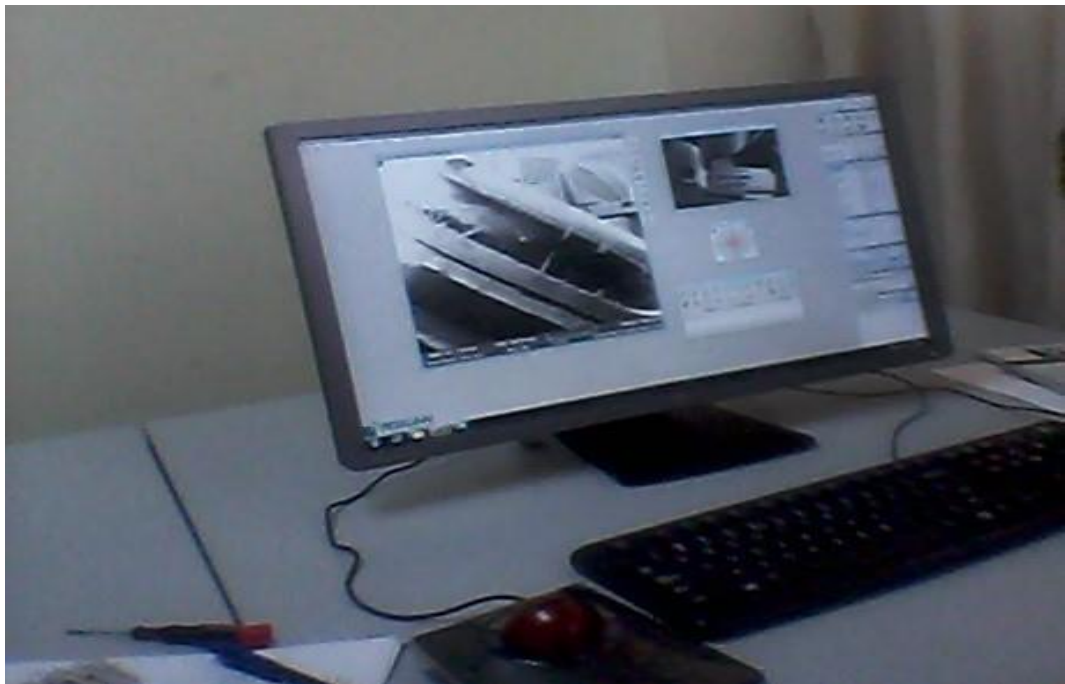
**14. Puntos de medición y corte del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.**



**15. Introducción de las probetas a la cámara del microscopio de barrido SEM previo al análisis de la delaminación.**



**16. Medición de las probetas en el microscopio de barrido SEM.**



## 17. Matriz de diseño factorial del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio.

Minitab - Ra y Fd - resina poliester reforzado con fibra de cabuya más vidrio.MPJ - [Hoja de trabajo 1 \*\*\*]

Archivo Editar Datos Calc Estadísticas Gráfica Editor Herramientas Ventana Ayuda Asistente

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7-T	C8-T	C9	C10
	OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Vc	Vf	Herramienta	Orientación	Rugosidad (Ra)	Delaminación (Fd)
1	1	1	1	1	48	0,10	HSS	PA	0,922	1,133
2	2	2	1	1	60	0,10	HSS	PA	0,683	1,082
3	3	3	1	1	48	0,15	HSS	PA	0,982	1,117
4	4	4	1	1	60	0,15	HSS	PA	0,528	1,112
5	5	5	1	1	48	0,10	HSC	PA	0,396	1,078
6	6	6	1	1	60	0,10	HSC	PA	0,318	1,008
7	7	7	1	1	48	0,15	HSC	PA	0,262	1,080
8	8	8	1	1	60	0,15	HSC	PA	0,497	1,113
9	9	9	1	1	48	0,10	HSS	PE	1,206	1,058
10	10	10	1	1	60	0,10	HSS	PE	0,986	1,058
11	11	11	1	1	48	0,15	HSS	PE	2,086	1,183
12	12	12	1	1	60	0,15	HSS	PE	0,615	1,342
13	13	13	1	1	48	0,10	HSC	PE	0,375	1,198
14	14	14	1	1	60	0,10	HSC	PE	0,789	1,200
15	15	15	1	1	48	0,15	HSC	PE	0,561	1,148
16	16	16	1	1	60	0,15	HSC	PE	0,563	1,037
17	17	17	1	1	48	0,10	HSS	PA	1,138	1,183
18	18	18	1	1	60	0,10	HSS	PA	0,936	1,088
19	19	19	1	1	48	0,15	HSS	PA	0,684	1,135
20	20	20	1	1	60	0,15	HSS	PA	0,849	1,195
21	21	21	1	1	48	0,10	HSC	PA	0,340	1,053
22	22	22	1	1	60	0,10	HSC	PA	0,841	1,015
23	23	23	1	1	48	0,15	HSC	PA	0,204	1,157
24	24	24	1	1	60	0,15	HSC	PA	0,339	1,028
25	25	25	1	1	48	0,10	HSS	PE	1,913	1,122
26	26	26	1	1	60	0,10	HSS	PE	0,858	1,072
27	27	27	1	1	48	0,15	HSS	PE	1,057	1,180
28	28	28	1	1	60	0,15	HSS	PE	0,810	1,358
29	29	29	1	1	48	0,10	HSC	PE	0,252	1,157
30	30	30	1	1	60	0,10	HSC	PE	0,819	1,110
31	31	31	1	1	48	0,15	HSC	PE	0,453	1,125
32	32	32	1	1	60	0,15	HSC	PE	0,580	1,038
33	33	33	1	1	48	0,10	HSS	PA	1,261	1,072
34	34	34	1	1	60	0,10	HSS	PA	1,400	1,053
35	35	35	1	1	48	0,15	HSS	PA	0,898	1,062
36	36	36	1	1	60	0,15	HSS	PA	0,926	1,163
37	37	37	1	1	48	0,10	HSC	PA	0,167	1,048
38	38	38	1	1	60	0,10	HSC	PA	0,324	1,012
39	39	39	1	1	48	0,15	HSC	PA	0,240	1,055
40	40	40	1	1	60	0,15	HSC	PA	0,298	1,155
41	41	41	1	1	48	0,10	HSS	PE	0,910	1,080
42	42	42	1	1	60	0,10	HSS	PE	0,917	1,053
43	43	43	1	1	48	0,15	HSS	PE	1,430	1,183
44	44	44	1	1	60	0,15	HSS	PE	0,584	1,352
45	45	45	1	1	48	0,10	HSC	PE	0,197	1,145

46	46	46	1	1	60	0,10	HSC	PE	0,400	1,153
47	47	47	1	1	48	0,15	HSC	PE	0,309	1,097
48	48	48	1	1	60	0,15	HSC	PE	0,697	1,030
49	49	49	1	1	48	0,10	HSS	PA	1,184	1,143
50	50	50	1	1	60	0,10	HSS	PA	0,861	1,065
51	51	51	1	1	48	0,15	HSS	PA	1,500	1,097
52	52	52	1	1	60	0,15	HSS	PA	0,862	1,148
53	53	53	1	1	48	0,10	HSC	PA	0,262	1,033
54	54	54	1	1	60	0,10	HSC	PA	0,566	1,007
55	55	55	1	1	48	0,15	HSC	PA	0,273	1,045
56	56	56	1	1	60	0,15	HSC	PA	0,449	1,085
57	57	57	1	1	48	0,10	HSS	PE	1,011	1,072
58	58	58	1	1	60	0,10	HSS	PE	0,610	1,050
59	59	59	1	1	48	0,15	HSS	PE	0,738	1,162
60	60	60	1	1	60	0,15	HSS	PE	0,884	1,062
61	61	61	1	1	48	0,10	HSC	PE	0,268	1,167
62	62	62	1	1	60	0,10	HSC	PE	0,428	1,165
63	63	63	1	1	48	0,15	HSC	PE	0,556	1,172
64	64	64	1	1	60	0,15	HSC	PE	0,532	1,025

## 18. Análisis de diseño factorial del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de cabuya y vidrio.

### Regresión factorial: Rugosidad cabuya vs. Vc; Vf; ... mienta; Orientación Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	7,3792	0,49195	7,78	0,000
Lineal	4	5,6975	1,42436	22,54	0,000
Vc	1	0,0817	0,08165	1,29	0,261
Vf	1	0,0261	0,02608	0,41	0,524
Herramienta	1	5,4487	5,44872	86,21	0,000
Orientación	1	0,1410	0,14100	2,23	0,142
Interacciones de 2 términos	6	1,5290	0,25483	4,03	0,002
Vc*Vf	1	0,0725	0,07250	1,15	0,290
Vc*Herramienta	1	1,2477	1,24769	19,74	0,000
Vc*Orientación	1	0,0766	0,07659	1,21	0,276
Vf*Herramienta	1	0,0321	0,03213	0,51	0,479
Vf*Orientación	1	0,0844	0,08439	1,34	0,254
Herramienta*Orientación	1	0,0157	0,01569	0,25	0,621
Interacciones de 3 términos	4	0,1526	0,03815	0,60	0,662
Vc*Vf*Herramienta	1	0,0002	0,00018	0,00	0,957
Vc*Vf*Orientación	1	0,0171	0,01710	0,27	0,605
Vc*Herramienta*Orientación	1	0,1325	0,13250	2,10	0,154
Vf*Herramienta*Orientación	1	0,0028	0,00284	0,04	0,833
Interacciones de 4 términos	1	0,0001	0,00014	0,00	0,962
Vc*Vf*Herramienta*Orientación	1	0,0001	0,00014	0,00	0,962
Error	48	3,0338	0,06320		
Total	63	10,4130			

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,251403	70,87%	61,76%	48,21%

### Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		0,7154	0,0314	22,76	0,000	
Vc	-0,0714	-0,0357	0,0314	-1,14	0,261	1,00
Vf	-0,0404	-0,0202	0,0314	-0,64	0,524	1,00
Herramienta	-0,5836	-0,2918	0,0314	-9,28	0,000	1,00
Orientación	0,0939	0,0469	0,0314	1,49	0,142	1,00
Vc*Vf	-0,0673	-0,0337	0,0314	-1,07	0,290	1,00
Vc*Herramienta	0,2792	0,1396	0,0314	4,44	0,000	1,00
Vc*Orientación	-0,0692	-0,0346	0,0314	-1,10	0,276	1,00
Vf*Herramienta	0,0448	0,0224	0,0314	0,71	0,479	1,00
Vf*Orientación	0,0726	0,0363	0,0314	1,16	0,254	1,00
Herramienta*Orientación	0,0313	0,0157	0,0314	0,50	0,621	1,00
Vc*Vf*Herramienta	-0,0034	-0,0017	0,0314	-0,05	0,957	1,00
Vc*Vf*Orientación	-0,0327	-0,0163	0,0314	-0,52	0,605	1,00
Vc*Herramienta*Orientación	0,0910	0,0455	0,0314	1,45	0,154	1,00
Vf*Herramienta*Orientación	0,0133	0,0067	0,0314	0,21	0,833	1,00
Vc*Vf*Herramienta*Orientación	-0,0030	-0,0015	0,0314	-0,05	0,962	1,00

### Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\begin{aligned}
 \text{Rugosidad} &= -0,38 + 0,0221 Vc + 11,3 Vf - 1,74 \text{ Herramienta} - 0,56 \text{ Orientación} \\
 \text{cabya} &- 0,224 Vc*Vf + 0,0247 Vc*Herramienta + 0,0079 Vc*Orientación \\
 &+ 1,5 Vf*Herramienta + 7,3 Vf*Orientación - \\
 &0,49 \text{ Herramienta*Orientación} \\
 &- 0,011 Vc*Vf*Herramienta - 0,109 Vc*Vf*Orientación \\
 &+ 0,0088 Vc*Herramienta*Orientación \\
 &+ 0,8 Vf*Herramienta*Orientación \\
 &- 0,010 Vc*Vf*Herramienta*Orientación
 \end{aligned}$$

### Estructura de alias

Factor	Nombre
A	Vc
B	Vf
C	Herramienta
D	Orientación
<hr/>	
Alias	
I	
A	
B	
C	
D	
AB	
AC	
AD	

BC  
BD  
CD  
ABC  
ABD  
ACD  
BCD  
ABCD

### Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Rugosidad		Resid		
	cabya	Ajuste	Resid	est.	
11	2,086	1,328	0,758	3,48	R
25	1,913	1,260	0,653	3,00	R
51	1,500	1,016	0,484	2,22	R
59	0,738	1,328	-0,590	-2,71	R

*Residuo grande R*

### Regresión factorial: Delaminación (Fd) vs. Vc; Vf; ... ienta; Orientación Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	0,265052	0,017670	8,05	0,000
Lineal	4	0,090923	0,022731	10,35	0,000
Vc	1	0,001454	0,001454	0,66	0,420
Vf	1	0,026610	0,026610	12,12	0,001
Herramienta	1	0,026204	0,026204	11,93	0,001
Orientación	1	0,036656	0,036656	16,69	0,000
Interacciones de 2 términos	6	0,065726	0,010954	4,99	0,000
Vc*Vf	1	0,009958	0,009958	4,53	0,038
Vc*Herramienta	1	0,011245	0,011245	5,12	0,028
Vc*Orientación	1	0,000005	0,000005	0,00	0,961
Vf*Herramienta	1	0,041260	0,041260	18,79	0,000
Vf*Orientación	1	0,000023	0,000023	0,01	0,919
Herramienta*Orientación	1	0,003235	0,003235	1,47	0,231
Interacciones de 3 términos	4	0,101970	0,025492	11,61	0,000
Vc*Vf*Herramienta	1	0,019309	0,019309	8,79	0,005
Vc*Vf*Orientación	1	0,004528	0,004528	2,06	0,158
Vc*Herramienta*Orientación	1	0,006910	0,006910	3,15	0,082
Vf*Herramienta*Orientación	1	0,071222	0,071222	32,43	0,000
Interacciones de 4 términos	1	0,006433	0,006433	2,93	0,093
Vc*Vf*Herramienta*Orientación	1	0,006433	0,006433	2,93	0,093
Error	48	0,105422	0,002196		
Total	63	0,370474			

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0468645	71,54%	62,65%	49,41%



### Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		1,11211	0,00586	189,84	0,000	
Vc	-0,00953	-0,00477	0,00586	-0,81	0,420	1,00
Vf	0,04078	0,02039	0,00586	3,48	0,001	1,00
Herramienta	-0,04047	-0,02023	0,00586	-3,45	0,001	1,00
Orientación	0,04786	0,02393	0,00586	4,09	0,000	1,00
Vc*Vf	0,02495	0,01247	0,00586	2,13	0,038	1,00
Vc*Herramienta	-0,02651	-0,01326	0,00586	-2,26	0,028	1,00
Vc*Orientación	0,00057	0,00029	0,00586	0,05	0,961	1,00
Vf*Herramienta	-0,05078	-0,02539	0,00586	-4,33	0,000	1,00
Vf*Orientación	-0,00120	-0,00060	0,00586	-0,10	0,919	1,00
Herramienta*Orientación	0,01422	0,00711	0,00586	1,21	0,231	1,00
Vc*Vf*Herramienta	-0,03474	-0,01737	0,00586	-2,97	0,005	1,00
Vc*Vf*Orientación	-0,01682	-0,00841	0,00586	-1,44	0,158	1,00
Vc*Herramienta*Orientación	-0,02078	-0,01039	0,00586	-1,77	0,082	1,00
Vf*Herramienta*Orientación	-0,06672	-0,03336	0,00586	-5,69	0,000	1,00
Vc*Vf*Herramienta*Orientación	-0,02005	-0,01003	0,00586	-1,71	0,093	1,00

### Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\begin{aligned}
 \text{Delaminación (Fd)} = & 1,614 - 0,01119 Vc - 3,67 Vf - 0,556 \text{ Herramienta} - 0,354 \text{ Orientación} \\
 & + 0,0832 Vc*Vf + 0,01227 Vc*Herramienta + 0,00706 Vc*Orientación \\
 & + 5,24 Vf*Herramienta + 3,00 Vf*Orientación \\
 & - 0,184 \text{ Herramienta*Orientación} - 0,1158 Vc*Vf*Herramienta \\
 & - 0,0561 Vc*Vf*Orientación + 0,00662 Vc*Herramienta*Orientación \\
 & + 2,28 Vf*Herramienta*Orientación - \\
 & 0,0668 Vc*Vf*Herramienta*Orientación
 \end{aligned}$$

### Estructura de alias

Factor	Nombre
A	Vc
B	Vf
C	Herramienta
D	Orientación
Alias	
I	
A	
B	
C	
D	
AB	
AC	
AD	
BC	
BD	
CD	
ABC	

ABD  
 ACD  
 BCD  
 ABCD

**Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes**

Obs	Delaminación (Fd)	Ajuste	Resid	Resid est.	
60	1,0617	1,2783	-0,2167	-5,34	R

*Residuo grande R*

**19. Matriz de diseño factorial del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio.**

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7-T	C8-T	C9	C10
	OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Vc	Vf	Herramienta	Orientación	Ra	Fd
1	1	1	1	1	48	0,10	HSS	PA	0,599	1,052
2	2	2	1	1	60	0,10	HSS	PA	0,307	1,175
3	3	3	1	1	48	0,15	HSS	PA	0,793	1,222
4	4	4	1	1	60	0,15	HSS	PA	1,127	1,268
5	5	5	1	1	48	0,10	HSC	PA	0,460	1,262
6	6	6	1	1	60	0,10	HSC	PA	0,209	1,030
7	7	7	1	1	48	0,15	HSC	PA	0,883	1,058
8	8	8	1	1	60	0,15	HSC	PA	0,577	1,033
9	9	9	1	1	48	0,10	HSS	PE	0,842	1,157
10	10	10	1	1	60	0,10	HSS	PE	1,178	1,172
11	11	11	1	1	48	0,15	HSS	PE	0,991	1,050
12	12	12	1	1	60	0,15	HSS	PE	0,620	1,177
13	13	13	1	1	48	0,10	HSC	PE	0,585	1,003
14	14	14	1	1	60	0,10	HSC	PE	0,270	1,067
15	15	15	1	1	48	0,15	HSC	PE	0,544	1,117
16	16	16	1	1	60	0,15	HSC	PE	0,450	1,030
17	17	17	1	1	48	0,10	HSS	PA	0,620	1,093
18	18	18	1	1	60	0,10	HSS	PA	0,915	1,183
19	19	19	1	1	48	0,15	HSS	PA	0,691	1,175
20	20	20	1	1	60	0,15	HSS	PA	1,321	1,277
21	21	21	1	1	48	0,10	HSC	PA	0,590	1,087
22	22	22	1	1	60	0,10	HSC	PA	0,387	1,040
23	23	23	1	1	48	0,15	HSC	PA	0,534	1,045
24	24	24	1	1	60	0,15	HSC	PA	0,311	1,032
25	25	25	1	1	48	0,10	HSS	PE	0,658	1,163
26	26	26	1	1	60	0,10	HSS	PE	0,936	1,143
27	27	27	1	1	48	0,15	HSS	PE	0,991	1,067
28	28	28	1	1	60	0,15	HSS	PE	1,302	1,120
29	29	29	1	1	48	0,10	HSC	PE	0,380	1,010
30	30	30	1	1	60	0,10	HSC	PE	0,446	1,103

31	31	31	1	1	48	0,15	HSC	PE	0,443	1,137
32	32	32	1	1	60	0,15	HSC	PE	0,346	1,023
33	33	33	1	1	48	0,10	HSS	PA	0,732	1,107
34	34	34	1	1	60	0,10	HSS	PA	0,723	1,222
35	35	35	1	1	48	0,15	HSS	PA	0,792	1,157
36	36	36	1	1	60	0,15	HSS	PA	0,676	1,272
37	37	37	1	1	48	0,10	HSC	PA	0,462	1,082
38	38	38	1	1	60	0,10	HSC	PA	0,280	1,038
39	39	39	1	1	48	0,15	HSC	PA	0,648	1,045
40	40	40	1	1	60	0,15	HSC	PA	0,414	1,050
41	41	41	1	1	48	0,10	HSS	PE	0,769	1,153
42	42	42	1	1	60	0,10	HSS	PE	1,415	1,150
43	43	43	1	1	48	0,15	HSS	PE	1,019	1,075
44	44	44	1	1	60	0,15	HSS	PE	1,506	1,143
45	45	45	1	1	48	0,10	HSC	PE	0,534	1,007
46	46	46	1	1	60	0,10	HSC	PE	0,401	1,082
47	47	47	1	1	48	0,15	HSC	PE	0,402	1,122
48	48	48	1	1	60	0,15	HSC	PE	0,333	1,020
49	49	49	1	1	48	0,10	HSS	PA	0,912	1,057
50	50	50	1	1	60	0,10	HSS	PA	0,896	1,165
51	51	51	1	1	48	0,15	HSS	PA	0,941	1,185
52	52	52	1	1	60	0,15	HSS	PA	1,125	1,262
53	53	53	1	1	48	0,10	HSC	PA	0,386	1,085
54	54	54	1	1	60	0,10	HSC	PA	0,310	1,042
55	55	55	1	1	48	0,15	HSC	PA	0,697	1,042
56	56	56	1	1	60	0,15	HSC	PA	0,448	1,038
57	57	57	1	1	48	0,10	HSS	PE	0,851	1,143
58	58	58	1	1	60	0,10	HSS	PE	0,982	1,100
59	59	59	1	1	48	0,15	HSS	PE	1,336	1,080
60	60	60	1	1	60	0,15	HSS	PE	1,060	1,157
61	61	61	1	1	48	0,10	HSC	PE	0,583	1,008
62	62	62	1	1	60	0,10	HSC	PE	0,366	1,077
63	63	63	1	1	48	0,15	HSC	PE	0,639	1,118
64	64	64	1	1	60	0,15	HSC	PE	0,275	1,018

## 20. Análisis del diseño factorial del híbrido compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de abacá y vidrio.

### Regresión factorial: abacá Ra vs. Vc; Vf; Herramienta; Orientación Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	4,95426	0,33028	10,74	0,000
Lineal	4	3,92872	0,98218	31,93	0,000
Vc	1	0,00244	0,00244	0,08	0,780
Vf	1	0,28236	0,28236	9,18	0,004
Herramienta	1	3,53111	3,53111	114,80	0,000
Orientación	1	0,11281	0,11281	3,67	0,061
Interacciones de 2 términos	6	0,84300	0,14050	4,57	0,001

Vc*Vf	1	0,00408	0,00408	0,13	0,717
Vc*Herramienta	1	0,47248	0,47248	15,36	0,000
Vc*Orientación	1	0,01667	0,01667	0,54	0,465
Vf*Herramienta	1	0,04311	0,04311	1,40	0,242
Vf*Orientación	1	0,07082	0,07082	2,30	0,136
Herramienta*Orientación	1	0,23583	0,23583	7,67	0,008
Interacciones de 3 términos	4	0,07942	0,01985	0,65	0,633
Vc*Vf*Herramienta	1	0,00030	0,00030	0,01	0,921
Vc*Vf*Orientación	1	0,06369	0,06369	2,07	0,157
Vc*Herramienta*Orientación	1	0,00002	0,00002	0,00	0,982
Vf*Herramienta*Orientación	1	0,01541	0,01541	0,50	0,483
Interacciones de 4 términos	1	0,10312	0,10312	3,35	0,073
Vc*Vf*Herramienta*Orientación	1	0,10312	0,10312	3,35	0,073
Error	48	1,47646	0,03076		
Total	63	6,43072			

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,175384	77,04%	69,87%	59,18%

### Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		0,6909	0,0219	31,52	0,000	
Vc	-0,0123	-0,0062	0,0219	-0,28	0,780	1,00
Vf	0,1328	0,0664	0,0219	3,03	0,004	1,00
Herramienta	-0,4698	-0,2349	0,0219	-10,71	0,000	1,00
Orientación	0,0840	0,0420	0,0219	1,92	0,061	1,00
Vc*Vf	-0,0160	-0,0080	0,0219	-0,36	0,717	1,00
Vc*Herramienta	-0,1718	-0,0859	0,0219	-3,92	0,000	1,00
Vc*Orientación	0,0323	0,0161	0,0219	0,74	0,465	1,00
Vf*Herramienta	-0,0519	-0,0260	0,0219	-1,18	0,242	1,00
Vf*Orientación	-0,0665	-0,0333	0,0219	-1,52	0,136	1,00
Herramienta*Orientación	-0,1214	-0,0607	0,0219	-2,77	0,008	1,00
Vc*Vf*Herramienta	-0,0043	-0,0022	0,0219	-0,10	0,921	1,00
Vc*Vf*Orientación	-0,0631	-0,0315	0,0219	-1,44	0,157	1,00
Vc*Herramienta*Orientación	-0,0010	-0,0005	0,0219	-0,02	0,982	1,00
Vf*Herramienta*Orientación	-0,0310	-0,0155	0,0219	-0,71	0,483	1,00
Vc*Vf*Herramienta*Orientación	0,0803	0,0401	0,0219	1,83	0,073	1,00

### Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\begin{aligned}
 Ra = & 0,06 + 0,0056 Vc + 5,53 Vf + 0,57 Herramienta - 1,36 Orientación - 0,053 Vc*Vf \\
 & - 0,0125 Vc*Herramienta + 0,0290 Vc*Orientación - 0,26 Vf*Herramienta \\
 & + 10,03 Vf*Orientación + 1,83 Herramienta*Orientación - 0,014 Vc*Vf*Herramienta \\
 & - 0,210 Vc*Vf*Orientación - 0,0335 Vc*Herramienta*Orientación \\
 & - 15,07 Vf*Herramienta*Orientación + 0,268 Vc*Vf*Herramienta*Orientación
 \end{aligned}$$

### Estructura de alias

Factor	Nombre
A	Vc
B	Vf
C	Herramienta
D	Orientación

Alias
I
A
B
C
D
AB
AC
AD
BC
BD
CD
ABC
ABD
ACD
BCD
ABCD

#### Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Ra	Ajuste	Resid	Resid est.	
2	0,3070	0,7102	-0,4032	-2,65	R
12	0,6200	1,1220	-0,5020	-3,31	R
36	0,6760	1,0622	-0,3862	-2,54	R
44	1,5060	1,1220	0,3840	2,53	R

*Residuo grande R*

#### Regresión factorial: abacá Fd vs. Vc; Vf; Herramienta; Orientación Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	0,311316	0,020754	27,20	0,000
Lineal	4	0,156768	0,039192	51,35	0,000
Vc	1	0,004669	0,004669	6,12	0,017
Vf	1	0,001988	0,001988	2,60	0,113
Herramienta	1	0,137827	0,137827	180,60	0,000
Orientación	1	0,012284	0,012284	16,10	0,000
Interacciones de 2 términos	6	0,056297	0,009383	12,29	0,000
Vc*Vf	1	0,000136	0,000136	0,18	0,675
Vc*Herramienta	1	0,037701	0,037701	49,40	0,000
Vc*Orientación	1	0,000646	0,000646	0,85	0,362
Vf*Herramienta	1	0,004613	0,004613	6,04	0,018
Vf*Orientación	1	0,004334	0,004334	5,68	0,021

Herramienta*Orientación	1	0,008867	0,008867	11,62	0,001
Interacciones de 3 términos	4	0,062939	0,015735	20,62	0,000
Vc*Vf*Herramienta	1	0,006669	0,006669	8,74	0,005
Vc*Vf*Orientación	1	0,004842	0,004842	6,34	0,015
Vc*Herramienta*Orientación	1	0,010084	0,010084	13,21	0,001
Vf*Herramienta*Orientación	1	0,041344	0,041344	54,17	0,000
Interacciones de 4 términos	1	0,035313	0,035313	46,27	0,000
Vc*Vf*Herramienta*Orientación	1	0,035313	0,035313	46,27	0,000
Error	48	0,036632	0,000763		
Total	63	0,347948			

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0276255	89,47%	86,18%	81,28%

### Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		1,10734	0,00345	320,67	0,000	
Vc	0,01708	0,00854	0,00345	2,47	0,017	1,00
Vf	0,01115	0,00557	0,00345	1,61	0,113	1,00
Herramienta	-0,09281	-0,04641	0,00345	-13,44	0,000	1,00
Orientación	-0,02771	-0,01385	0,00345	-4,01	0,000	1,00
Vc*Vf	-0,00292	-0,00146	0,00345	-0,42	0,675	1,00
Vc*Herramienta	-0,04854	-0,02427	0,00345	-7,03	0,000	1,00
Vc*Orientación	-0,00635	-0,00318	0,00345	-0,92	0,362	1,00
Vf*Herramienta	-0,01698	-0,00849	0,00345	-2,46	0,018	1,00
Vf*Orientación	-0,01646	-0,00823	0,00345	-2,38	0,021	1,00
Herramienta*Orientación	0,02354	0,01177	0,00345	3,41	0,001	1,00
Vc*Vf*Herramienta	-0,02042	-0,01021	0,00345	-2,96	0,005	1,00
Vc*Vf*Orientación	-0,01740	-0,00870	0,00345	-2,52	0,015	1,00
Vc*Herramienta*Orientación	0,02510	0,01255	0,00345	3,63	0,001	1,00
Vf*Herramienta*Orientación	0,05083	0,02542	0,00345	7,36	0,000	1,00
Vc*Vf*Herramienta*Orientación	-0,04698	-0,02349	0,00345	-6,80	0,000	1,00

### Ecuación de regresión en unidades no codificadas

#### Estructura de alias

Factor	Nombre
A	Vc
B	Vf
C	Herramienta
D	Orientación
Alias	
I	
A	
B	
C	

D  
 AB  
 AC  
 AD  
 BC  
 BD  
 CD  
 ABC  
 ABD  
 ACD  
 BCD  
 ABCD

**Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes**

Obs	Fd	Ajuste	Resid	Resid est.	R
5	1,2617	1,1287	0,1329	5,56	R

*Residuo grande R*

**21. Matriz de diseño factorial del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.**

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7-T	C8	C9
	OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Vc	Vf	Herramient	(Ra) coco	(Fd) coco
1	1	1	1	1	48	0,10	HSS	0,790	1,13
2	2	2	1	1	60	0,10	HSS	0,857	1,18
3	3	3	1	1	48	0,15	HSS	0,889	1,14
4	4	4	1	1	60	0,15	HSS	0,567	1,37
5	5	5	1	1	48	0,10	HSC	0,360	1,15
6	6	6	1	1	60	0,10	HSC	0,437	1,09
7	7	7	1	1	48	0,15	HSC	0,424	1,05
8	8	8	1	1	60	0,15	HSC	0,386	1,04
9	9	9	1	1	48	0,10	HSS	0,890	1,13
10	10	10	1	1	60	0,10	HSS	1,068	1,02
11	11	11	1	1	48	0,15	HSS	0,939	1,14
12	12	12	1	1	60	0,15	HSS	0,927	1,26
13	13	13	1	1	48	0,10	HSC	0,412	1,02
14	14	14	1	1	60	0,10	HSC	0,167	1,00
15	15	15	1	1	48	0,15	HSC	0,511	1,00
16	16	16	1	1	60	0,15	HSC	0,329	1,00
17	17	17	1	1	48	0,10	HSS	0,804	1,28
18	18	18	1	1	60	0,10	HSS	0,733	1,07

19	19	19	1	1	48	0,15	HSS	0,889	1,09
20	20	20	1	1	60	0,15	HSS	0,858	1,13
21	21	21	1	1	48	0,10	HSC	0,600	1,00
22	22	22	1	1	60	0,10	HSC	0,387	1,00
23	23	23	1	1	48	0,15	HSC	0,550	1,00
24	24	24	1	1	60	0,15	HSC	0,396	1,00
25	25	25	1	1	48	0,10	HSS	0,721	1,10
26	26	26	1	1	60	0,10	HSS	1,010	1,00
27	27	27	1	1	48	0,15	HSS	0,748	1,05
28	28	28	1	1	60	0,15	HSS	0,856	1,24
29	29	29	1	1	48	0,10	HSC	0,363	1,00
30	30	30	1	1	60	0,10	HSC	0,458	1,00
31	31	31	1	1	48	0,15	HSC	0,437	1,00
32	32	32	1	1	60	0,15	HSC	0,405	1,00

## 22. Análisis del diseño factorial del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de coco.

Regresión factorial: (Ra) coco vs. Vc; Vf; Herramient

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	1,57059	0,22437	18,76	0,000
Lineal	3	1,50565	0,50188	41,97	0,000
Vc	1	0,00738	0,00738	0,62	0,440
Vf	1	0,00009	0,00009	0,01	0,931
Herramient	1	1,49818	1,49818	125,29	0,000
Interacciones de 2 términos	3	0,05369	0,01790	1,50	0,241
Vc*Vf	1	0,02205	0,02205	1,84	0,187
Vc*Herramient	1	0,02520	0,02520	2,11	0,160
Vf*Herramient	1	0,00644	0,00644	0,54	0,470
Interacciones de 3 términos	1	0,01125	0,01125	0,94	0,342
Vc*Vf*Herramient	1	0,01125	0,01125	0,94	0,342
Error	24	0,28698	0,01196		
Total	31	1,85757			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,109350	84,55%	80,05%	72,54%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		0,6303	0,0193	32,60	0,000	
Vc	-0,0304	-0,0152	0,0193	-0,79	0,440	1,00
Vf	0,0034	0,0017	0,0193	0,09	0,931	1,00
Herramient	-0,4327	-0,2164	0,0193	-11,19	0,000	1,00



Vc*Vf	-0,0525	-0,0263	0,0193	-1,36	0,187	1,00
Vc*Herramient	-0,0561	-0,0281	0,0193	-1,45	0,160	1,00
Vf*Herramient	0,0284	0,0142	0,0193	0,73	0,470	1,00
Vc*Vf*Herramient	0,0375	0,0187	0,0193	0,97	0,342	1,00

#### Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$(Ra) \text{ coco} = -0,423 + 0,0193 Vc + 9,52 Vf + 0,809 \text{ Herramient} - 0,175 Vc*Vf - 0,0203 Vc*Herramient - 6,18 Vf*Herramient + 0,125 Vc*Vf*Herramient$$

#### Estructura de alias

Factor	Nombre
A	Vc
B	Vf
C	Herramient
Alias	
I	
A	
B	
C	
AB	
AC	
BC	
ABC	

#### Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	(Ra) coco	Ajuste	Resid	Resid est.	
4	0,5670	0,8020	-0,2350	-2,48	R
14	0,1670	0,3623	-0,1953	-2,06	R

*Residuo grande R*

#### Pareto de los efectos para (Ra) coco

#### Regresión factorial: (Fd) coco vs. Vc; Vf; Herramient

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	0,200550	0,028650	6,96	0,000
Lineal	3	0,126575	0,042192	10,25	0,000
Vc	1	0,000450	0,000450	0,11	0,744
Vf	1	0,003612	0,003612	0,88	0,358
Herramient	1	0,122513	0,122513	29,76	0,000
Interacciones de 2 términos	3	0,049775	0,016592	4,03	0,019
Vc*Vf	1	0,032513	0,032513	7,90	0,010
Vc*Herramient	1	0,002813	0,002813	0,68	0,417
Vf*Herramient	1	0,014450	0,014450	3,51	0,073
Interacciones de 3 términos	1	0,024200	0,024200	5,88	0,023
Vc*Vf*Herramient	1	0,024200	0,024200	5,88	0,023
Error	24	0,098800	0,004117		
Total	31	0,299350			

## Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0641613	67,00%	57,37%	41,32%

## Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		1,0838	0,0113	95,55	0,000	
Vc	0,0075	0,0038	0,0113	0,33	0,744	1,00
Vf	0,0213	0,0106	0,0113	0,94	0,358	1,00
Herramient	-0,1237	-0,0619	0,0113	-5,46	0,000	1,00
Vc*Vf	0,0637	0,0319	0,0113	2,81	0,010	1,00
Vc*Herramient	-0,0188	-0,0094	0,0113	-0,83	0,417	1,00
Vf*Herramient	-0,0425	-0,0213	0,0113	-1,87	0,073	1,00
Vc*Vf*Herramient	-0,0550	-0,0275	0,0113	-2,42	0,023	1,00

## Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$(Fd) \text{ coco} = 2,431 - 0,02594 Vc - 11,05 Vf - 1,109 \text{ Herramient} + 0,2125 Vc*Vf + 0,02135 Vc*Herramient + 9,05 Vf*Herramient - 0,1833 Vc*Vf*Herramient$$

## Estructura de alias

Factor	Nombre
A	Vc
B	Vf
C	Herramient

## Alias

I  
A  
B  
C  
AB  
AC  
BC  
ABC

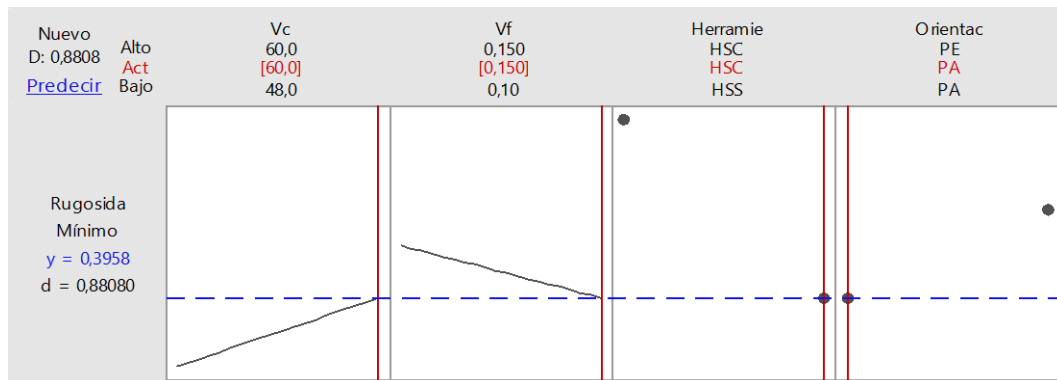
## Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	(Fd) coco	Ajuste	Resid	Resid est.	
2	1,1800	1,0675	0,1125	2,02	R
4	1,3700	1,2500	0,1200	2,16	R
17	1,2800	1,1600	0,1200	2,16	R
20	1,1300	1,2500	-0,1200	-2,16	R

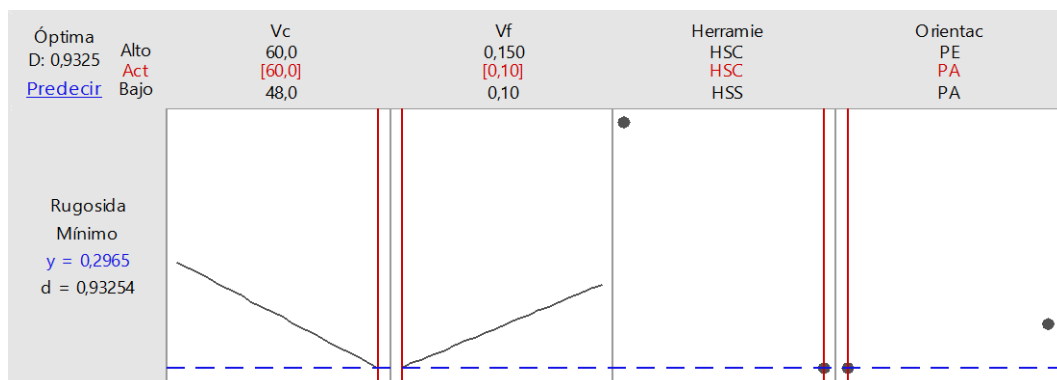
Residuo grande R

### 23. Resultados predichos de la mejor combinación para generar una rugosidad superficial (Ra) mínima de acuerdo al tipo de refuerzo.

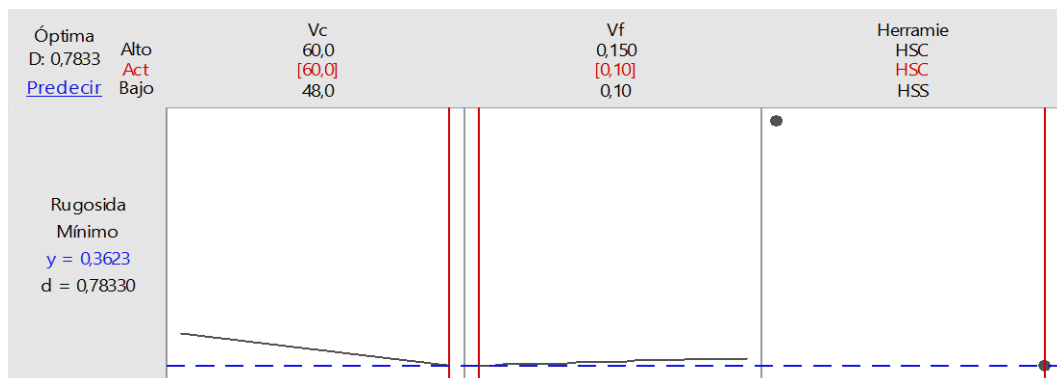
Fibra de cabuya



Fibra de abacá

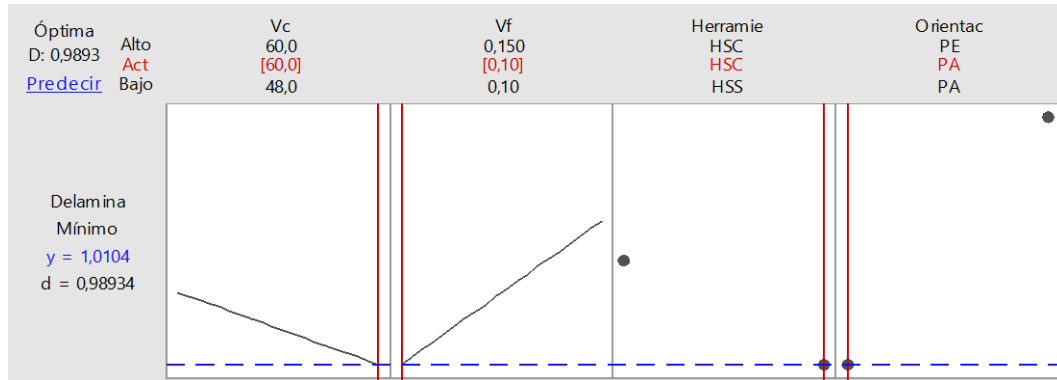


Fibra de coco

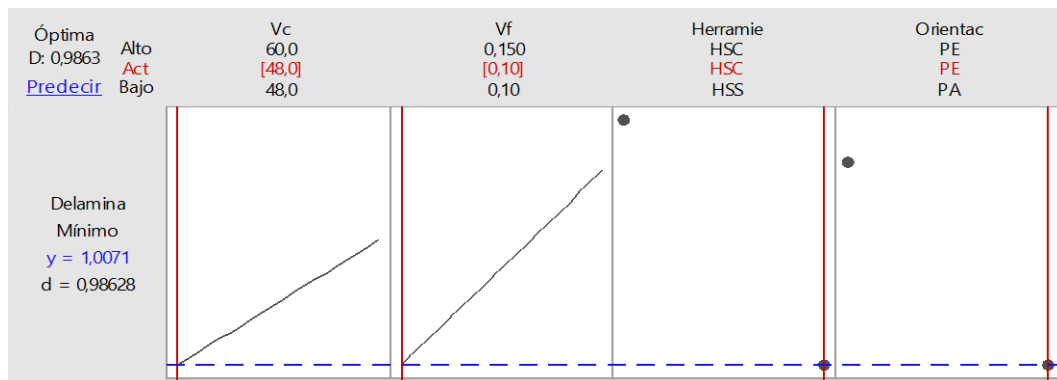


## 24. Resultados predichos de la mejor combinación para generar el mínimo factor de delaminación (Fd)

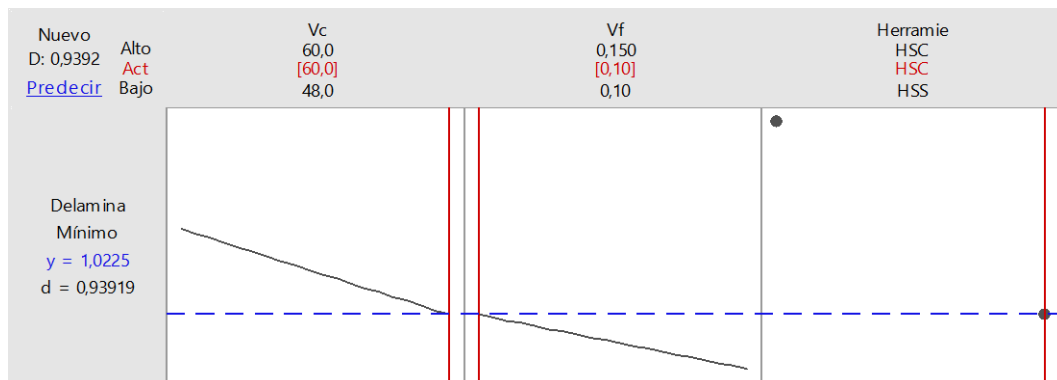
Fibra de cabuya



Fibra de abacá



Fibra de coco



## 25. Factura de adquisición de software

Número de pedido: 100591268525      Nombre:                  Patricio Vasquez  
Fecha del pedido: 2018-01-23 14:41      Correo electrónico: evasquez8877@uta.edu.ec  
Hora estándar del Este      Tarjeta de crédito: Visa \*\*\*\*\*8608  
Esta transacción puede reflejarse como "estore.onthehub.com" en el estado de su cuenta.

### Dirección de facturación

---

Edwin Patricio Vásquez Manzano  
Av. Julio Jaramillo  
Tulio Hidrovo Mayorista- AMBATO  
Ambato 180210  
Ecuador

Ítems (Todos los precios están en Dólares estadounidenses)

---

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

	Cantidad	Precio unitario	Importe
1. <a href="#">Minitab 18 (Multilanguage) (06-Month Rental) - Descargar</a>	1	\$29.99	\$29.99
		Subtotal:	\$29.99
		Impuestos:	--
		Total:	\$29.99