



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“ANÁLISIS DEL PROCESO DE RANURADO Y TALADRADO EN EL
MATERIAL COMPUESTO DE RESINA PLÁSTICA REFORZADA CON
FIBRA DE VIDRIO”

AUTOR: Erika Natali Silva Gavilanez

TUTOR: Ing. Cristian Pérez, Mg.

AMBATO- ECUADOR

2018

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Certifico: 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 Y TALADRADO EN EL MATERIAL COMPUESTO DE RESINA PLÁSTICA REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO”** elaborado por la Srta. Erika Natali Silva Gavilanez, portadora de la cédula de ciudadanía: 0504346032, 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
- ✓ Esta concluido en su totalidad

Ambato, Noviembre 2018

.....
Ing. Cristian Pérez, Mg

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Erika Natali Silva Gavilanez con CI. 0504346032, declaro que los criterios emitidos en este trabajo experimental con el tema: **“ANÁLISIS DEL PROCESO DE RANURADO Y TALADRADO EN EL MATERIAL COMPUESTO DE RESINA PLÁSTICA REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO”**, así como contenidos, ensayos realizados, resultados obtenidos, conclusiones y recomendaciones descritas en el trabajo experimental son de exclusiva responsabilidad de mi autoría.

Ambato, Noviembre 2018

.....

Erika Natali Silva Gavilanez

CI: 0504346032

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.

Ambato, Noviembre 2018

.....

Erika Natali Silva Gavilanez

CI: 0504346032

Autor

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por la estudiante Erika Natali Silva Gavilanez de la carrera de Ingeniería Mecánica bajo el Tema: **“ANÁLISIS DEL PROCESO DE RANURADO Y TALADRADO EN EL MATERIAL COMPUESTO DE RESINA PLÁSTICA REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO”**

Ambato, Diciembre 2018

Para constancia firman:

Ing. Mg. Digo Núñez

Ing. Mg. Oscar Analuisa

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mis amados padres Nelson y Carmen, a quienes admiro mucho y con su ejemplo, con cada consejo, amor y sabiduría han confiado en mí, han estado conmigo en cada etapa de mi vida y me han apoyado para seguir adelante y cumplir esta meta tan anhelada en mi vida, la cual con seguridad es la suya también, a mis hermanos Brayan y Fernanda por todo su apoyo, por cada consejo con amor brindado, por estar siempre junto a mí y quienes son mi motivación y para quienes dese ser un digno ejemplo de superación, así también a una persona muy importante José Luis quien ha compartido y ha estado junto a mí en momentos buenos y malos a lo largo de esta etapa tan esencial en mi vida y con su amor y fortaleza me ayuda siempre a cumplir mis objetivos.

¡Para ustedes estas cortas líneas con todo mi amor y respeto!

AGRADECIMIENTO

A Dios por la fuerza, sabiduría e inteligencia que me da cada día para ser una mejor persona y cumplir cada una de las metas planteadas en mi vida.

A mi familia y a todas las personas quienes me apoyaron guiándome siempre y permitiendo ser mejor cada día, durante este camino que hoy exitosamente culmino.

A mis amigos y compañeros, con quienes hemos compartido durante este camino lleno de momentos de alegría y tristeza y donde solo la perseverancia nos permitió continuar.

A los ingenieros de la Carrera de Ingeniería Mecánica, por formarme profesionalmente compartiendo sus conocimientos, enseñanzas y experiencias de vida durante el proceso de formación profesional.

A mi tutor Ing. Mg. Cristian Pérez por su paciencia y dedicación, por haberme brindado su apoyo incondicional e impartir sus conocimientos durante el desarrollo de este trabajo experimental.

A la empresa MASTER FIBRA, en especial a su propietario Sr. Víctor Vascones, por permitirme el uso de sus instalaciones para el desarrollo del presente trabajo y brindarme sus conocimientos.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	11
1.1 Tema del Trabajo Experimental	11
1.2 Antecedentes.....	11
1.3 Justificación.....	12
1.4 Objetivos.....	13
1.4.1 Objetivo General.....	13
1.4.2 Objetivos Específicos	13
CAPÍTULO II	14
2.1 Fundamentación Teórica	14
2.1.1 Materiales compuestos.....	14
2.1.2 Fibra de Vidrio.....	15
2.1.3 Materiales matriz utilizados para materiales compuestos de plásticos reforzados con fibras.....	16
2.1.4 Mecanizado de materiales compuestos.....	18
2.1.5 Delaminación.....	29
2.1.6 Rugosidad Superficial.....	32
2.2 Hipótesis	35
2.3 Señalamiento de las variables de la hipótesis.....	35
2.3.1 Variable independiente	35
2.3.2 Variable dependiente	35
CAPÍTULO III.....	36
3. METODOLOGÍA	36
3.1 Nivel o tipo de investigación.....	36
3.1.1 Investigación bibliográfica	36
3.1.2 Investigación exploratoria.....	36
3.1.3 Investigación descriptiva	36
3.1.4 Investigación experimental.....	36
3.2 Población y muestra	37
3.2.1 Población	37
3.2.2 Muestra	37
3.3 Operacionalización de variables.....	40
3.3.1 Variable dependiente: Calidad superficial.....	40
3.3.2 Variable independiente: Análisis del proceso de ranurado y taladrado.....	41

3.4 Plan de recolección de información	42
3.5 Plan de procesamiento y análisis	42
3.5.1 Revisión de datos	42
3.5.3 Análisis de datos	43
3.5.4 Presentación de análisis realizados	43
3.5.5 Interpretación de resultados	43
CAPÍTULO IV	44
4. Análisis e interpretación de resultados.....	44
4.1 Recolección de datos	44
4.1.2 Obtención de la materia prima.....	45
4.1.3 Especificación de la composición de los materiales compuestos	46
4.1.4 Fabricación de los materiales compuestos.....	47
4.1.5 Procesos de mecanizado	50
4.1.6 Mediciones de rugosidad superficial	55
4.1.7 Mediciones de delaminación	57
4.1.8 Fichas de reporte de rugosidad superficial	60
4.1.9 Fichas de reporte del factor de delaminación	64
4.1.10 Estadística descriptiva de los datos obtenidos	68
4.1.11 Graficas de rugosidad superficial de acuerdo a las velocidades de corte y avance	76
4.1.12 Parámetros óptimos de mecanizado.....	86
4.2 Análisis de los resultados	88
4.2.1 Análisis de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio	88
4.2.2 Análisis de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio	89
4.2.3 Análisis de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio	90
4.2.4 Análisis de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio	93
4.2.5 Análisis de la delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio.....	95
4.2.6 Análisis de la delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio	96
4.2.7 Análisis de la delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio.....	98

4.2.8 Análisis de la delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio	100
4.3 Verificación de hipótesis	102
CAPÍTULO V	104
5.1 Conclusiones.....	104
5.2 Recomendaciones	106
BIBLIOGRAFÍA.....	107
ANEXOS.....	110
Anexo 1. Ficha técnica Fibra de Vidrio	110
Anexo 2. Ficha técnica Resina Poliéster	111
Anexo 3. Ficha técnica Resina Epóxica	114
Anexo 4. Fresa CERIN 108 GFD utilizada en el proceso de ranurado.....	116
Anexo 5. Fresa cilíndrica de diamante	117
Anexo 6. Broca Cerin 118 utilizada en el proceso de taladrado	118
Anexo 7. Broca helicoidal con incrustaciones de diamante	119
Anexo 8. Sujeción de las probetas de ranurado.....	119
Anexo 9. Sujeción de las probetas de taladrado	120
Anexo 10. Ranurado del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio.....	120
Anexo 11. Ranurado del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio.....	121
Anexo 12. Taladrado del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio.....	122
Anexo 13. Taladrado del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio.....	123
Anexo 14. Probetas de ranurado y taladrado codificadas.....	123
Anexo 15. Herramientas de fresado, después del mecanizado.....	124
Anexo 16. Herramientas de taladrado, después del mecanizado.....	124
Anexo 17. Informe de las pruebas de rugosidad superficial (Ra)	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2- 1. Proceso de fabricación de vidrio	15
Figura 2- 2. Corte ortogonal y corte oblicuo.....	19
Figura 2- 3. Movimientos del proceso de fresado.....	19
Figura 2- 4. Aplicaciones del ranurado (Ranuras con ángulo, ranuras rectas, chaveteros, ranuras en forma de T)	20
Figura 2- 5. Velocidad de avance en el fresado	23
Figura 2-6. Tipos de perforaciones: a) Agujero cilíndrico pasante, b) Agujero cilíndrico ciego, c) Agujero cónico pasante	24
Figura 2- 7. (a) Movimiento de corte y (b) Movimiento de avance del taladrado	24
Figura 2- 8. Partes de la broca.....	25
Figura 2- 9. Broca de mango cónico	26
Figura 2- 10. Punta de la broca	26
Figura 2- 11. Principales ángulos de una broca	27
Figura 2- 12. Parámetros de corte del taladrado	28
Figura 2- 13. (A) Delaminación push-out (B) Delaminación peel-up	30
Figura 2- 14. Delaminación de una ranura.....	32
Figura 2- 15. Rugosidad superficial.....	32
Figura 2- 16. Rugosímetro Mitutuyo SJ2010.....	35
Figura 4- 1. Diagrama de flujo del análisis y procesamiento de datos.....	45
Figura 4- 2. Dimensiones de la plancha para el proceso de ranurado.....	46
Figura 4- 3. Dimensiones de la plancha para el proceso de taladrado	46
Figura 4- 4. Fresa CNC Travis M-1000	51
Figura 4- 5. Ranurado de matriz de poliéster reforzada con fibra de vidrio	52
Figura 4- 6. Ranurado de matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio	52
Figura 4- 7. Taladrado de matriz de poliéster reforzada con fibra de vidrio	53
Figura 4- 8. Taladrado de matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio.....	53
Figura 4- 9. Rugosímetro Mitutuyo SJ210.....	55
Figura 4- 10. Patrón de medición del rugosímetro.....	55
Figura 4- 11. Medición de rugosidad superficial de la probeta ranurada.....	56
Figura 4- 12. Medición de rugosidad superficial de la probeta taladrada	56
Figura 4- 13. Microscopio USB	57
Figura 4- 14. Calibración del microscopio.....	58

Figura 4- 15. Gráfica de los datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio.....	68
Figura 4- 16. Gráfica de los datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio.....	69
Figura 4- 17. Gráfica de los datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio	70
Figura 4- 18. Gráfica de los datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio	71
Figura 4- 19. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio.....	72
Figura 4- 20. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio.....	73
Figura 4- 21. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio.....	74
Figura 4- 22. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio.....	75
Figura 4- 23. Gráfica de los datos de rugosidad superficial del proceso de ranurado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de corte.....	76
Figura 4- 24. Gráfica de los datos de rugosidad superficial del proceso de ranurado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de avance.....	77
Figura 4- 25. Gráfica de los datos de rugosidad superficial del proceso de ranurado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de corte.....	78
Figura 4- 26. Gráfica de los datos de rugosidad superficial del proceso de ranurado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de avance.....	79
Figura 4- 27. Gráfica de los datos de rugosidad superficial del proceso de taladrado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de corte.....	80

Figura 4- 28. Gráfica de los datos de rugosidad superficial del proceso de taladrado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de avance.....	80
Figura 4- 29. Gráfica de los datos de rugosidad superficial del proceso de taladrado del compuesto matriz epòxica reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de corte.....	81
Figura 4- 30. Gráfica de los datos de rugosidad superficial del proceso de taladrado del compuesto matriz epòxica reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de avance.....	82
Figura 4- 31. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de corte.....	82
Figura 4- 32. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de avance.....	83
Figura 4- 33. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz epòxica reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de corte.....	83
Figura 4- 34. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz epòxica reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de avance.....	84
Figura 4- 35. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de corte.....	84
Figura 4- 36. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de avance.....	85
Figura 4- 37. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz epòxica reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de corte.....	85
Figura 4- 38. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz epòxica reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de avance.....	86

Figura 4- 39. Gráfica de distribución normal de los datos rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio	88
Figura 4- 40. Gráfica de distribución normal de los datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio	90
Figura 4- 41. Gráfica de distribución normal de los datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio	91
Figura 4- 42. Gráfica de distribución normal de los datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio	93
Figura 4- 43. Gráfica de distribución normal de los datos de la delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio	96
Figura 4- 44. Gráfica de distribución normal de los datos de la delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio ...	97
Figura 4- 45. Gráfica de distribución normal de los datos de la delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio	98
Figura 4- 46. Gráfica de distribución normal de los datos de la delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio.	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2- 1. Propiedades de las resinas poliéster y epòxicas moldeadas sin relleno... 17	17
Tabla 2- 2. Métodos de evaluación de la delaminación en el proceso de taladrado .. 31	31
Tabla 2- 3. Número de grados de rugosidad 33	33
Tabla 2- 4. Valores de rugosidad media en procesos de mecanizado 34	34
Tabla 3- 1. Factores experimentales del proceso de ranurado y taladrado 37	37
Tabla 3- 2. Diseño experimental para el proceso de Ranurado..... 38	38
Tabla 3- 3. Diseño experimental para el proceso de taladrado 39	39
Tabla 3- 4. Plan de recolección de información.....42	42
Tabla 4- 1. Materiales usados en el proceso de estratificación manual 48	48
Tabla 4- 2. Proceso de fabricación por estratificación manual 49	49
Tabla 4- 3. Herramientas de fresado 51	51
Tabla 4- 4.Herramientas de taladrado 53	53
Tabla 4- 5. Codificación de las muestras de ranurado 54	54
Tabla 4- 6. Codificación de las muestras de taladrado..... 54	54
Tabla 4- 7. Medición de la delaminación mediante las imágenes obtenidas con el microscopio USB 59	59
Tabla 4- 8. Parámetros óptimos del proceso de ranurado 87	87
Tabla 4- 9. Parámetros óptimos del proceso de taladrado 87	87
Tabla 4- 10. Datos estadísticos la rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio..... 92	92
Tabla 4- 11. Datos estadísticos la rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz epòxica reforzado con fibra de vidrio..... 94	94
Tabla 4- 12. Datos estadísticos del factor de delaminación (Fd) del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio..... 99	99
Tabla 4- 13. Datos estadísticos del factor de delaminación (Fd) del proceso de taladrado del compuesto matriz epòxica reforzado con fibra de vidrio..... 102	102

RESUMEN EJECUTIVO

ANÁLISIS DEL PROCESO DE RANURADO Y TALADRADO EN EL MATERIAL COMPUESTO DE RESINA PLÁSTICA REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO

Autor: Erika Natali Silva Gavilanez

Tutor: Ing. Cristian Pérez, Mg

En los últimos años se ha incrementado el uso de los materiales compuestos en la industria, esto debido a su alta resistencia y bajo peso, por tal razón el estudio de procesos de mecanizado en materiales compuestos es muy importante para determinar parámetros de corte óptimos, los cuales permitan obtener un mecanizado de calidad.

En el presente estudio se realizó el análisis de parámetros de corte para dos procesos importantes como son el ranurado y taladrado en dos materiales compuestos: matriz de resina poliéster reforzada con fibra de vidrio y matriz de resina epóxica reforzada con fibra de vidrio, estos materiales fueron fabricados por el método de estratificación manual con una composición volumétrica: 70% matriz y 30% refuerzo.

Para el proceso de ranurado y taladrado se utilizaron dos herramientas de corte exclusivas para mecanizar materiales compuestos, además se utilizó el método experimental DOE, el cual nos permitió obtener las combinaciones de parámetros de corte (velocidad de corte y velocidad de avance), con las cuales se realizaron las pruebas de mecanizado correspondientes a cada proceso, en las muestras obtenidas se realizaron mediciones de rugosidad superficial (R_a) y delaminación la cual está definida mediante un factor de delaminación (F_d).

Los resultados obtenidos, permitieron definir los parámetros de corte para ranurado y taladrado con los cuales se obtuvo la mejor calidad superficial y la menor delaminación del material compuesto mecanizado.

EXECUTIVE SUMMARY

ANALYSIS OF THE GROOVING AND DRILLING PROCESS IN THE MATERIAL COMPOSITE OF PLASTIC RESIN REINFORCED WITH GLASS FIBER

Author: Erika Natali Silva Gavilanez

Tutor: Ing. Cristian Pérez, Mg

In recent years the use of composite materials in industry has increased, due to its high strength and low weight, for this reason the study of machining processes in composite materials is very important to determine optimum cutting parameters, which allow to obtain a quality machining.

In the present study the analysis of cutting parameters was carried out for two important processes such as grooving and drilling in two composite materials: polyester resin matrix reinforced with fiberglass and epoxy resin matrix reinforced with fiberglass, these materials were manufactured by the manual stratification method with a volumetric composition: 70% matrix and 30% reinforcement.

For the grooving and drilling process, two exclusive cutting tools were used to machine composite materials, and the DOE experimental method was used, which allowed us to obtain the combinations of cutting parameters (cutting speed and feed rate), with the which were carried out the machining tests corresponding to each process, in the samples obtained measurements of surface roughness (Ra) and delamination that is defined by a delamination factor (Fd).

The results obtained allowed us to define the cutting parameters for grooving and drilling, with which the best surface quality and the lowest delamination of the mechanized composite material were obtained.

CAPÍTULO I

1.1 Tema del Trabajo Experimental

ANÁLISIS DEL PROCESO DE RANURADO Y TALADRADO EN EL MATERIAL COMPUESTO DE RESINA PLÁSTICA REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO

1.2 Antecedentes

Entre las investigaciones previas podemos citar las siguientes:

Daniel Federico Castro Chico (2015), en su trabajo investigativo evaluó las propiedades mecánicas (tracción, flexión e impacto) ,del material compuesto de matriz poliéster reforzado fibra de vidrio, utilizado en la fabricación del interior de carrocerías [1].

Manohar Velaga y Rahul M. Cadambi (2006), realizaron un estudio sobre el proceso de taladrado, en el mismo se utilizó el material compuesto de fibras de vidrio con resina epóxica, se realizaron las perforaciones utilizando una broca HSS de 10 mm de diámetro. Se emplearon parámetros de corte como velocidades del husillo: 400, 700 y 1000 rpm y la velocidad de avance desde 0,2, 0,4 y 0,6 mm/rev, además el factor de delaminación ha sido capturado y calculado por medio de la herramienta de análisis de imagen. Simulación y los resultados experimentales se complementan entre sí. Finalmente luego de los experimentos realizados con las respectivas velocidades, se obtiene que los parámetros óptimos son: velocidad de del husillo de 700 rpm y alimentación la tasa de 0.4 mm / rev. [2]

Vinod Kumar Vankanti (2013), realizo un estudio sobre optimización del proceso de taladrado, usando el material compuesto de fibra de vidrio E reforzado con resina epóxica. Los experimentos se realizaron en un centro de mecanizado vertical CNC, y una herramienta de corte HSS de 10 mm de diámetro, donde los autores luego de realizar todos los experimentos concluyen que la velocidad de 500 rpm, velocidad de avance a 0.04 mm/ rev, ángulo de puntaje en 90° y ancho de borde de cincel de 0,8 mm para la fuerza de empuje, son los parámetros más óptimos para obtener una buena calidad superficial. Además los resultados del análisis ANOVA indicaron que la

velocidad de avance y la velocidad del husillo son influencia más significativa en la fuerza de empuje, torque, acabado de la superficie y en el error de circularidad del agujero. [3]

En el estudio realizado por M.P. Jenarthanani y R. Jeyapaul (2013), realizaron un estudio sobre el proceso de fresado en el material compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de vidrio aplicando el método experimental de Taguchi, en el mismo se realizaron experimentos variando los parámetros de corte, obteniendo resultados como la velocidad del husillo de 4000 rpm y velocidad de avance de 0.04 mm/rev con las cuales la rugosidad superficial fue menor. [4]

1.3 Justificación

El presente trabajo experimental surge debido a la necesidad de conocer, el comportamiento de los materiales compuestos reforzados con fibras al ser mecanizados y al gran incremento de uso que presentan hoy en día estos materiales en la industria. [5]

Este proyecto se encuentra enfocado específicamente en los procesos de ranurado y taladrado en materiales compuestos de resina plástica reforzada con fibra de vidrio, mediante la utilización de un centro de mecanizado y herramientas adecuadas, alcanzando un acabado superficial, actualmente existen pocas fuentes bibliográficas y experimentos acerca de este procesos debido a su forma y comportamiento tan variable que presentan al momento de ser mecanizados.[6]

La fibra de vidrio es una sustancia compuesta de pequeños hilos de vidrio. Estas fibras son ampliamente utilizadas en el mundo en la construcción, la industria manufacturera, y en las industrias de servicios. [7] Los materiales de fibra de vidrio son muy populares por sus atributos de alta resistencia en contraste con un peso relativamente ligero. El principal uso de esta fibra es la fabricación de plásticos reforzados. [8]

En la actualidad al conocer las propiedades que ofrece la fibra de vidrio se ha desarrollado nuevos materiales compuestos, interviniendo así en los procesos de fabricación de la industria. [9] Sin embargo, para realizar procesos de mecanizado como el ranurado y taladrado en estos materiales, es importante conocer parámetros

fundamentados como la geometría del herramental, la velocidad de corte y profundidad de corte, todo esto para obtener acabados superficiales adecuados. [9]

La realización de este trabajo experimental generará un incremento de utilización confiable de estos materiales en las diferentes industrias que lo ameritan, dado que presentan propiedades importantes como su bajo peso, además de varias opciones de procesos de fabricación mediante moldeo, lo cual facilita la fabricación de piezas. [8]

Este proyecto experimental resulta beneficioso para diferentes grupos como: los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, para quienes será de gran aporte bibliográfico para futuros trabajos. Además, la industria local que busca incrementar el uso de este tipo de compuestos, para quien se generará parámetros de mecanizado importantes para el uso del mismo en sus procesos de fabricación.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Analizar el proceso de ranurado y taladrado en el material compuesto de resina plástica reforzada con fibra de vidrio

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar el modelo experimental de investigación del proceso de ranurado y taladrado de dicho material compuesto.
- Fabricar las probetas de los materiales compuestos: resina poliéster más fibra de vidrio y resina epóxica más fibra de vidrio
- Desarrollar pruebas experimentales modificando los parámetros de corte (velocidad, avance) en el proceso de ranurado y taladrado de los materiales compuestos antes mencionados.
- Analizar los datos obtenidos en los experimentos.
- Interpretar los resultados obtenidos.

CAPÍTULO II

2.1 Fundamentación Teórica

2.1.1 Materiales compuestos

En los últimos años el crecimiento de la industria de los materiales compuestos ha sido muy evidente, un material compuesto es aquel que se forma de una matriz conocida como material aglutinante y el refuerzo que puede ser fibras o partículas, así podemos encontrar, los materiales reforzados con partículas presentan propiedades más isotrópicas en comparación con los reforzados con fibras, en los cuales propiedades mecánicas como su rigidez, resistencia, entre otras, dependen de la orientación de dichas fibras, es decir este tipo de materiales presentan propiedades anisotrópicas. En un material compuesto de matriz polimérica, la ubicación de las fibras en paralelo proporciona una mayor rigidez al material.

Hoy en día se busca diseñar materiales compuestos reforzados con fibras, los cuales presenten una elevada resistencia y rigidez pero con una baja densidad, usualmente se utilizan como material de refuerzo fibras sintéticas como: el carbón, el vidrio y la aramida, con las cuales es posible obtener relaciones idóneas de rigidez/ peso y resistencia/ peso, motivo por el cual son utilizadas en determinados sectores de la industria. [10]

Los materiales compuestos GFRP (polímeros reforzados con fibra de vidrio) son extremadamente abrasivos cuando se mecanizan, por lo tanto, la selección de la herramienta de corte y los parámetros de corte es muy importante en el proceso de mecanizado.

La fibra de vidrio es más utilizada, debido a su costo menor en referencia a las otras fibras antes mencionadas, sin embargo a pesar del elevado costo de las fibras de carbono y aramida son empleadas en el ámbito aeroespacial y aeronáutico debido a que estas presentan menor densidad y una mayor solidez. [11]

2.1.2 Fibra de Vidrio

La fibra de vidrio es un material constituido de filamentos poliméricos, dichos filamentos son extremadamente finos basados en dióxido de silicio (SiO_2). [11] Estas fibras son obtenidas al extraer monofilamentos de vidrio a partir de la fundición de vidrio en un horno, al reunir un gran número de filamentos estos se tuercen para formar un hilo de fibra de vidrio como se muestra en la siguiente figura:

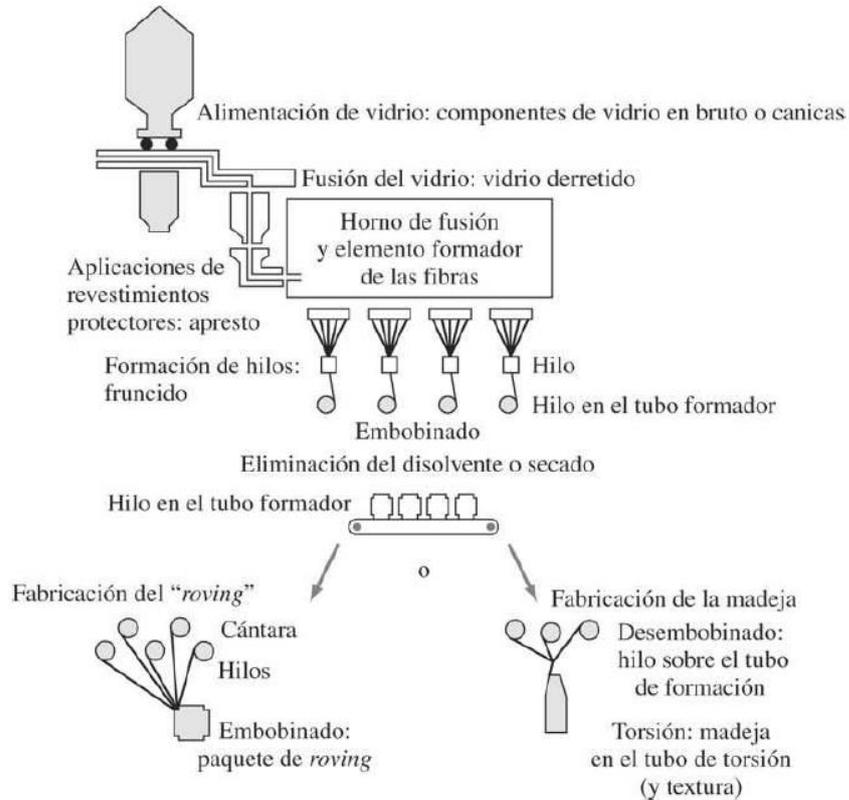


Figura 2- 1. Proceso de fabricación de vidrio

Fuente. [11]

Con estos hilos se forman madejas de fibra de vidrio conocidas como rovings, los cuales pueden presentarse como filamentos de hilos continuos o también como hilos entretreídos. [11] Las fibras de vidrio son usadas como material de refuerzo en materiales compuestos, por las siguientes razones:

- Presenta facilidad para hilar en fibras de alta resistencia.
- Su bajo costo y disponibilidad en el mercado.
- Es una fibra relativamente fuerte, la cual al ser combinada con una matriz plástica produce un compuesto de alta resistencia y baja densidad.

- Resistencia a la corrosión química o galvánica y eléctrica

La mayoría de materiales compuestos de matriz plástica y reforzados con fibra de vidrio presentan temperaturas de servicio inferiores a 200 °C, debido a que ante la presencia de temperaturas superiores la mayoría de polímeros tienden a fluir y presentar deterioro. [12]

La industria en la que se ha evidenciado el mayor uso de la fibra de vidrio es la industria carrocería en la cual se fabrican partes y piezas de las carrocerías con la finalidad de disminuir el peso de los vehículos sin afectar la resistencia mecánica de los mismos. [12]

Existen algunas clases de vidrio, las dos clases comúnmente usadas para fabricar la fibra de vidrio utilizada para materiales compuestos, son las siguientes:

- **Vidrio E**, tiene buenas propiedades de resistencia, rigidez y de desgaste, una de sus ventajas frente a los otros vidrios es su bajo costo en el mercado. Básicamente se compone de: 52-56% de SiO₂, 12-16% de Al₂O₃, 16-25% CaO y 8-13% de B₂O₃. Sus propiedades mecánicas son: resistencia a la tensión es de 500 KPsi (3.44 GPa), y un módulo de elasticidad de 10.5 MPsi (72.3 GPa). [12]
- **Vidrio S**, esta clase de vidrio es más resistente a la temperatura y una resistencia mayor en comparación al vidrio E, sin embargo su alto costo ha limitado su uso, siendo así que su uso está centrado en grandes industrias como la industria aeronáutica. Una composición típica del vidrio S es de cerca de 65% SiO₂, 25% Al₂O₃ y 10% de Mg O. La resistencia a la tensión del vidrio S es superior a 650 ksi (4.48 GPa) y su módulo de elasticidad es de 12.4 MPsi (85.4 GPa), aproximadamente. [12]

2.1.3 Materiales matriz utilizados para materiales compuestos de plásticos reforzados con fibras.

Entre las matrices de resinas plásticas más utilizadas e importantes en la fabricación de materiales compuestos se destacan las resinas de poliéster no saturadas y las resinas epòxicas. A continuación se detallan algunas propiedades de las mismas [11]:

Tabla 2- 1. Propiedades de las resinas poliéster y epòxicas moldeadas sin relleno

	Poliéster	Epòxica
Resistencia a la tensión, Ksi (GPa)	6-13 (40-90)	8-19 (55-130)
Módulo de elasticidad bajo tensión MPsi (GPa)	0.30-0.64 (2-4.4)	0.41-0.61 (2.8-4.2)
Esfuerzo de fluencia a la flexión, Ksi (GPa)	8.5-23 (60-160)	18.1 (125)
Resistencia al impacto (prueba Izod de resiliencia), pie*lb/pulg (J/m) con muesca	0.2-0.4 (10.6-21.2)	0.1-1 (5.3-53)
Densidad g/cm³	1.10-1.46	1.2 – 1.3

Fuente. [11]

2.1.3.1 Resina poliéster

Este tipo de resina es el resultado de una reacción de un diol (alcohol con dos grupos OH), más un diácido (ácido con dos grupos COOH) con doble enlace de carbono-carbono reactivo. Las resinas comerciales tienen una mezcla de distintos dioles y diácidos con el objetivo de obtener propiedades especiales. [11]

Los poliéster insaturados tienen enlaces de forma cruzada con moléculas tipo vinilo, como el estireno, ante la adición de un agente de curado por radicales libres, los agentes de curado que se usan con mayor frecuencia son los de curado a base de peróxido de metil etil cetona (MEK), el proceso de curado de los poliéster es a temperatura ambiente. Una pequeña cantidad de naftalato de cobalto produce que la reacción se active. [11]

Estas resinas de poliéster insaturadas tienen baja viscosidad por lo cual pueden mezclarse con grandes cantidades de cargas y refuerzos, por ejemplo en un material compuesto estos poliéster aproximadamente pueden contener hasta el 80% en peso de refuerzos de fibra de vidrio. Las técnicas de procesamiento de estas resinas son: de aspersión a molde abierto o de nebulización a pistola, estas técnicas en cuanto a piezas de volumen pequeño, mientras que para piezas de grandes volúmenes se usa comúnmente moldeo por compresión. [11]

2.1.3.2 Resina epóxica

Estas resinas pertenecen a una familia de materiales de polímeros termofijos, los cuales no generan productos de reacción al momento que son endurecidos y, en consecuencia presentan una baja contracción en el proceso de curado. Entre sus principales propiedades podemos destacar: buena adhesión a otros materiales, buenas propiedades mecánicas así como buen aislante térmico. [11]

Las resinas epóxicas, químicamente tienen dos o más grupos epóxicos por molécula. En el proceso de curado de estas resinas se utilizan aminas como la dietilentriamina y la trietilentetramina bajo condiciones de temperaturas menores a 100 °C aproximadamente. Algunas resinas epóxicas ante un reactivo de curado se entrelazan en forma cruzada, mientras que otras tienen la capacidad de reaccionar con sus propios sitios reactivos ante la aplicación de un catalizador apropiado. [11]

Este tipo de resinas antes de ser curadas tienen bajo peso molecular en estado líquido, esto les proporciona una excepcional capacidad de movimiento durante el procesado, esto permite a la resina epóxica líquida cubrir rápida y totalmente superficies húmedas, su propiedad humectante es una ventaja importante cuando son usadas en materiales reforzados y adhesivos. [11]

Su aplicación es amplia en recubrimientos protectores y decorativos como revestimientos de latas y pinturas de carrocerías, debido a sus excelentes propiedades de adhesión, resistencia mecánica y química. Además se utiliza para la fabricación de laminados y en los materiales compuestos como matriz de fibra reforzada. [10]

2.1.4 Mecanizado de materiales compuestos

El mecanizado se conoce como un proceso de manufactura, el cual tiene por objetivo dar forma y dimensiones a una pieza mediante la eliminación de material en capas conocidas como virutas o rebabas, mediante la utilización de diferentes herramientas de corte. [13]

En los procesos de mecanizado el arranque de viruta puede ser por corte ortogonal u oblicuo, la diferencia de estos cortes está en el ángulo de inclinación del filo con respecto a la dirección del desplazamiento relativo que existe entre la pieza y la herramienta de corte, es así que en el corte oblicuo existe cierto ángulo i (como se muestra en la figura 2-2) entre el filo y dicha dirección mientras que en el corte

ortogonal existe un ángulo de 90° , es decir el filo es perpendicular a esta dirección antes mencionada. [13]

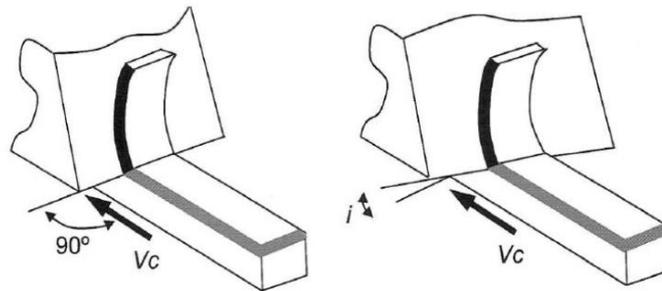


Figura 2- 2. Corte ortogonal y corte oblicuo

Fuente. [13]

En el caso de los materiales compuestos la obtención de un mecanizado satisfactorio depende en gran parte de la naturaleza de las fibras que lo componen. [13]

2.1.4.1 Proceso de Fresado

El fresado es uno de los procesos de mecanizado más versátiles e indispensables en la manufactura, consiste básicamente en el corte de material utilizando una herramienta rotativa conocida como fresa, la cual puede tener uno o varios filos de corte. [14]

El proceso de corte se produce con el giro de la herramienta de corte (movimiento principal) que remueve el material mientras se mueve a lo largo de varios ejes (movimiento de avance) con respecto a la pieza mecanizada, la cual se encuentra fija en la mesa de trabajo de la maquina fresadora, como se muestra en la figura 2-3. [14]

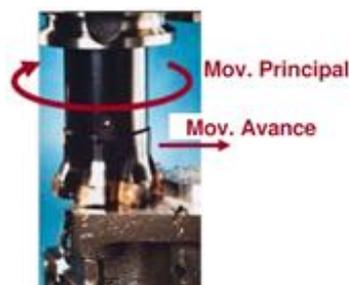


Figura 2- 3. Movimientos del proceso de fresado

Fuente. [14]

En la actualidad las operaciones de fresado han ido en aumento con el uso de fresadoras de control numérico (CNC), lo cual permite obtener piezas con mecanizados de mayor precisión.

El fresado es uno de los procesos de mecanizado más importantes en la fabricación de piezas de materiales compuestos, sin embargo a diferencia del fresado de los metales, en los cuales existen altas tasas de eliminación de material, en los materiales compuestos como los de fibra de vidrio la eliminación de material es mucho menor. [14]

2.1.4.2 Proceso de Ranurado

El ranurado es una operación de fresado que consiste en mecanizar un canal a lo largo de una pieza, estas ranuras se realizan generalmente para ensamblar piezas, así también pueden ser orificios largos usados en aplicaciones como paso del aire en un sistema de aire acondicionado, máquinas de insertar monedas, etc. En este proceso se usan con frecuencia fresas cilíndricas de mango, generalmente estas tienen la dimensión del ancho de la ranura. [15]

La fresa utilizada para ranurar es muy sensible a los efectos de las fuerzas de corte, como por ejemplo: la desviación y vibración los cuales pueden ser factores de limitación del proceso, esto se presenta con mayor frecuencia en mecanizados de alta velocidad. El ranurado tiene aplicaciones como: fresado de chaveteros, fresado de ranuras en forma de T (con el uso de fresas especiales), ranuras en ángulo, perfiles curvos, etc. [15]

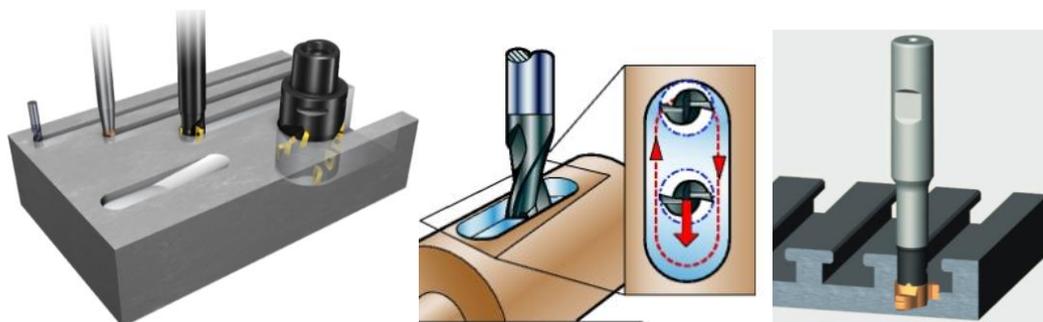


Figura 2- 4. Aplicaciones del ranurado (Ranuras con ángulo, ranuras rectas, chaveteros, ranuras en forma de T)

Fuente. [15]

Materiales de las fresas

Las fresas son fabricadas comúnmente de los siguientes materiales:

Aceros de alto carbono. Es un material usado raramente, debido a que las fresas de este material pierden sus propiedades ante temperaturas mayores a 200 °C en la zona de corte, se utilizan para realizar operaciones de fresado en piezas de latón o aluminio.

Acero de alta velocidad. Es el material más usado para fabricar fresas, debido a que este material permite realizar trabajos a altas velocidades y conservar sus propiedades hasta 580°C. Los aceros de superalta velocidad tienen 4 o 10 % de cobalto, el cual les proporciona mejores propiedades que los aceros de alta velocidad.

Carburos de tungsteno. Conocidos también como carburos cementados, las fresas de este material son capaces de cortar 2172 veces más rápido en comparación con los aceros de alta velocidad.

Estelita. Este material de fresado es empleado para mecanizar materiales duros como el bronce y hierro fundido. [13]

Parámetros de mecanizado

Velocidad de corte (V_c)

La velocidad de corte se define como una velocidad lineal presente en la periferia de la herramienta de corte llamada fresa, esta depende de factores como el material de la fresa así como la maquinabilidad del material a mecanizar [16]. Esta velocidad se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$V_c = \frac{\pi DN}{1000} \text{ m/min} \quad (\text{Ec. 2-1})$$

Dónde:

D: Diámetro de la fresa (mm)

N: Velocidad de rotación de la fresa (rpm)

1/1000: Transformación de mm a m

Es importante destacar que la vida útil de la herramienta depende de esta velocidad, altas velocidades de corte disminuyen el tiempo del mecanizado pero a su vez aumentan el desgaste de la fresa, mientras que velocidades demasiado bajas producen dificultad en la evacuación de la viruta, además de aumentar el tiempo de mecanizado de una pieza lo cual produce baja productividad y eleva el costo de producción, razones por las cuales es uno de los parámetros fundamentales a considerar antes de realizar un mecanizado. [16]

Velocidad de rotación (N)

La velocidad de rotación es la velocidad de giro del husillo portaherramientas, en una fresadora convencional esta velocidad depende de la velocidad del giro del motor de la misma, además de las velocidades suministradas por la caja de cambios de la máquina. Sin embargo actualmente se ha promovido el uso de fresadoras CNC, las cuales tienen velocidades que están controladas con un sistema de realimentación con el cual es posible seleccionar una velocidad dentro de un rango de velocidades previamente establecida por el fabricante de la misma [16]. Esta velocidad se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$N = \frac{V_c \cdot (1000)}{\pi \cdot D} \text{ rpm} \quad (\text{Ec.2-2})$$

V_c : Velocidad de corte (m/min)

D : Diámetro exterior de la broca (mm)

Velocidad de avance (V_f)

Este parámetro de corte es una velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir representa la progresión del corte como se muestra en la figura 2-5, el rango de velocidades de avance principalmente está en dependencia del número de dientes de la fresa, tamaño del diente y la profundidad de corte, además del material de la fresa y de la pieza a mecanizar. [17]

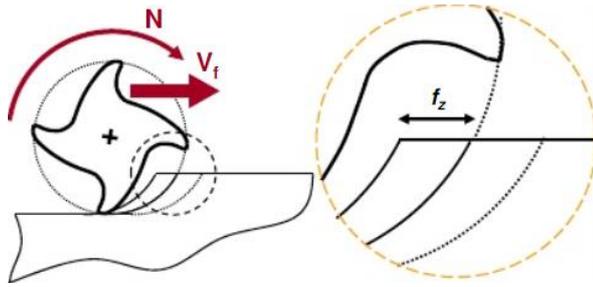


Figura 2- 5. Velocidad de avance en el fresado

Fuente. [17]

Esta velocidad se halla mediante el producto del avance por diente (f_z) por el número de dientes de la fresa

$$V_f = f_z * Z \text{ mm/rev} \quad (\text{Ec.2-3})$$

Donde

f_z : Avance por diente (mm/diente)

Z : Numero de dientes por revolución (diente/ rev)

La velocidad de avance es determinante para la formación de viruta, es así que altas velocidades de avance permite tener un buen control de viruta sin embargo también puede presentar elevada rugosidad y riesgos de rotura de la fresa, mientras que bajas velocidades de avance van a producir virutas alargadas, las cuales pueden formar bucles e incrementar el tiempo de mecanizado, por lo tanto es importante seleccionar adecuadamente esta velocidad de tal forma que se optimicen costos de mecanizado y a la vez se obtengan mecanizados de calidad. [17]

Profundidad de pasada

La profundidad de pasada es la profundidad a la que ingresa la fresa al material en una pasada, para el arranque de viruta de la pieza mecanizada. Generalmente su medida esta expresada en mm. Este parámetro se establece considerando las características del material a mecanizar, características de la fresa, además del avance y velocidad de corte que se hayan establecido para el proceso de mecanizado. En los procesos de desbaste se aplican profundidades mayores a las de los procesos de acabado donde se aplicas profundidades pequeñas con el fin de conseguir buenos acabados superficiales. [17]

2.1.4.2 Proceso de Taladrado

Este proceso de mecanizado es uno de los más importantes y utilizados en la industria, debido a que es una operación de mecanizado aplicada en la mayoría de partes y piezas que se fabrican. Este proceso consiste en realizar perforaciones o agujeros ya sean estos: cilíndrico pasante, agujero cilíndrico ciego o agujero cónico pasante (Figura 2-6), dependiendo de la función que vaya a tener el agujero en una pieza determinada. [18]

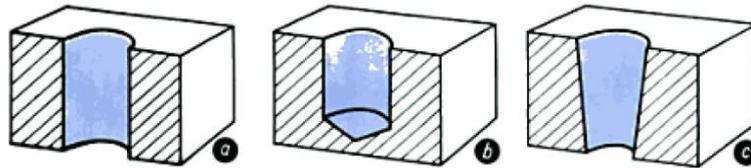


Figura 2- 6. Tipos de perforaciones: a) Agujero cilíndrico pasante, b) Agujero cilíndrico ciego, c) Agujero cónico pasante

Fuente. [18]

En este proceso se utiliza una herramienta de corte conocida como broca, esta herramienta realiza dos movimientos uno de rotación alrededor su eje longitudinal y a la vez un movimiento longitudinal en la misma dirección del eje antes mencionado. El movimiento de rotación permite el corte del material por lo cual se denomina movimiento de corte, mientras que el movimiento rectilíneo es aquel que va en dirección del fondo del taladrado, denominando a este como movimiento de avance. [18]

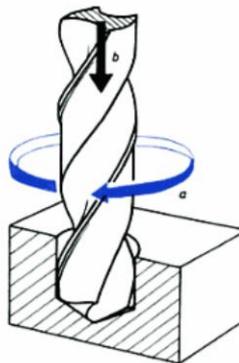


Figura 2- 7. (a) Movimiento de corte y (b) Movimiento de avance del taladrado

Fuente. [18]

En la actualidad el desarrollo de brocas modernas ha revolucionado este proceso drásticamente, con el uso de estas herramientas de corte se consigue realizar taladrado de grandes diámetros en una sola operación sin la necesidad de realizar un agujero guía, además se obtiene una buena calidad y exactitud del agujero, evitando así una posterior operación de escariado. [18]

Características de la herramienta de corte del taladrado

En la figura 2-8 se muestran las partes más importantes de una broca son las siguientes:

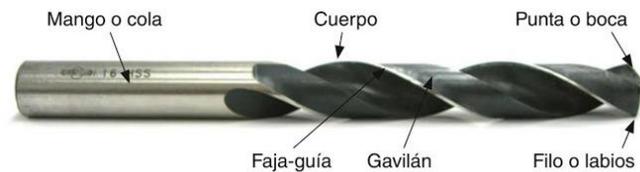


Figura 2- 8. Partes de la broca

Fuente. [21]

Mango o cola. Esta parte de la broca es la que permite la fijación de esta herramienta de corte en la máquina de taladrar, se presentan dos tipos de mangos:

- Los cilíndricos, los cuales son usados en máquinas con amarre por portabrocas, las brocas de mango cilíndrico no se suelen fabricar con diámetros mayores a 16mm.
 - Los cónicos, que son usados generalmente en taladradoras fijas de sobremesa o de columna, las brocas de mango cónico tienen diámetros mayores a 16 mm.
- [19]

Cuerpo. Se considera cuerpo a la sección comprendida entre el mango y la punta de la broca (Figura 2-9), este es cilíndrico y presenta dos o más ranuras mecanizadas en forma de helicoidales, para disminuir su profundidad al acercarse al mango, de tal manera que la broca tenga mayor resistencia a la rotura al tener un núcleo de mayor diámetro. La parte externa de la ranura es rebajada con el objetivo de disminuir el rozamiento, este rebaje es denominado gavilán, la parte más saliente del gavilán se denomina faja- guía y tiene la misión de guiar la broca. [19]

Cuello. Es la sección comprendida entre el mango y el cuerpo de una broca cónica, es un estrechamiento de la broca, en el que suele estar grabado el tipo de material del cual está constituida la broca, además de la especificación de su diámetro. [19]



Figura 2- 9. Broca de mango cónico

Fuente. [19]

Punta o boca. Es la parte por donde se efectuará el corte, presenta una forma de cono. En ella se pueden distinguir los siguientes (Figura 2-10):

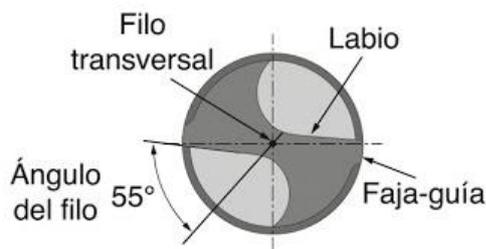


Figura 2- 10. Punta de la broca

Fuente. [20]

Filo transversal. Es la línea que une los fondos de las ranuras, estas líneas junto con los filos de corte forman un ángulo de 55° .

Filo principal o labio. Este es el filo que inicia el corte, va desde el filo transversal al exterior de la boca en la faja-guía.

Ángulos de las brocas

En una broca se pueden distinguir principalmente dos ángulos (Figura 2-11):

Ángulo de vértice. Conocido como ángulo de punta, es aquel que forman los dos labios de corte, el valor del mismo está en función del material a taladrar, puede ir de

110° a 135°, el ángulo menor usualmente es usado para metales duros. Para evitar un roce de los labios con el material a taladrar se da una caída a la superficie del labio rebajando el talón, esta caída se cómo como destalonado.

Angulo de hélice. Es el que forma la hélice de la broca con el eje vertical de la misma, sus valores pueden ser entre 20° y 40°, esto en función del material a taladrar. [20]

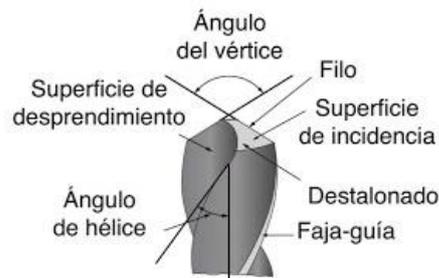


Figura 2- 11. Principales ángulos de una broca

Fuente. [20]

Materiales utilizados en la fabricación de brocas

Acero al carbono HS. Aleación de acero con hierro, silicio, carbono y manganeso, se emplea para trabajos con materiales blandos como plásticos y madera. [19]

Acero rápido HSS. Estas brocas son más duras y resistentes en comparación a las de acero al carbono, se emplean para taladrar aceros de poca dureza. Su uso es muy frecuente en las operaciones de mecanizado básico. [19]

Acero rápido HSS titanio rectificada. Son fabricadas de acero de alto rendimiento, con un recubrimiento de titanio, se emplean para taladrado de precisión en aceros de gran dureza, Permiten trabajar a altas velocidades, por lo cual necesitan el uso de refrigerantes durante la operación de corte. [19]

Acero rápido HSS E. Son brocas de acero rápido de gran calidad y alto rendimiento, con aleación de cobalto o vanadio, para taladrar aceros de gran dureza, estas pueden trabajar en altas temperaturas con altas velocidades de corte, sin la necesidad del uso de refrigerantes. [19]

Parámetros de corte del taladrado

A continuación, en la figura 2-12 se muestran los parámetros de corte del taladrado.

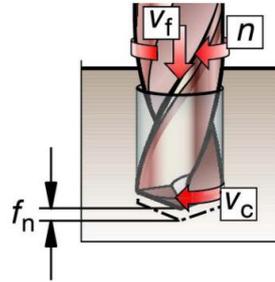


Figura 2- 12. Parámetros de corte del taladrado

Fuente. [21]

Velocidad de corte

En este proceso de mecanizado la velocidad de corte es la velocidad lineal que se encuentra en la periferia de la broca que es la herramienta encargada del arranque de la viruta, esta velocidad esta expresada en metros por minuto m/min. Su cálculo es muy sencillo, para ello debemos conocer el diámetro de la broca y la velocidad de rotación del husillo de la maquina usada para el taladrado. [21]

$$V_c = \frac{\pi DN}{1000} \quad \text{m/min (Ec. 2-4)}$$

Dónde:

D: Diámetro exterior de la broca (mm)

N: Velocidad de rotación de la broca (rpm)

1/1000 para transformar los mm a m

Esta velocidad es un factor determinante para la durabilidad de la herramienta de corte.

Velocidad de rotación (N)

La velocidad de rotación es la velocidad de giro que tiene el husillo y por lo tanto también la herramienta de corte, su valor esta expresado en rpm (revoluciones por minuto). [21]

$$N = \frac{V_c.(1000)}{\pi.D} \text{ rpm} \quad \text{(Ec. 2-5)}$$

V_c : Velocidad de corte (m/min)

D: Diámetro exterior de la broca (mm)

Velocidad de avance (V_f)

La velocidad de avance es el progreso de la broca durante el proceso de corte, este se expresa en milímetros por revolución (mm/rev), por tanto, esta dependerá de la dureza del material a taladrar, además de las características de la herramienta de corte como su diámetro y material que la constituye.

Profundidad de corte

La profundidad de corte se refiere al espesor de la capa que se arranca en cada pasada de la herramienta sobre la pieza mecanizada, esta se mide en mm. [21]

2.1.5 Delaminación

La delaminación es un fenómeno muy frecuente en el mecanizado de materiales compuesto al ser estos materiales laminados, este consiste en la separación entre capas o laminas del material mecanizado debido a la acción de diferentes fuerzas, generalmente la fuerza de empuje que vence las uniones de las láminas para el arranque de viruta. La reducción de la delaminación se puede lograr mediante la selección adecuada de mecanizado condiciones tales como alimentación y velocidad de corte, así como herramienta geometría del material y la herramienta. [22]

La delaminación se evalúa mediante el factor de delaminación, este se calcula de acuerdo a la operación de mecanizado realizado en la pieza.

2.1.5.1 Factor de delaminación en el taladrado

Durante el taladrado de un material compuesto la delaminación es considerada como uno de los daños más importante esto debido a que no solo se afecta la tolerancia de ensamblado sino también puede acelerar a largo plazo el deterioro de la estructura en servicio bajo cargas de fatiga. En este mecanizado se producen dos tipos de delaminación: peel-up y push-out como se muestra en figura 13. [23]

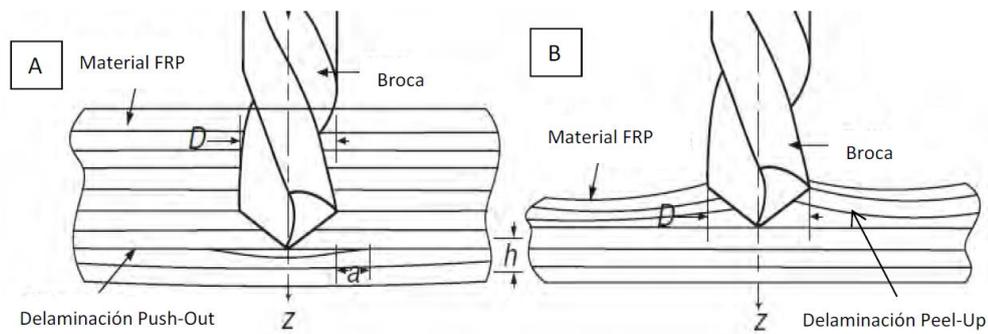


Figura 2- 13. (A) Delaminación push-out (B) Delaminación peel-up

Fuente. [23]

La delaminación peel-up se presenta en cuando la broca empieza a penetrar la superficie de perforación haciendo contacto con el material laminado, entonces se genera una fuerza de pelado en dirección axial a través de la pendiente de los canales de la broca por donde sale la viruta hacia el exterior de la perforación, es así que dicha fuerza produce la separación de las láminas entre si dando lugar a la delaminación en esta zona.

La delaminación push-out ocurre cuando el taladro se acerca a la cara de salida o periferia del agujero, donde la viruta del material eliminado se vuelve más delgado y por lo tanto, las láminas sin cortar tienden a ser más susceptibles a la deformación, entonces aparece una fuerza de empuje para el corte de dichas laminas y al ser mayor esta fuerza que la resistencia de unión entre capas se da lugar a la delaminación en la zona. [23]

Mientras se aproxima la broca a las últimas láminas se mostrará un caso más crítico de delaminación debido a la ausencia de algo que compense en cierta forma la fuerza de empuje. Hay varios métodos comprobados y comúnmente utilizados que pueden usarse para medir el factor de delaminación directamente, técnicas como la microscopía y procesamiento de imágenes utilizando un escáner son los más accesibles y técnicas económicas para medir el diámetro. En la tabla 2-2 se consolidan las ecuaciones utilizadas para la evaluación de delaminación. [24]

Tabla 2- 2. Métodos de evaluación de la delaminación en el proceso de taladrado

Métodos de evaluación		Formula	Esquema
Tamaño de delaminación		$S_d = R_{max} - R_{min}$	
Factor de delaminación	Relación entre diámetros	$F_d = \frac{D_{max}}{D_{min}}$	
	Relación entre áreas	$F_d = \frac{A_{max}}{A_{min}}$	
Factor ajustado de delaminación		$F_{da} = F_d + \frac{A_d(F_d^2 - F_d)}{A_{min} + A_{nom}}$	
Factor de delaminación equivalente		$F_{ed} = \frac{D_e}{D_{nom}}$ Donde: $D_e = \left[\frac{4(A_d + A_{nom})}{\pi} \right]^{0.5}$	
Factor de delaminación mínimo		$F_{dmin} = \frac{D_{min}}{D_{nom}}$	

Fuente. [24]

2.1.5.2 Factor de delaminación de ranuras

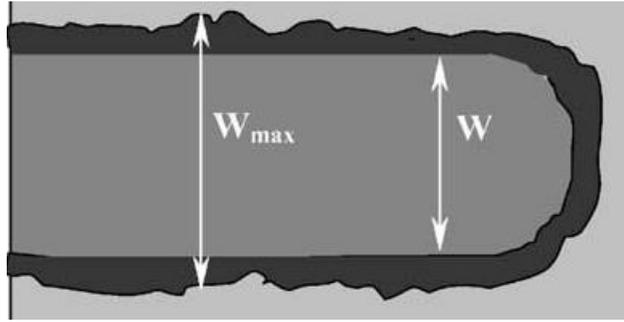


Figura 2- 14. Delaminación de una ranura

Fuente. [24]

Para medir el factor de delaminación en una ranura, se puede utilizar un microscopio, en donde se coloca y fija el material en un plano XY y se identifica y mide el ancho máximo de delaminación (W_{max}) [4]. Este factor se define como el cociente entre el ancho máximo de daño (W_{max}) y el ancho de corte (W), así:

$$F_d = \frac{W_{max}}{W} \quad (\text{Ec. 2-6})$$

2.1.6 Rugosidad Superficial

La rugosidad hace referencia a desviaciones pequeñas presentes en la superficie nominal de una pieza, las cuales dependen del material y el proceso de mecanizado que formó dicha superficie, esta es una característica mensurable. La rugosidad superficial se puede definir como un promedio de todas las desviaciones verticales presentes a partir de una superficie nominal, en una longitud definida (L_m) de la superficie. [25]

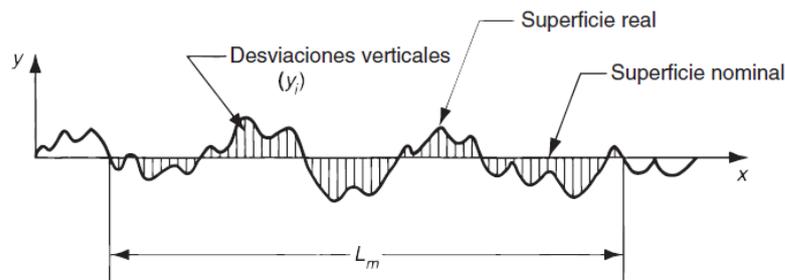


Figura 2- 15. Rugosidad superficial

Fuente. [25]

Para hallar su valor se emplea un promedio aritmético, con base en los valores absolutos de las desviaciones, y este valor hallado se llama rugosidad promedio (R_a) [25]. Se expresa de la siguiente manera:

$$R_a = \sum_{i=1}^n \frac{|y_i|}{n} \quad (\text{Ec. 2-7})$$

Donde:

R_a : Rugosidad media o media aritmética de la rugosidad

y_i : Son las desviaciones verticales convertidas a valor absoluto

n : Es el número de desviaciones encontradas en L_m

Las desviaciones se expresan en escalas muy pequeñas, por lo cual las unidades más comunes para expresar la rugosidad superficial son: μm ($\mu\text{m} = \text{m} \times 10^{-6} = \text{mm} \times 10^{-3}$) o $\mu\text{-in}$ ($\mu\text{-in} = \text{in} \times 10^{-6}$). Es importante considerar que la rugosidad superficial varía de forma significativa en función de la dirección en que se realice la medición de la misma. [25]

Los valores de la rugosidad superficial expresados en grados de rugosidad representan el acabado superficial de una pieza, en la tabla 2-3 se indican los grados de rugosidad en función del valor de rugosidad media. [26]

Tabla 2- 3. Número de grados de rugosidad

Valor de rugosidad R_a μm	Número del grado de rugosidad
50	N 12
25	N 11
12,5	N 10
6,3	N 9
3,2	N 8
1,6	N 7
0,8	N 6
0,4	N 5
0,2	N 4
0,1	N 3
0,05	N 2
0,025	N 1

Fuente: [26]

A continuación, en la tabla 2-4 se muestran valores típicos de rugosidad media de acuerdo al proceso de mecanizado aplicado:

Tabla 2- 4. Valores de rugosidad media en procesos de mecanizado

Mecanizado	Rugosidad R_a (μm)												
	0,025	0,050	0,100	0,20	0,40	0,80	1,6	3,2	6,3	12,5	16	20	25
Rebabado, cizallado, corte a la llama													
Torneado, fresado, limado													
Taladrado													
Cepillado													
Alesado													
Brochado													
Rectificado													
Brañido													
Superacabado (lapeado)													
Fulido especular													
Granallado													
Laminado en caliente													
Colado en arena													
Forjado													
Colado en coquilla													
Colado a presión													
Laminado, cilindrado y trefilado en frío													
Extruido													
Electroerosión													

Fuente: [26]

Instrumento de medición de la rugosidad

Para medir la rugosidad se utiliza un instrumento llamado rugosímetro, el cual está constituido de: una unidad de visualización, un cuerpo fijo llamado también de avance y un cabezal palpador móvil, que tiene una terminación en forma de punta o estilete de un diámetro muy pequeño. [27]



Figura 2- 16. Rugosímetro Mitutuyo SJ2010

Fuente. [27]

2.2 Hipótesis

La variación de los parámetros de corte del proceso de ranurado y taladrado permitirá mejorar la calidad superficial y la delaminación del material compuesto mecanizado.

2.3 Señalamiento de las variables de la hipótesis

2.3.1 Variable independiente

Parámetros de corte del proceso de ranurado y taladrado

2.3.2 Variable dependiente

Calidad superficial y delaminación

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Nivel o tipo de investigación

3.1.1 Investigación bibliográfica

La investigación bibliográfica o documental consiste en seleccionar y recopilar la información más importante sobre el tema de estudio, mediante la lectura y crítica de documentos, libros, artículos, etc., Es considerada como una de las primeras etapas de una investigación, ya que garantiza la calidad de la fundamentación teórica del trabajo de investigación, por dichas razones se utiliza este tipo de investigación con el objetivo de obtener la información necesaria que fundamente el presente estudio.

3.1.2 Investigación exploratoria

En el presente trabajo utilizamos este tipo de investigación debido a que el objetivo principal de la misma es captar información confiable, la cual permite identificar el problema y posibles soluciones basadas en estudios realizados anteriormente, de tal forma que es útil para incrementar los conocimientos y directrices que permiten desarrollar la hipótesis respecto al problema identificado.

3.1.3 Investigación descriptiva

El uso de la investigación descriptiva permite buscar, especificar e identificar las características, propiedades y rasgos más importantes de las variables del presente estudio. Es decir, en esta investigación se mide o evalúan cada variable de forma independiente, de tal forma que se describe lo que se está investigando.

3.1.4 Investigación experimental

La investigación experimental se usa para establecer las relaciones causa y efecto, mediante la manipulación u operación intencional de la variable experimental conocida como variable independiente, para conocer e identificar los efectos que produce la misma en otra variable conocida como variable dependiente. Esta investigación parte de la hipótesis del problema, por lo tanto, el objetivo es demostrar dicha hipótesis.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población de estudio del presente trabajo de investigación abarca las probetas de dos materiales compuestos: Matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio (M1) y Matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio (M2), los dos materiales con una composición de 70% matriz y 30% de refuerzo respectivamente. Los materiales compuestos fueron obtenidos mediante el proceso de estratificación manual, para posteriormente en ellos realizar dos procesos de mecanizado: ranurado y taladrado.

3.2.2 Muestra

Para obtención de la muestra del presente trabajo está basada en el diseño de experimentos factoriales, dado que, se quiere conocer el efecto de los parámetros de mecanizado como son: velocidad de corte y velocidad de avance utilizando dos herramientas diferentes, sobre la calidad superficial y la delaminación en los materiales compuestos antes mencionados.

Se aplicó el diseño factorial mixto el cual es utilizado cuando los factores en el experimento no tienen el mismo número de niveles, como los factores que se muestran en las tablas 3-1.

Tabla 3- 1. Factores experimentales del proceso de ranurado y taladrado

Factores	Ranurado			Taladrado		
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
A: Herramienta de corte	H1	H2	-	H1	H2	-
B: Material compuesto	M1	M2	-	M1	M2	-
C: Velocidad de corte (m/min)	32	48	60	30	75	125
D: Velocidad de avance (mm/rev)	0.10	0.15	0,20	0,2	0,5	0,8

Fuente: Autor

En base al diseño factorial mixto obtenemos un diseño factorial $2 \times 2 \times 3 \times 3$ que significa que se experimenta con cuatro factores, con 2,2,3 y 3 niveles, respectivamente. El total de experimentos realizados son 36, esto para cada proceso de mecanizado, a continuación, se muestra las combinaciones de cada experimento realizado:

Tabla 3- 2. Diseño experimental para el proceso de Ranurado

Exp	Herramienta	Material	Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de avance (mm/rev)
1	1	1	32	0,1
2	1	1	48	0,15
3	1	1	60	0,2
4	1	1	32	0,1
5	1	1	48	0,15
6	1	1	60	0,2
7	1	1	32	0,1
8	1	1	48	0,15
9	1	1	60	0,2
10	1	2	32	0,1
11	1	2	48	0,15
12	1	2	60	0,2
13	1	2	32	0,15
14	1	2	48	0,2
15	1	2	60	0,1
16	1	2	32	0,15
17	1	2	48	0,2
18	1	2	60	0,1
19	2	1	32	0,15
20	2	1	48	0,2
21	2	1	60	0,1
22	2	1	32	0,15
23	2	1	48	0,2
24	2	1	60	0,1
25	2	1	32	0,2
26	2	1	48	0,1
27	2	1	60	0,15
28	2	2	32	0,2
29	2	2	48	0,1
30	2	2	60	0,15
31	2	2	32	0,2
32	2	2	48	0,1
33	2	2	60	0,15
34	2	2	32	0,2
35	2	2	48	0,1
36	2	2	60	0,15

Fuente. Autor

Tabla 3- 3. Diseño experimental para el proceso de taladrado

Exp	Herramienta	Material	Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de avance (mm/rev)
1	1	1	30	0,2
2	1	1	75	0,5
3	1	1	125	0,8
4	1	1	30	0,2
5	1	1	75	0,5
6	1	1	125	0,8
7	1	1	30	0,2
8	1	1	75	0,5
9	1	1	125	0,8
10	1	2	30	0,2
11	1	2	75	0,5
12	1	2	125	0,8
13	1	2	30	0,5
14	1	2	75	0,8
15	1	2	125	0,2
16	1	2	30	0,5
17	1	2	75	0,8
18	1	2	125	0,2
19	2	1	30	0,5
20	2	1	75	0,8
21	2	1	125	0,2
22	2	1	30	0,5
23	2	1	75	0,8
24	2	1	125	0,2
25	2	1	30	0,8
26	2	1	75	0,2
27	2	1	125	0,5
28	2	2	30	0,8
29	2	2	75	0,2
30	2	2	125	0,5
31	2	2	30	0,8
32	2	2	75	0,2
33	2	2	125	0,5
34	2	2	30	0,8
35	2	2	75	0,2
36	2	2	125	0,5

Fuente. Autor

3.3 Operacionalización de variables

3.3.1 Variable dependiente: Calidad superficial

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Índice	Técnicas e instrumentación
Es el aspecto que presenta una superficie, este depende fundamentalmente del material con que está fabricada la pieza y de su proceso de conformación	-Rugosidad	Rugosidad media (Ra)	Micrómetros[μm] Fresado [0.4-6.3] μm Taladrado [0.6-6] μm	- Norma ISO 1302 Calidad superficial -Medición mediante un rugosímetro
	-Delaminación	Factor de Delaminación	Fresado $F_d = \frac{W_{max}}{w}$	-Delaminación medida con el uso de un microscopio
			Taladrado $F_d = \frac{D_{max}}{D_o}$	

3.3.2 Variable independiente: Análisis del proceso de ranurado y taladrado

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Índice	Técnicas e instrumentación
El ranurado y taladrado son procesos de mecanizado mediante los cuales se realiza el arranque de viruta para la conformación de piezas	-Ranurado	-Velocidad de corte -Avance	Ranurado $V_c = [32-60]$ m/min $S = [0.10-0.20]$ mm/rev Herramienta H1: Fresa de dentado cruzado H2: Fresa cilíndrica de diamante	-Observación directa -Método bibliográfico -Ficha de datos - Metodología de diseño de experimentos (DOE)
	-Taladrado	-Tipo de herramienta	Taladrado $V_c = [500-1500]$ rpm $S = [0.20-0.80]$ mm/rev Herramienta H1: Broca helicoidal de punta modificada H2: Broca helicoidal con incrustaciones de diamante	

3.4 Plan de recolección de información

A continuación, en la tabla 3-4 se detalla el procedimiento de recolección de información, que permitirá obtener los datos necesarios para el presente trabajo experimental.

Tabla 3- 4. Plan de recolección de información

Plan de recolección de datos	
¿Qué?	La obtención de la rugosidad superficial Ra y el factor de delaminación Fd, de las ranuras y agujeros, producto de los procesos de ranurado y taladrado.
¿Para qué?	Se realiza el presente trabajo experimental con el objetivo de conocer parámetros de corte óptimos para los procesos de ranurado y taladrado.
¿Quién?	El estudio experimental es realizado por el investigador: Erika Silva
¿A quién?	El proceso de ranurado y taladrado se realiza en dos materiales compuestos: resina poliéster reforzada con fibra de vidrio y resina epóxica reforzada con fibra de vidrio.
¿Cómo?	El estudio experimental se realiza utilizando un diseño experimental factorial mixto de acuerdo a las variables presentes en el estudio, el cual permite determinar los experimentos necesarios para la obtención de datos.
¿Con qué?	Los datos obtenidos de acuerdo a cada experimento se registran en fichas de toma de datos, para su posterior análisis.
¿Cuándo?	Se ejecuta en el año 2018
¿Dónde?	Este trabajo de investigación se realiza en la Universidad técnica de Ambato, en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Fuente. Autor

3.5 Plan de procesamiento y análisis

3.5.1 Revisión de datos

Los datos obtenidos son revisados, con el objetivo de comprobar que no existan alteraciones en los mismos, lo cual permitirá obtener resultados reales.

3.5.2 Tabulación de datos

En la tabulación se ordena los datos obtenido en los procesos de mecanizado, realizados de acuerdo al diseño experimental previamente establecido para el presente

estudio, siendo esta una etapa importante para el posterior análisis de la información obtenida.

3.5.3 Análisis de datos

En el análisis de datos es posible determinar los experimentos en los cuales se han obtenido los mejores resultados, es decir en los cuales se presenta una buena calidad superficial y un factor de delaminación bajo, dando así un indicio de los parámetros de corte óptimos para los procesos de mecanizado realizados.

3.5.4 Presentación de análisis realizados

El análisis realizado de los datos se ha de presentar mediante gráficas y cuadros de resultados, que permitan entender claramente los datos obtenidos en los experimentos ejecutados.

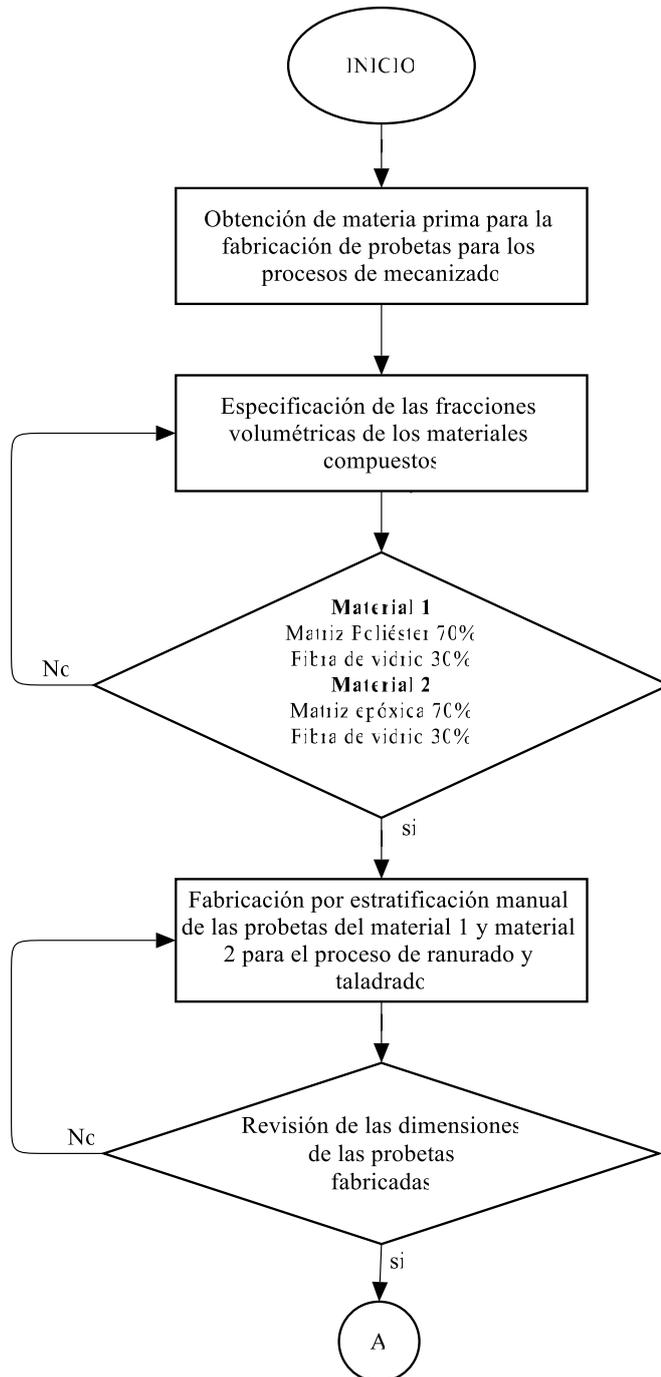
3.5.5 Interpretación de resultados

Los resultados obtenidos en el procesamiento y pos análisis de datos se han de interpretar de manera que se comprenda el comportamiento de las variables de estudio y se argumente dichos resultados para la presentación de la información analizada.

CAPÍTULO IV

4. Análisis e interpretación de resultados

4.1 Recolección de datos



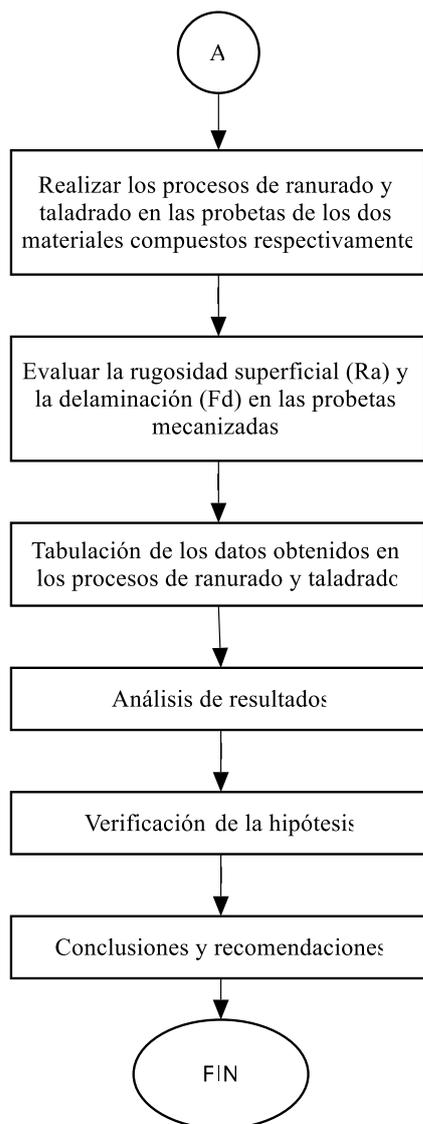


Figura 4- 1. Diagrama de flujo del análisis y procesamiento de datos

Fuente. Autor

4.1.2 Obtención de la materia prima

En el presente estudio se ha utilizado como materia prima la fibra de vidrio EMC 450 (Anexo 1) y dos resinas:

- Poliéster REICHHOLD serie Polylite 33200 (Anexo 2)
- Epóxica COLREPOX 6090 (Anexo 3)

La fibra de vidrio y la resina poliéster fueron adquiridos en la empresa MASTER FIBRA ubicada en la ciudad de Ambato, Sector el Pisque, empresa dedicada a la fabricación de partes y piezas de la carrocería, mientras que la resina epóxica fue

adquirida mediante exportación, debido a que en nuestro medio no es muy comercializada en pequeñas cantidades debido a su costo y a sus aplicaciones las cuales se enfocan más en la industria aeronáutica en partes y piezas de aviones.

4.1.3 Especificación de la composición de los materiales compuestos

Los materiales compuestos fabricados para el proceso de ranurado y taladrado han sido fabricados bajo las siguientes especificaciones:

Material 1: Matriz de resina poliéster 70% y 30% fibra de vidrio

Material 2: Matriz de resina epóxica 70% y 30% fibra de vidrio

De acuerdo a las probetas necesarias para cada proceso de mecanizado se emplearon las siguientes cantidades de matriz y refuerzo:

- a) Para el proceso de ranurado de acuerdo a la población antes determinada es necesario fabricar una plancha de 772mmx306mmx6mm.



Figura 4- 2. Dimensiones de la plancha para el proceso de ranurado

Fuente. Autor

- b) Para el proceso de taladrado de acuerdo a la población determinada, es necesario fabricar una plancha de 360mmx90mmx12mm.

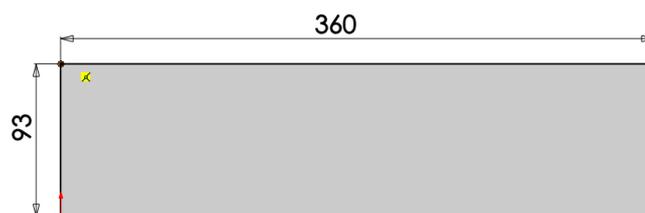


Figura 4- 3. Dimensiones de la plancha para el proceso de taladrado

Fuente. Autor

4.1.3.1 Pesos de la matriz y refuerzo

Para determinar el peso de la resina empleada en cada plancha de material compuesto, determinamos el peso de la fibra que se empleara en cada plancha de acuerdo a las dimensiones de la misma y aplicamos la relación de la composición matriz- refuerzo (70%-30%). La composición del material también se detalla en las fichas técnicas del apartado 4.1.8.

a) Plancha para el proceso ranurado

$$m_{fibra} = 1.14 \text{ Kg}$$

$$1.14 \text{ Kg} \longrightarrow 30\%$$

$$m_{resina} \longrightarrow 70\%$$

$$m_{resina} = \frac{1.14 \text{ Kg} * 70\%}{30\%}$$

$$m_{resina} = 2.65 \text{ Kg}$$

b) Plancha para el proceso de taladrado

$$m_{fibra} = 1.14 \text{ Kg}$$

$$0.20 \text{ Kg} \longrightarrow 30\%$$

$$m_{resina} \longrightarrow 70\%$$

$$m_{resina} = \frac{0.20 \text{ Kg} * 70\%}{30\%}$$

$$m_{resina} = 0.47 \text{ Kg}$$

Para cada proceso de mecanizado se fabricaron dos panchas una de cada material compuesto: Resina poliéster con fibra de vidrio y resina epóxica con fibra de vidrio, cada una bajo las especificaciones de peso antes calculadas.

4.1.4 Fabricación de los materiales compuestos

4.1.4.1 Proceso de estratificación manual

La estratificación manual, también conocido como hand lay-up, es una de las técnicas más antiguas y comunes aplicadas a la obtención de materiales compuestos de matriz

termoestable, este tipo de resinas se presentan en estado líquido a temperatura ambiente, permitiendo así un procesamiento fácil y una buena impregnación de las fibras utilizadas como refuerzo en el material compuesto.

Las planchas necesarias para los procesos de mecanizado del presente estudio fueron obtenidas mediante este tipo de fabricación que consiste en colocar manualmente las capas de resina y tejidos de fibra, intercaladas hasta alcanzar el espesor deseado.

A continuación, en la tabla 4-1 se muestran los materiales usados en la fabricación de los materiales compuestos:

Tabla 4- 1. Materiales usados en el proceso de estratificación manual

Materiales		
Cera desmoldante 	Gelcoat 	Masking 
Rodillo 	Waípe 	Estilete 
Brocha 	Fibra de vidrio 	
Resina epóxica	Resina poliéster	



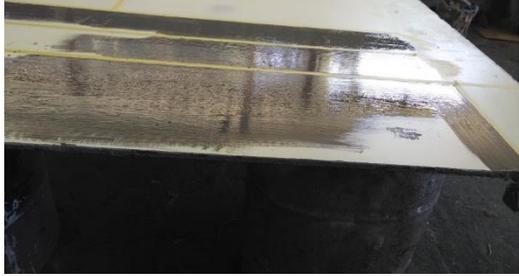
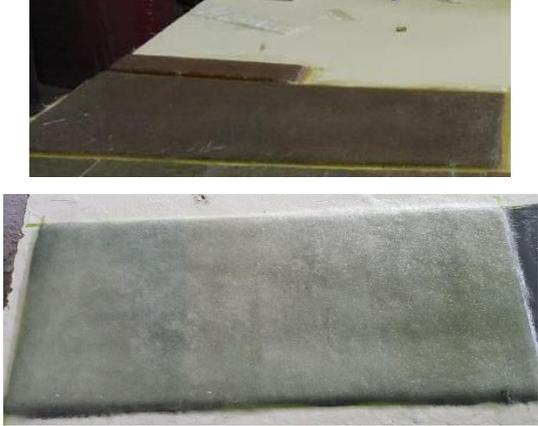
Fuente. Autor

4.1.4.2 Descripción de la fabricación por estratificación manual

Las fabricaciones de las planchas de los materiales compuestos se realizaron en las instalaciones de la empresa MASTER FIBRA.

Tabla 4- 2. Proceso de fabricación por estratificación manual

Descripción	Detalle
<p>1.Cortar la fibra de vidrio de acuerdo a las dimensiones de las planchas deseadas.</p>	
<p>2.Limpiar y delimitar la superficie de trabajo utilizando masking.</p>	
<p>3.Aplicar cera desmoldante sobre la superficie, lo cual después del proceso de curado permitirá un fácil desprendimiento de las planchas fabricadas.</p>	

<p>4. Aplicar gelcoat sobre la superficie y dejar secar el mismo, para posteriormente colocar las fibras.</p>	
<p>5. Colocar de forma intercalada una capa de resina y una capa de fibra respectivamente, de acuerdo al grosor de la plancha a obtener.</p>	
<p>6. Pasar el rodillo sobre las fibras, de tal forma que las fibras de vidrio se adhieran con la resina y se elimine el aire atrapado entre el laminado.</p>	
<p>7. Dejar curar las planchas a temperatura ambiente</p>	

Fuente. Autor

4.1.5 Procesos de mecanizado

4.1.5.1 Especificaciones del centro de mecanizado

Modelo: M-1000

Fabricante: TRAVIS

Voltaje : 220 V

Potencia: 15-21 HP

Revoluciones: 0-8000 rpm



Figura 4- 4. Fresa CNC Travis M-1000

Fuente. Autor

4.1.5.2 Proceso de ranurado

El proceso de ranurado se realizó en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Mecánica utilizando la máquina cnc antes especificada.

Las ranuras se realizaron en forma de L (50x50mm), de acuerdo a las diferentes combinaciones de los parámetros de corte como son: velocidad de corte y velocidad de avance de acuerdo al diseño experimental DOE especificado en la Tabla 3-2. Para este proceso de mecanizado se usaron dos herramientas:

Tabla 4- 3. Herramientas de fresado

	Descripción	Diámetro	Detalle
Herramienta 1	Fresa con dentado cruzado (Anexo 4)	6mm	
Herramienta 2	Fresa de diamante cilíndrica (Anexo 5)	10mm	

Fuente. Autor

A continuación, en las figuras 4-5 y 4-6 se muestran las ranuras realizadas en cada material compuesto.

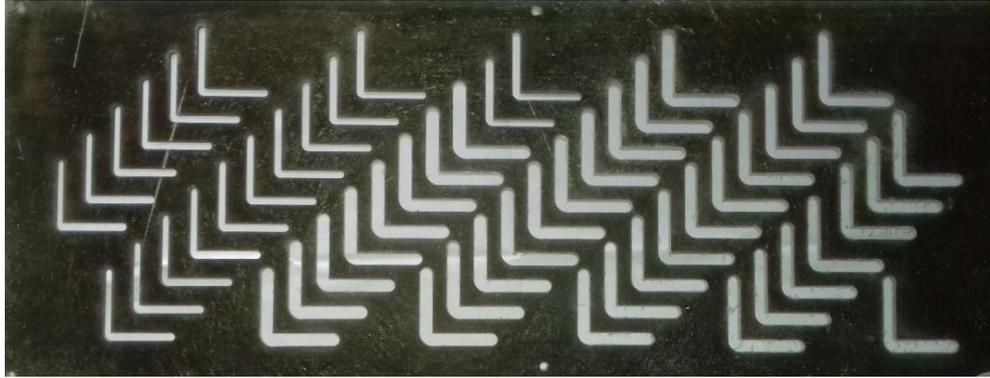


Figura 4- 5. Ranurado de matriz de poliéster reforzada con fibra de vidrio

Fuente. Autor

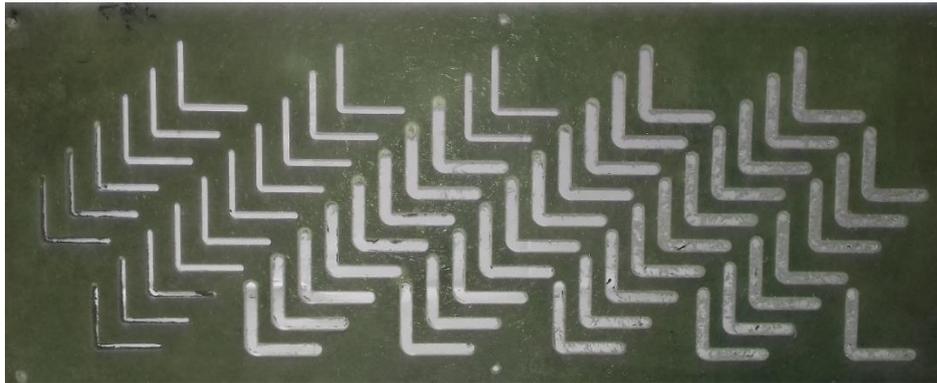


Figura 4- 6. Ranurado de matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio

Fuente. Autor

4.1.5.3 Proceso de taladrado

El proceso de taladrado se realizó en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Mecánica utilizando la máquina cnc antes especificada. Las perforaciones se realizaron de acuerdo a las diferentes combinaciones de los parámetros de corte como son: velocidad de corte y velocidad de avance de acuerdo al diseño experimental DOE especificado en la Tabla 3-3. Para este proceso de mecanizado se usaron dos herramientas:

Tabla 4- 4.Herramientas de taladrado

	Descripción	Diámetro	Detalle
Herramienta 1	Broca helicoidal de punta modificada (Anexo 6)	9mm	
Herramienta 2	Broca helicoidal con incrustaciones de diamante (Anexo 7)	9mm	

Fuente. Autor

A continuación se muestran las probetas taladradas:

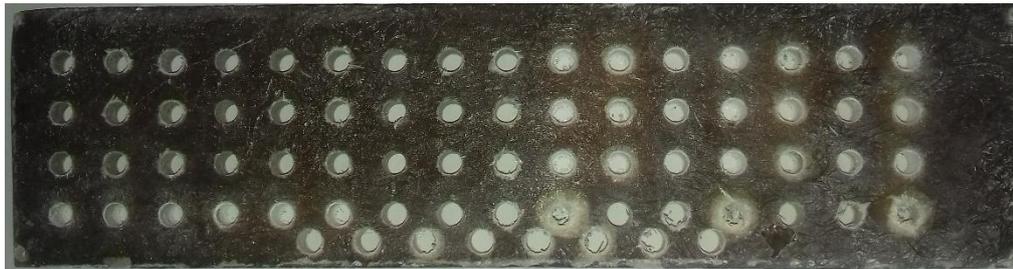


Figura 4- 7. Taladrado de matriz de poliéster reforzada con fibra de vidrio

Fuente. Autor



Figura 4- 8. Taladrado de matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio

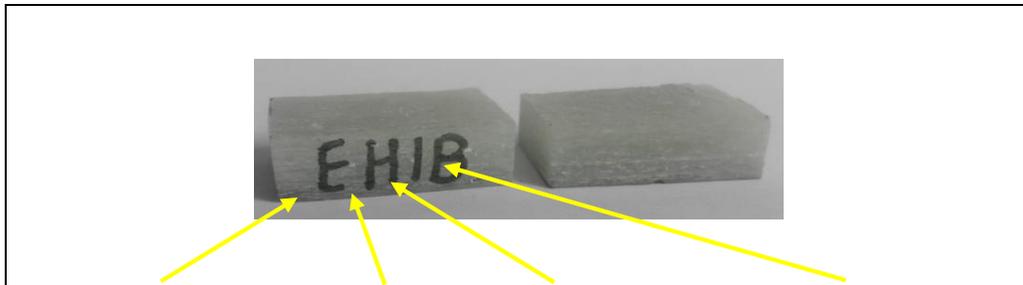
Fuente. Autor

4.1.5.4 Preparación y codificación de las muestras

Después de los procesos de mecanizado es necesario cortar las muestras para las pruebas de rugosidad y delaminación, esto se realizó utilizando una amoladora con un disco de corte para cerámicos, el cual evita el daño térmico en el material compuesto. Para la medición de la rugosidad (Ra) en las probetas de ranurado se realizó un corte de 25mm de largo de la ranura por 13mm de alto y 6mm de espesor, esto para cada combinación, mientras que para medir la rugosidad en los agujeros realizados en el

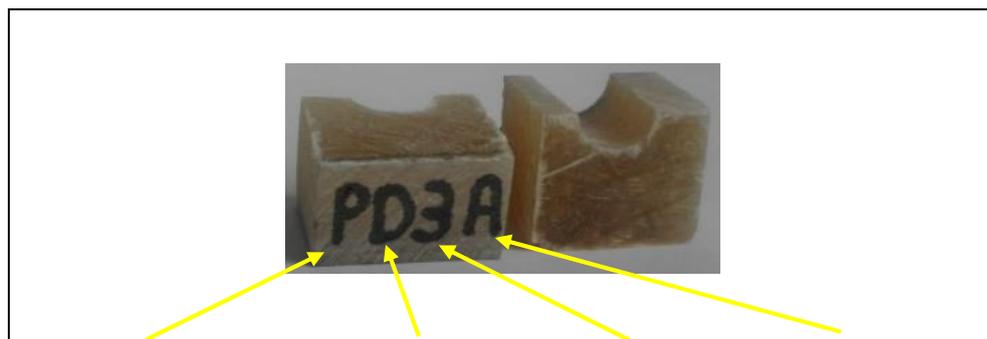
proceso de taladrado se realizó un corte en la mitad del agujero. Con el objetivo de facilitar la identificación de las muestras obtenidas en ambos procesos de mecanizado, se codificó las muestras bajo las siguientes designaciones:

Tabla 4- 5. Codificación de las muestras de ranurado

			
Material	Herramienta	Velocidad de corte	Velocidad de avance
P: Compuesto de matriz poliéster	H: Fresa de dentado cruzado	1: 32 m/min	A: 0,10 mm/rev
E: Compuesto de matriz epóxica	D: Fresa de diamante cilíndrica	2: 48 m/min	B: 0,15 mm/rev
		3: 60 m/min	C: 0,20 mm/rev

Fuente. Autor

Tabla 4- 6. Codificación de las muestras de taladrado

			
Material	Herramienta	Velocidad de corte	Velocidad de avance
P: Compuesto de matriz poliéster	L: Broca helicoidal de punta modificada	1: 30 m/min	A: 0,2 mm/rev
E: Compuesto de matriz epóxica	D: Broca helicoidal con incrustaciones de diamante	2: 75 m/min	B: 0,5 mm/rev
		3: 125 m/min	C: 0,8 mm/rev

Fuente. Autor

4.1.6 Mediciones de rugosidad superficial

Las mediciones de rugosidad superficial fueron realizadas en la Escuela Politécnica Nacional en la Facultad de Ingeniería Mecánica en el Laboratorio de investigación, desarrollo e innovación en nuevas tecnologías de diseño, manufactura y producción (LABINTECDIMP).

Para la medición de la rugosidad se utilizó el siguiente equipo:



Figura 4- 9. Rugosímetro Mitutoyo SJ210

Fuente. Autor

Previamente a la realización de las mediciones, se procedió a verificar la precisión del rugosímetro, utilizando para ello el patrón de medición de $2.97 \mu\text{m}$ y realizando el ajuste de su valor nominal, así como registrando el valor de la medición sobre el patrón, para guardar dichos valores en el equipo y garantizar la precisión de las mediciones:



Figura 4- 10. Patrón de medición del rugosímetro

Fuente. Autor

Posterior a la verificación del rugosímetro se realizan las medidas rugosidad Ra (μm) en probetas de ranurado y taladrado respectivamente, las cuales se encuentran identificadas con un código alfanumérico.

Probetas del proceso de ranurado

En las muestras de ranurado la medición de la rugosidad (Ra) expresada en μm se realizó en el sentido longitudinal en una distancia media de 5 mm.



Figura 4- 11. Medición de rugosidad superficial de la probeta ranurada

Fuente. Autor

Probetas del proceso de taladrado

La medición de la rugosidad Ra expresada en μm se realizó en el sentido de la perforación, sobre una longitud de 5 mm:



Figura 4- 12. Medición de rugosidad superficial de la probeta taladrada

Fuente. Autor

4.1.7 Mediciones de delaminación

La delaminación de las probetas de ranurado y taladrado se realizaron con el microscopio USB con software de medida.



Figura 4- 13. Microscopio USB

Fuente. Autor

Características

Modelo: SE-DM-500X

Fuente de alimentación: Puerto USB (5V DC)

Relación de ampliación: 5 X ~ 500X (Manual)

Rango de enfoque: 0mm - 40mm

Este microscopio cuenta con un software que permite mediante la captura de imágenes, medir áreas, perímetros, distancias y radios en la misma, es así que mediante la captura de imágenes de las ranuras y agujeros se obtuvo el factor de delaminación de las muestras.

Procedimiento

1. Capturar la imagen de la muestra a medir
2. Utilizando la galga de calibración del microscopio, cambiamos las unidades de pixeles a milímetro

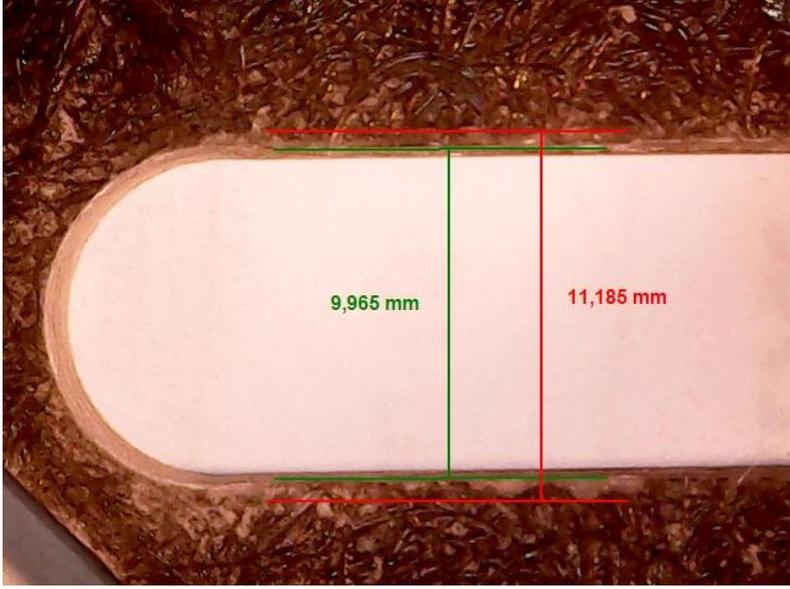
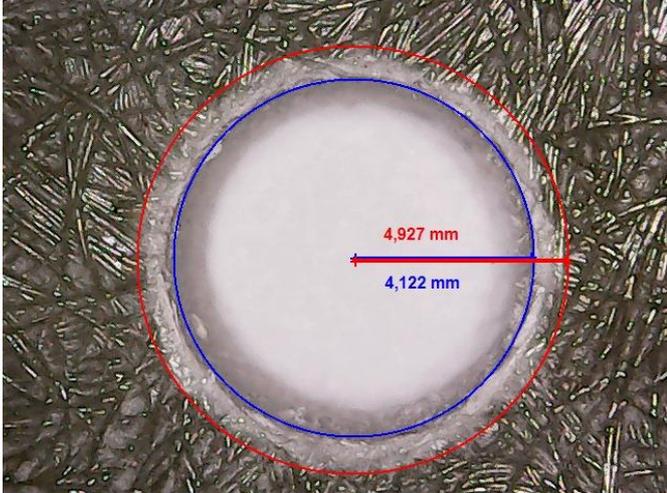


Figura 4- 14. Calibración del microscopio

Fuente. Autor

3. Obtenemos las imágenes de las muestras de ranurado y taladrado
4. Utilizando el software de medición del microscopio, para el proceso de ranurado medimos el ancho de la ranura sin delaminación y el ancho máximo delaminado en el mecanizado, mientras que para el proceso de taladrado medimos el radio del agujero sin delaminación y el radio de delaminación máximo presente en el material mecanizado. Dichas medidas permitirán obtener el factor de delaminación de cada muestra, como se observa en la tabla 4-7.

Tabla 4- 7. Medición de la delaminación mediante las imágenes obtenidas con el microscopio USB

Muestra	Factor de delaminación
<p>Ranurado: Muestra PD1B</p> 	$F_d = \frac{W_{max}}{w}$ $F_d = \frac{11,185 \text{ mm}}{9,965 \text{ mm}}$ $F_d = 1,12$
<p>Taladrado: Muestra EL3A</p> 	$F_d = \frac{D_{max}}{D_o}$ $F_d = \frac{2R_{max}}{2R_o}$ $F_d = \frac{R_{max}}{R_o}$ $F_d = \frac{4,927 \text{ mm}}{4,122 \text{ mm}}$ $F_d = 1,20$

Fuente. Autor

4.1.8 Fichas de reporte de rugosidad superficial

Ficha técnica 1. Recolección de datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado en el material compuesto de matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE DATOS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL (Ra)			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Medición de rugosidad (Ra)
Fecha de ejecución:	06/08/2018	Lugar:	Escuela Politécnica Nacional
Laboratorio:	Laboratorio de investigación, desarrollo e innovación en nuevas tecnologías de diseño, manufactura y producción. (Anexo 17)		
Realizado por:	Erika Silva	Revisado por:	Ing. Cristian Perez, Mg.
Matriz	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica	70%
Refuerzo	Fibra de vidrio	Frac. Volumétrica	30%
Configuración de la fibra	Tejido plano	Número de capas	6
Estratificación	Manual	Herramental -Fresa de dentado cruzado -Fresa de diamante cilíndrica	
RUGOSÍMETRO			
Marca:	MITUTUYO	Modelo:	Surftest SJ 210
REGISTRO DE MEDICIONES Ra (um)			
CÓDIGO	Ra (um)	CÓDIGO	Ra (um)
PH1A	0,83	PD1B	4,68
PH2B	0,78	PD2C	2,70
PH3C	4,60	PD3A	8,38
PH1A	1,09	PD1B	2,81
PH2B	1,34	PD2C	5,69
PH3C	1,26	PD3A	3,80
PH1A	0,92	PD1C	6,34
PH2B	1,11	PD2A	2,85
PH3C	1,67	PD3B	5,07

Ficha técnica 2. Recolección de datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE DATOS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL (Ra)			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Medición de rugosidad (Ra)
Fecha de ejecución:	06/08/2018	Lugar:	Escuela Politécnica Nacional
Laboratorio:	Laboratorio de investigación, desarrollo e innovación en nuevas tecnologías de diseño, manufactura y producción. (Anexo 17)		
Realizado por:	Erika Silva	Revisado por:	Ing. Cristian Perez, Mg.
Matriz	Resina Epóxica	Frac. Volumétrica	70%
Refuerzo	Fibra de vidrio	Frac. Volumétrica	30%
Configuración de la fibra	Tejido plano	Número de capas	6
Estratificación	Manual	Herramental	-Fresa de dentado cruzado - Fresa de diamante cilíndrica
RUGOSÍMETRO			
Marca:	MITUTUYO	Modelo:	Surftest SJ 210
REGISTRO DE MEDICIONES Ra (um)			
CÓDIGO	Ra (um)	CÓDIGO	Ra (um)
EH1A	1,69	ED1C	7,18
EH2B	1,47	ED2A	8,08
EH3C	2,73	ED3B	5,94
EH1B	6,42	ED1C	7,52
EH2C	1,68	ED2A	6,79
EH3A	2,42	ED3B	7,89
EH1B	2,58	ED1C	8,08
EH2C	1,73	ED2A	5,43
EH3A	2,98	ED3B	5,28

Ficha técnica 3. Recolección de datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado en el material compuesto de matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

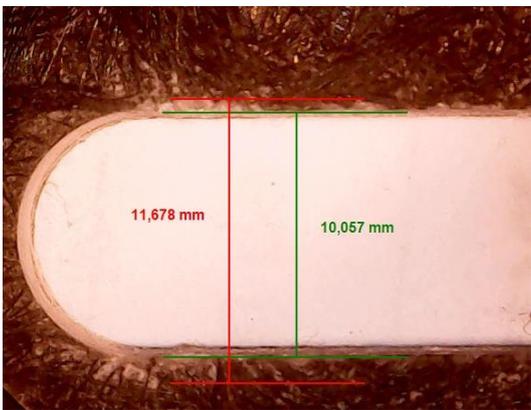
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE DATOS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL (Ra)			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Medición de rugosidad (Ra)
Fecha de ejecución:	06/08/2018	Lugar:	Escuela Politécnica Nacional
Laboratorio:	Laboratorio de investigación, desarrollo e innovación en nuevas tecnologías de diseño, manufactura y producción. (Anexo 17)		
Realizado por:	Erika Silva	Revisado por:	Ing. Cristian Perez, Mg.
Matriz	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica	70%
Refuerzo	Fibra de vidrio	Frac. Volumétrica	30%
Configuración de la fibra	Tejido plano	Número de capas	12
Estratificación	Manual	Herramental -Broca helicoidal de punta modificada -Broca helicoidal con incrustaciones de diamante	
RUGOSÍMETRO			
Marca:	MITUTUYO	Modelo:	Surftest SJ 210
REGISTRO DE MEDICIONES Ra (um)			
CÓDIGO	Ra (um)	CÓDIGO	Ra (um)
PL1A	7,66	PD1B	9,92
PL2B	6,52	PD2C	11,58
PL3C	8,60	PD3A	8,91
PL1A	8,89	PD1B	13,62
PL2B	6,80	PD2C	10,72
PL3C	7,26	PD3A	7,41
PL1A	6,89	PD1C	9,55
PL2B	5,62	PD2A	12,27
PL3C	6,93	PD3B	9,82

Ficha técnica 4. Recolección de datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

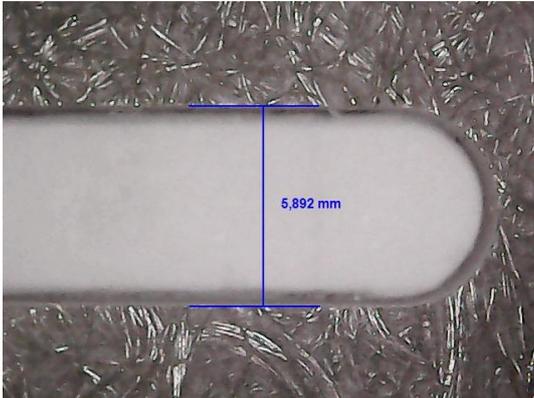
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE DATOS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL (Ra)			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Medición de rugosidad (Ra)
Fecha de ejecución:	06/08/2018	Lugar:	Escuela Politécnica Nacional
Laboratorio:	Laboratorio de investigación, desarrollo e innovación en nuevas tecnologías de diseño, manufactura y producción. (Anexo 17)		
Realizado por:	Erika Silva	Revisado por:	Ing. Cristian Perez, Mg.
Matriz	Resina Epóxica	Frac. Volumétrica	70%
Refuerzo	Fibra de vidrio	Frac. Volumétrica	30%
Configuración de la fibra	Tejido plano	Número de capas	12
Estratificación	Manual	Herramental -Broca helicoidal de punta modificada -Broca helicoidal con incrustaciones de diamante	
RUGOSÍMETRO			
Marca:	MITUTUYO	Modelo:	Surftest SJ 210
REGISTRO DE MEDICIONES Ra (um)			
CÓDIGO	Ra (um)	CÓDIGO	Ra (um)
EL1A	7,31	ED1C	10,16
EL2B	7,40	ED2A	15,31
EL3C	10,10	ED3B	13,47
EL1B	10,25	ED1C	10,68
EL2C	11,51	ED2A	9,59
EL3A	8,36	ED3B	9,20
EL1B	7,53	ED1C	11,13
EL2C	7,13	ED2A	13,62
EL3A	9,7	ED3B	13,40

4.1.9 Fichas de reporte del factor de delaminación

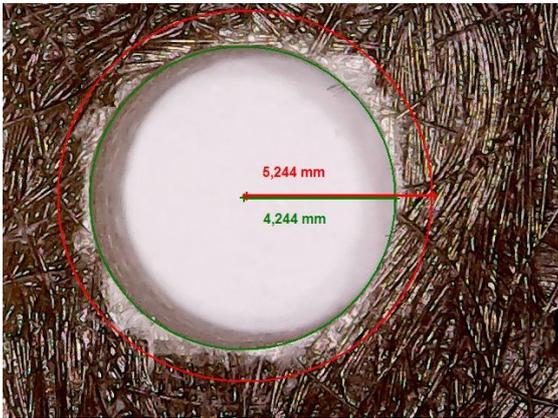
Ficha técnica 5. Recolección de datos de delaminación del proceso de ranurado en el material compuesto de matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE DELAMINACIÓN (F_d)					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Medición del factor de delaminación		
Fecha de ejecución:	15/08/2018	Lugar:	Universidad Técnica de Ambato		
Laboratorio:	Laboratorio de la carrera de ingeniería mecánica				
Realizado por:	Erika Silva	Revisado por:	Ing. Cristian Perez, Mg.		
Matriz	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica	70%		
Refuerzo	Fibra de vidrio	Frac. Volumétrica	30%		
Configuración de la fibra	Tejido plano	Número de capas	6		
Estratificación	Manual	Herramental			
Equipo	Microscopio digital	-Fresa de dentado cruzado -Fresa de diamante cilíndrica			
Delaminación: Ranura PD1B		REGISTRO DE MEDICIONES (F_d)			
		CÓDIGO	F_d	CÓDIGO	F_d
		PH1A	1	PD1B	1,12
		PH2B	1	PD2C	1
		PH3C	1	PD3A	1
		PH1A	1	PD1B	1,16
		PH2B	1	PD2C	1,11
		PH3C	1	PD3A	1,09
		PH1A	1	PD1C	1
		PH2B	1	PD2A	1
		PH3C	1	PD3B	1

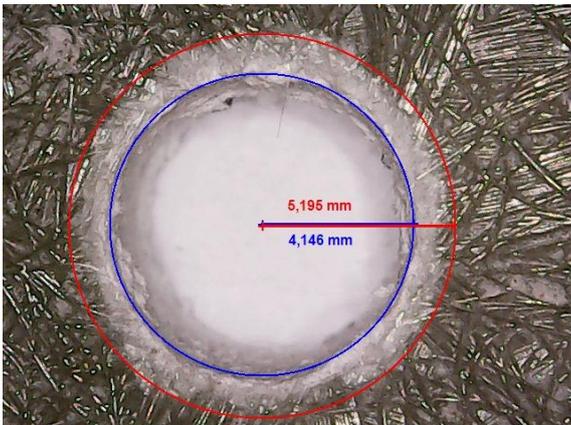
Ficha técnica 6. Recolección de datos de delaminación del proceso de ranurado en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE DELAMINACIÓN (F_d)					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Medición del factor de delaminación		
Fecha de ejecución:	15/08/2018	Lugar:	Universidad Técnica de Ambato		
Laboratorio:	Laboratorio de la carrera de ingeniería mecánica				
Realizado por:	Erika Silva	Revisado por:	Ing. Cristian Perez, Mg.		
Matriz	Resina Epóxica	Frac. Volumétrica	70%		
Refuerzo	Fibra de vidrio	Frac. Volumétrica	30%		
Configuración de la fibra	Tejido plano	Número de capas	6		
Estratificación	Manual	Herramental			
Equipo	Microscopio digital	-Fresa de dentado cruzado -Fresa de diamante cilíndrica			
Delaminación: Ranura EH1A		REGISTRO DE MEDICIONES (F_d)			
		CÓDIGO	F_d	CÓDIGO	F_d
		EH1A	1	ED1C	1
		EH2B	1	ED2A	1
		EH3C	1	ED3B	1,29
		EH1B	1	ED1C	1,08
		EH2C	1	ED2A	1
		EH3A	1	ED3B	1,31
		EH1B	1	ED1C	1,08
		EH2C	1	ED2A	1,26
		EH3A	1	ED3B	1,41

Ficha técnica 7. Recolección de datos de delaminación del proceso de taladrado en el material compuesto de matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE DELAMINACIÓN (F_d)					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Medición del factor de delaminación		
Fecha de ejecución:	15/08/2018	Lugar:	Universidad Técnica de Ambato		
Laboratorio:	Laboratorio de la carrera de ingeniería mecánica				
Realizado por:	Erika Silva	Revisado por:	Ing. Cristian Perez, Mg.		
Matriz	Resina Poliéster	Frac. Volumétrica	70%		
Refuerzo	Fibra de vidrio	Frac. Volumétrica	30%		
Configuración de la fibra	Tejido plano	Número de capas	12		
Estratificación	Manual	Herramental			
Equipo	Microscopio digital	-Broca helicoidal de punta modificada -Broca helicoidal con incrustaciones de diamante			
Delaminación: Perforación PL1A		REGISTRO DE MEDICIONES (F_d)			
		CÓDIGO	F_d	CÓDIGO	F_d
		PL1A	1,28	PD1B	1,30
		PL2B	1,49	PD2C	1,61
		PL3C	1,46	PD3A	1,13
		PL1A	1,24	PD1B	1,92
		PL2B	1,45	PD2C	1,56
		PL3C	1,71	PD3A	1,13
		PL1A	1,07	PD1C	1,42
		PL2B	1,13	PD2A	1,12
		PL3C	1,55	PD3B	1,31

Ficha técnica 8. Recolección de datos de delaminación del proceso de taladrado en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE DELAMINACIÓN (F_d)					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Medición del factor de delaminación		
Fecha de ejecución:	15/08/2018	Lugar:	Universidad Técnica de Ambato		
Laboratorio:	Laboratorio de la carrera de ingeniería mecánica				
Realizado por:	Erika Silva	Revisado por:	Ing. Cristian Perez, Mg.		
Matriz	Resina Epóxica	Frac. Volumétrica	70%		
Refuerzo	Fibra de vidrio	Frac. Volumétrica	30%		
Configuración de la fibra	Tejido plano	Número de capas	12		
Estratificación	Manual	Herramental -Broca helicoidal de punta modificada -Broca helicoidal con incrustaciones de diamante			
Equipo	Microscopio digital				
Delaminación: Perforación EL1B		REGISTRO DE MEDICIONES (F_d)			
		CÓDIGO	F_d	CÓDIGO	F_d
		EL1A	1,26	ED1C	1,27
		EL2B	1,19	ED2A	1,16
		EL3C	1,28	ED3B	1,22
		EL1B	1,25	ED1C	1,48
		EL2C	1,21	ED2A	1,21
		EL3A	1,20	ED3B	1,07
		EL1B	1,31	ED1C	1,16
		EL2C	1,04	ED2A	1,11
		EL3A	1,26	ED3B	1,27

4.1.10 Estadística descriptiva de los datos obtenidos

Las gráficas mostradas a continuación reflejan los resultados de los ensayos experimentales realizados de acuerdo al diseño experimental detallado en las tablas 3-2 y 3-3, además la codificación de dichos ensayos se encuentra en la tabla 4-5 y tabla 4-6, donde se puede identificar las condiciones de velocidad de corte, velocidad de avance, herramienta utilizada y material mecanizado.

4.1.10.1 Datos estadísticos de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

Rugosidad Superficial (μm)

N	18
Media	3,11
Desviación estándar	2,249
Varianza	5,060
Mínimo	0,78
Máximo	8,38

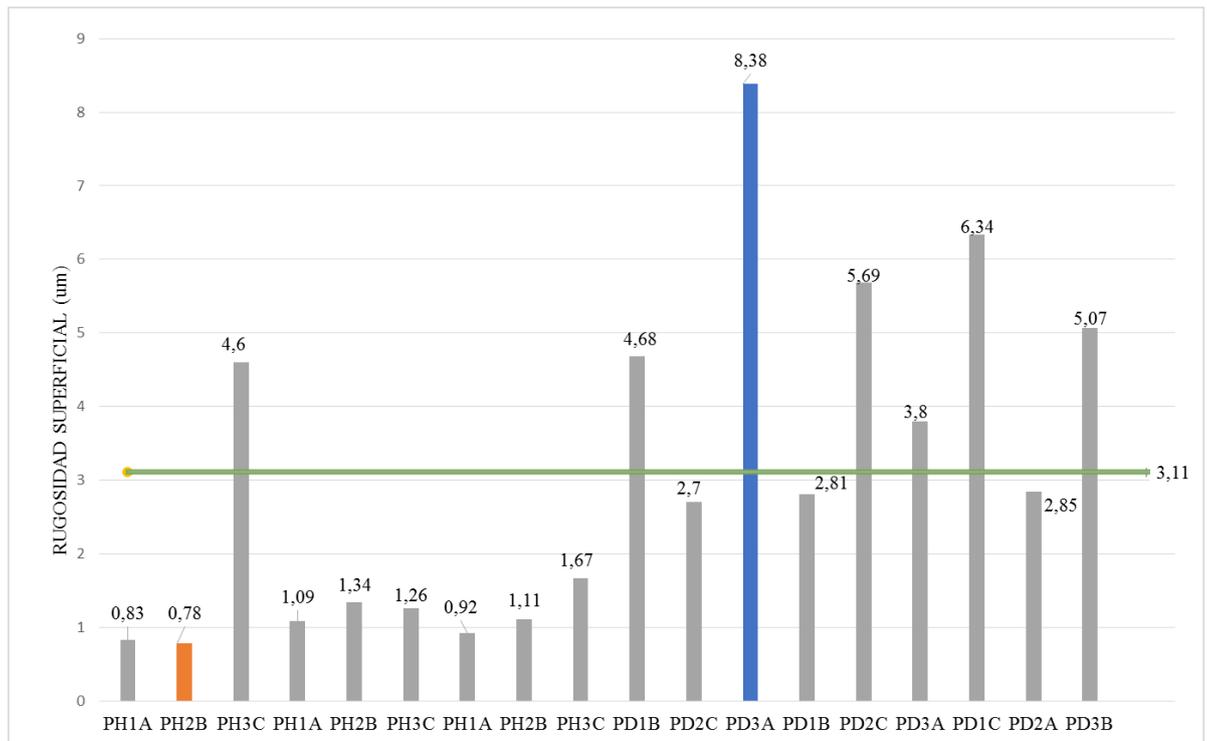


Figura 4- 15. Gráfica de los datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

Fuente. Autor

4.1.10.2 Datos estadísticos de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

Rugosidad Superficial (μm)

N	18
Media	4,772
Desviación estándar	2,552
Varianza	6,514
Mínimo	1,47
Máximo	8,08

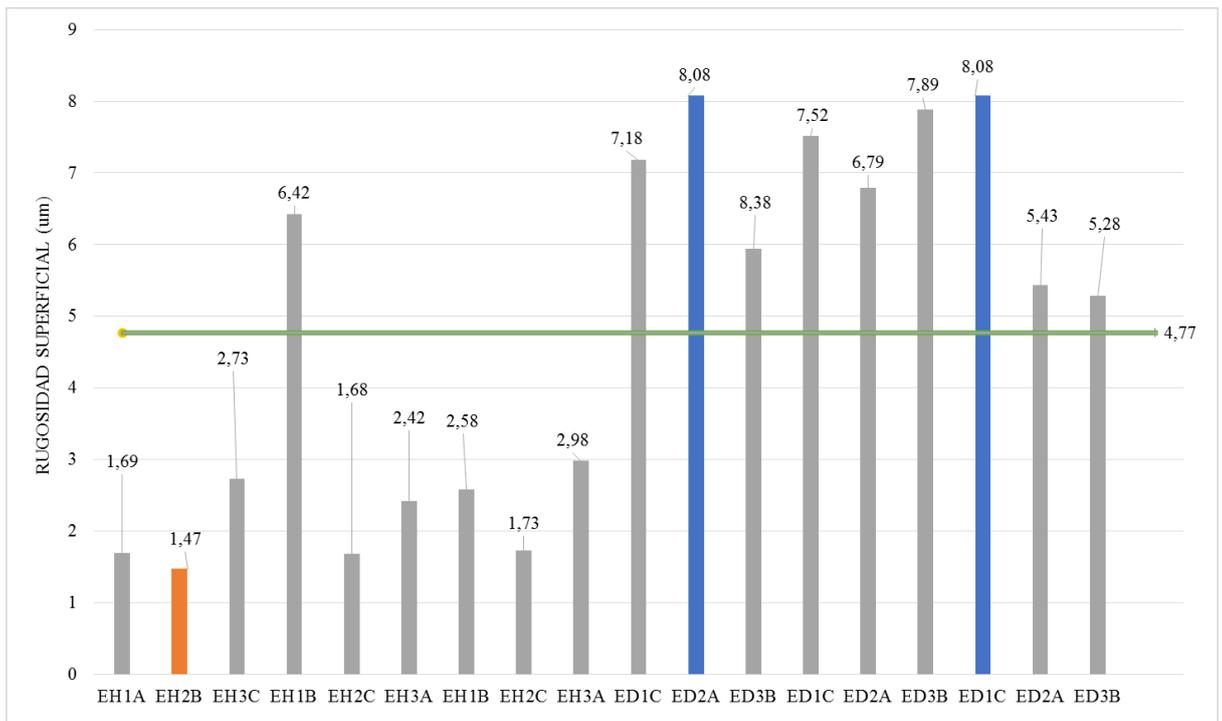


Figura 4- 16. Gráfica de los datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

Fuente. Autor

4.1.10.3 Datos estadísticos de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

Rugosidad Superficial (μm)

N	18
Media	8,83
Desviación estándar	2,235
Varianza	4,997
Mínimo	5,62
Máximo	13,62

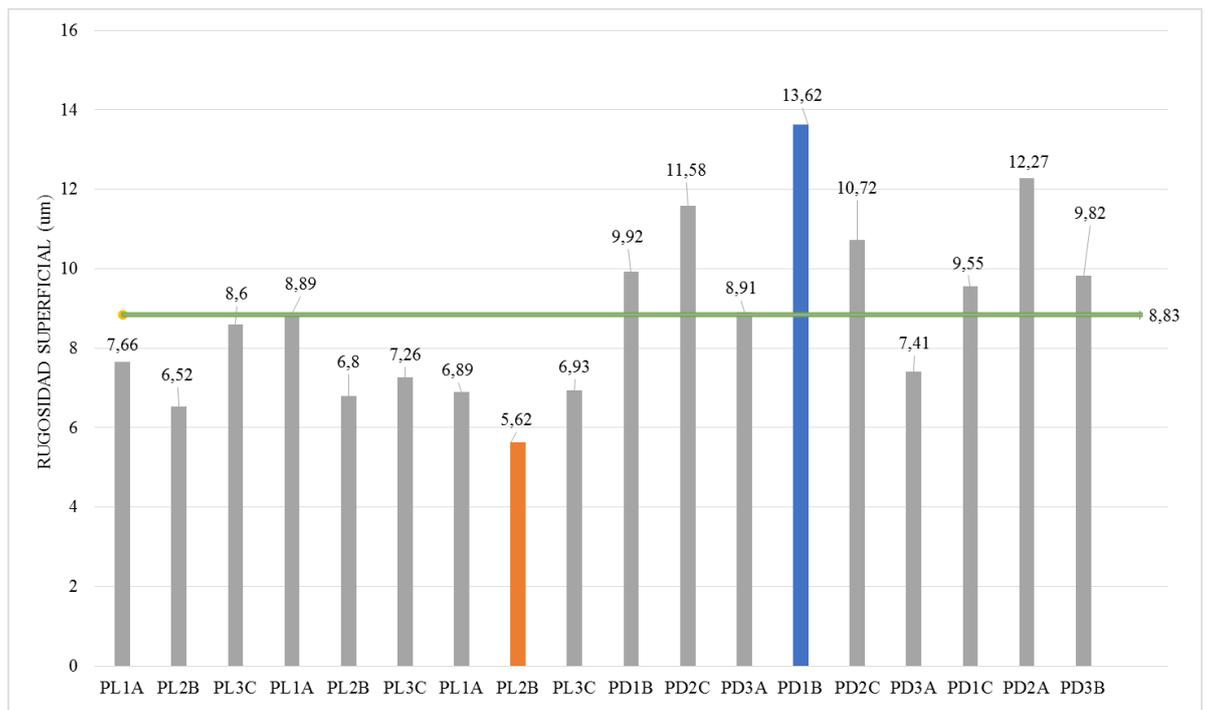


Figura 4- 17. Gráfica de los datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

Fuente. Autor

4.1.10.4 Datos estadísticos de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

Rugosidad Superficial (μm)

N	18
Media	0,329
Desviación estándar	2,419
Varianza	5,856
Mínimo	7,13
Máximo	15,31

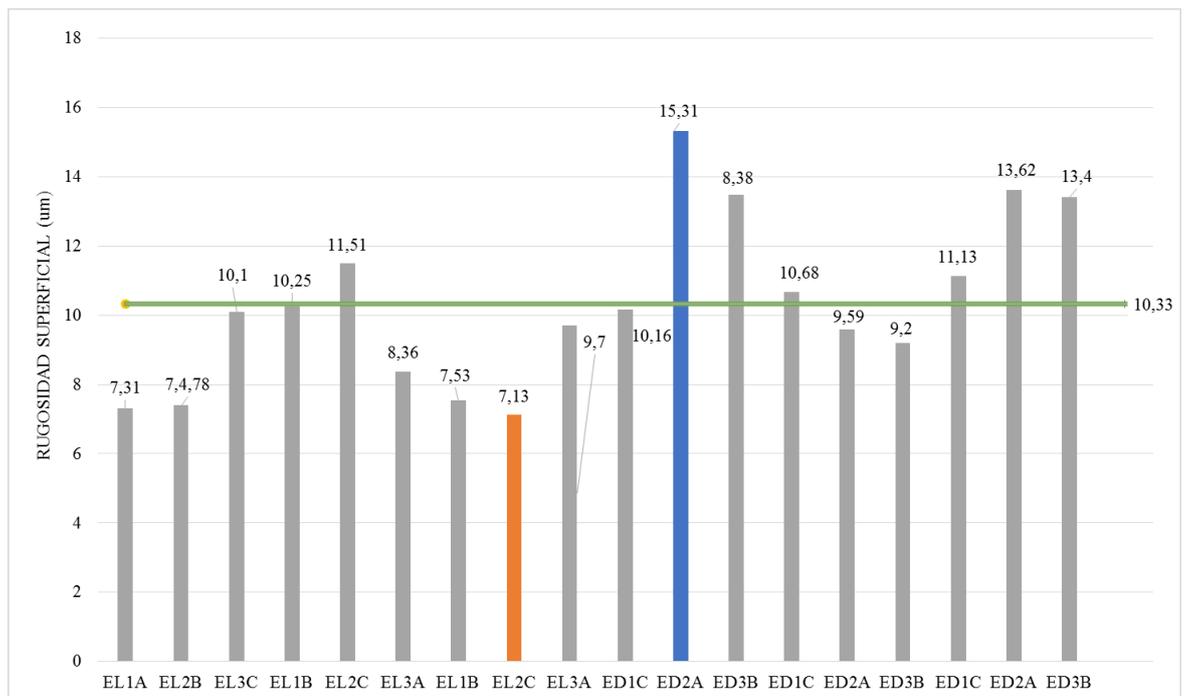


Figura 4- 18. Gráfica de los datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

Fuente. Autor

4.1.10.5 Datos estadísticos de la delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

Delaminación

N	18
Media	1,027
Desviación estándar	0,053
Varianza	0,003
Mínimo	1,00
Máximo	1,16

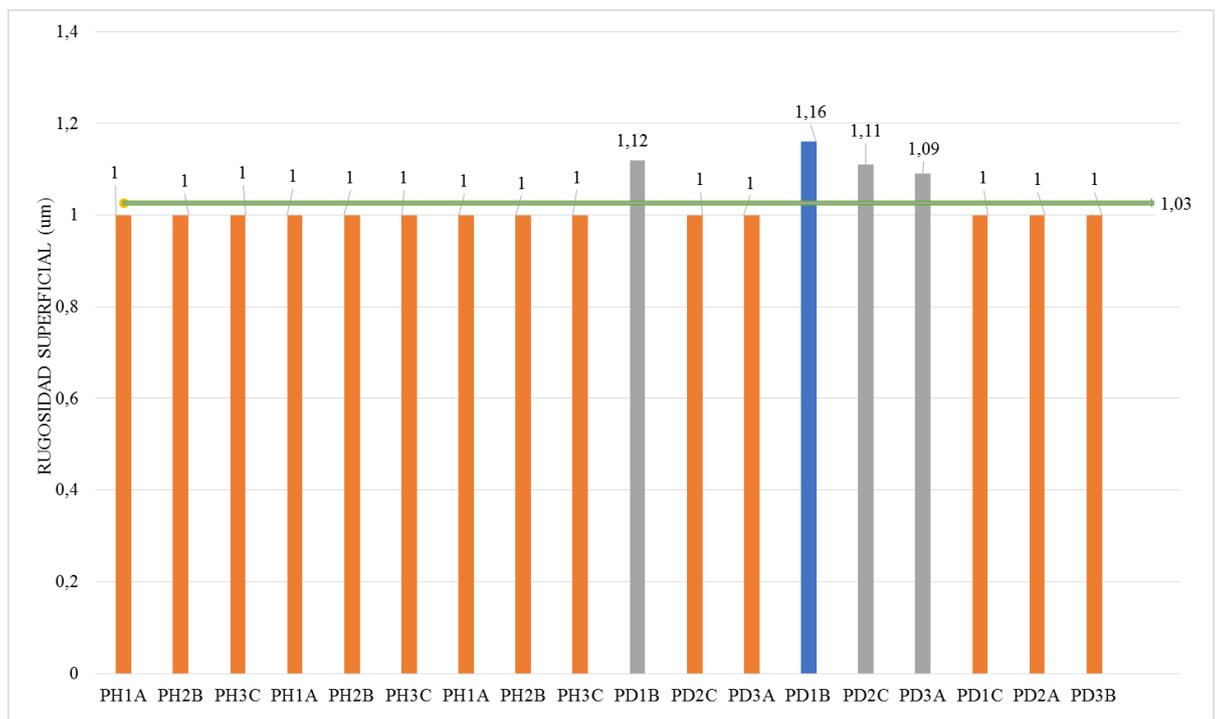


Figura 4- 19. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

Fuente. Autor

4.1.10.6 Datos estadísticos de la delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

Datos Estadísticos del grupo

Delaminación

N	18
Media	1,079
Desviación estándar	0,136
Varianza	0,019
Mínimo	1,00
Máximo	1,41

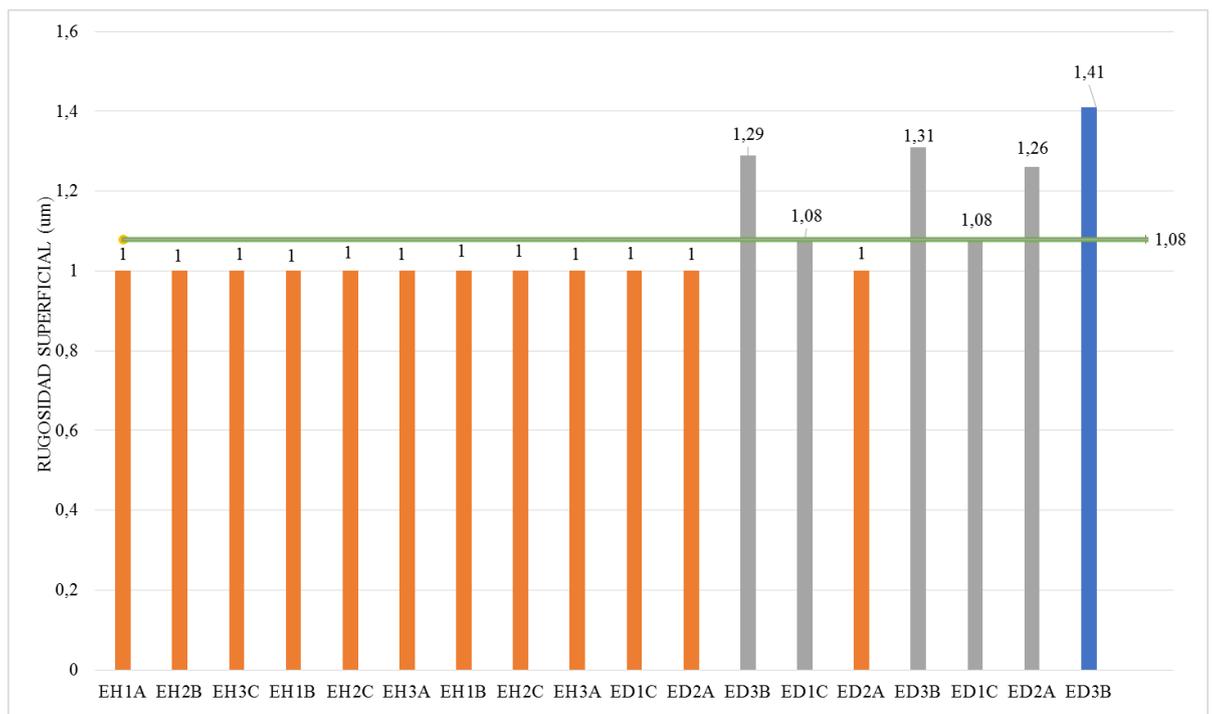


Figura 4- 20. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

Fuente. Autor

4.1.10.7 Datos estadísticos de la delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

Delaminación

N	18
Media	1,38
Desviación estándar	0,233
Varianza	0,054
Mínimo	1,07
Máximo	1,92

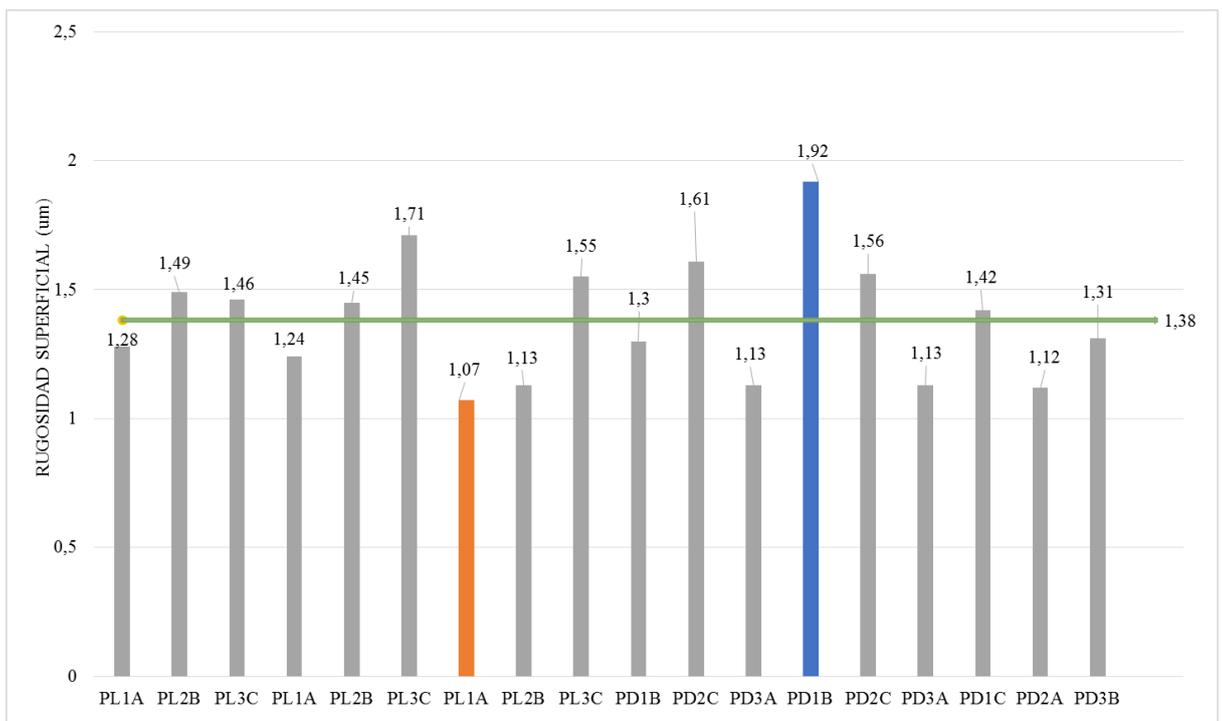


Figura 4- 21. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

Fuente. Autor

4.1.10.8 Diagrama de frecuencias de la delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

Delaminación

N	18
Media	1,219
Desviación estándar	0,983
Varianza	0,010
Mínimo	1,04
Máximo	1,48

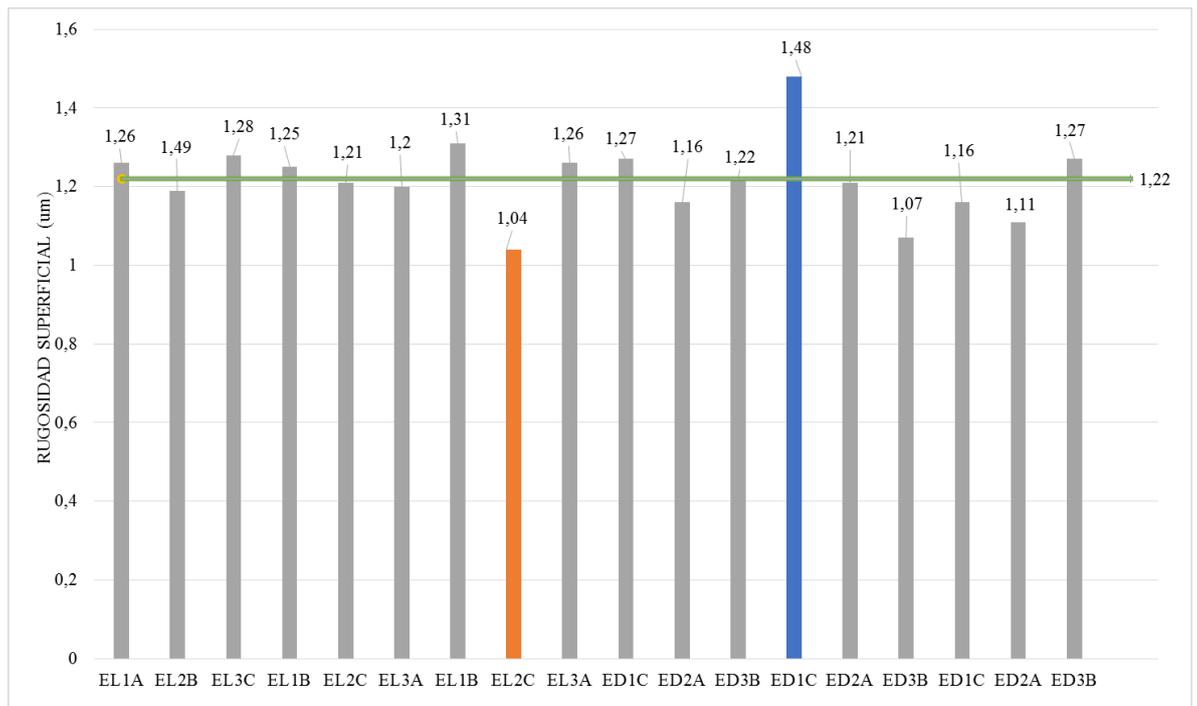


Figura 4- 22. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

Fuente. Autor

4.1.11 Graficas de rugosidad superficial de acuerdo a las velocidades de corte y avance

4.1.11.1 Rugosidad superficial obtenida con los niveles de velocidades del proceso de ranurado en el material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio

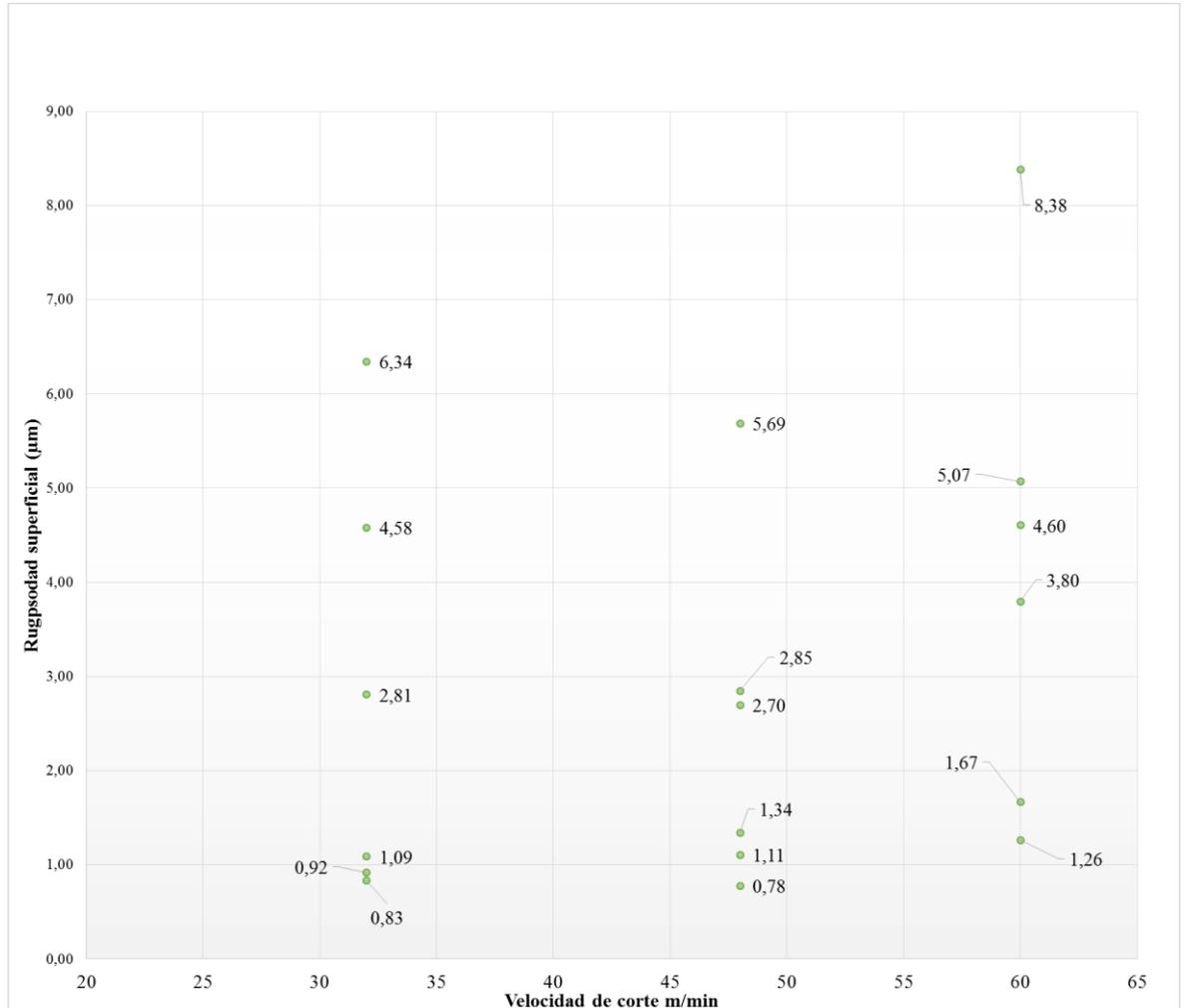


Figura 4- 23. Gráfica de los datos de rugosidad superficial del proceso de ranurado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de corte

Fuente. Autor

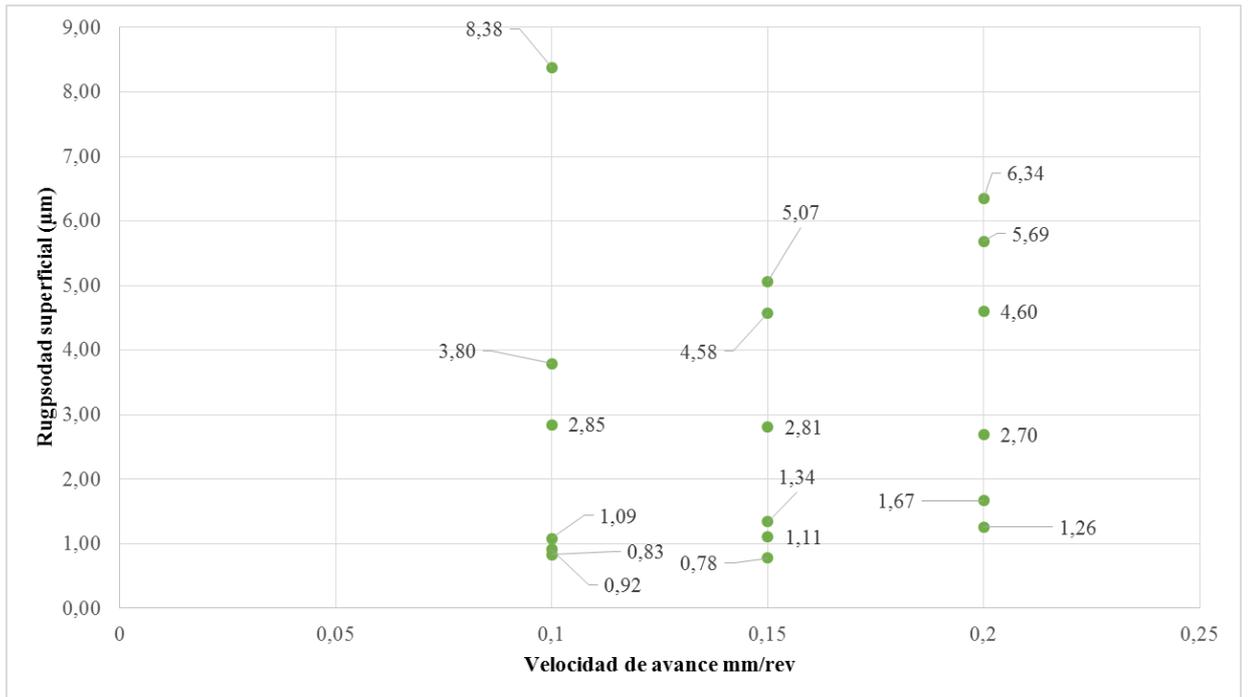


Figura 4- 24. Gráfica de los datos de rugosidad superficial del proceso de ranurado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de avance

Fuente. Autor

4.1.11.2 Rugosidad superficial obtenida con los niveles de velocidades del proceso de ranurado en el material compuesto de matriz epòxica reforzada con fibra de vidrio

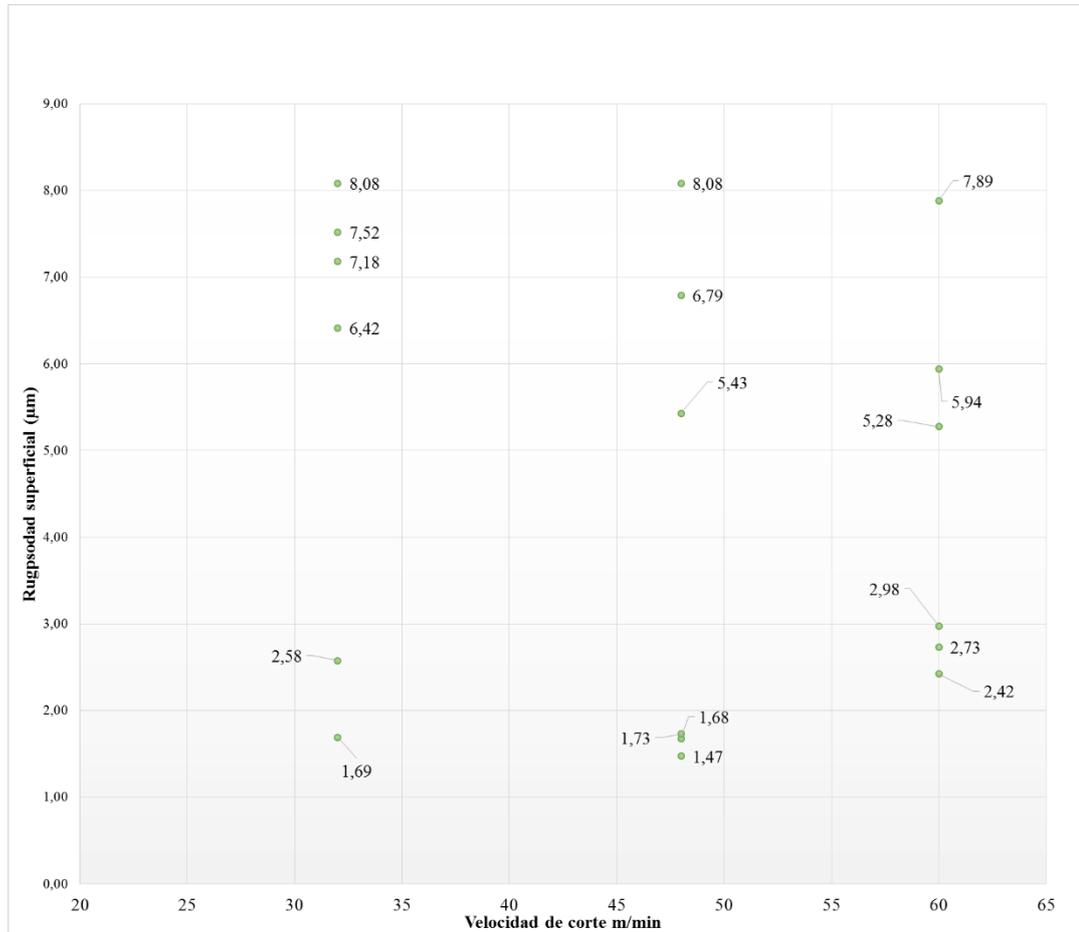


Figura 4- 25. Gráfica de los datos de rugosidad superficial del proceso de ranurado del compuesto matriz epòxica reforzada con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de corte

Fuente. Autor

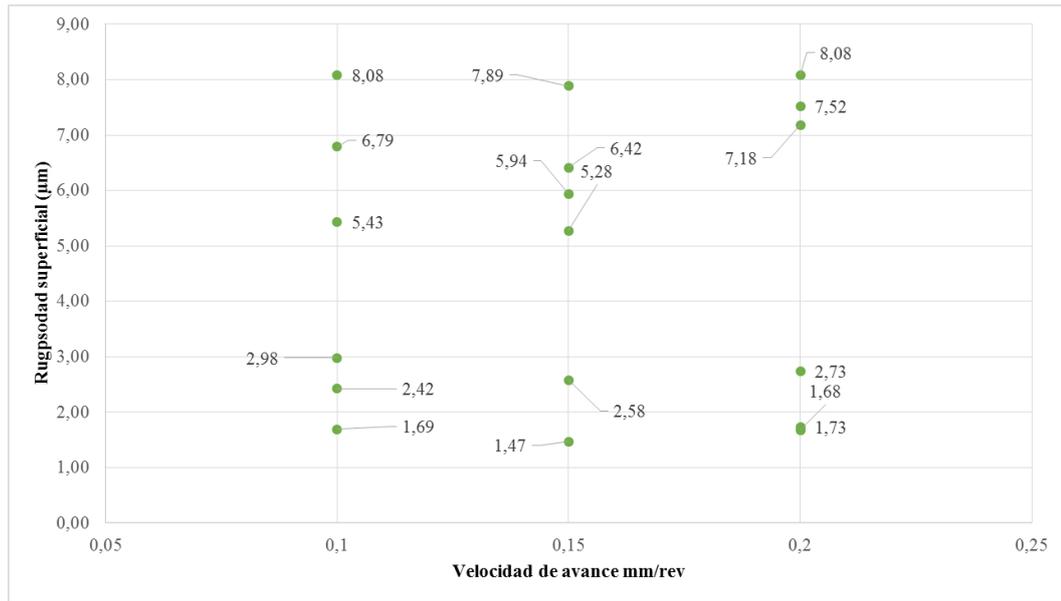


Figura 4- 26. Gráfica de los datos de rugosidad superficial del proceso de ranurado del compuesto matriz epòxica reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de avance

Fuente. Autor

4.1.11.3 Rugosidad superficial obtenida con los niveles de velocidades del proceso de taladrado en el material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio

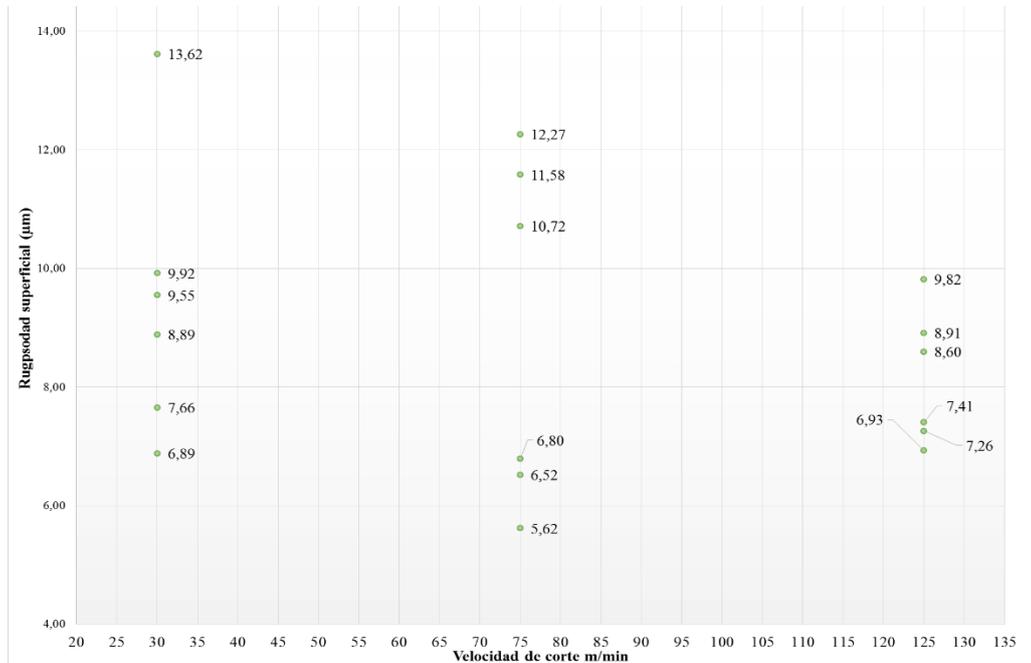


Figura 4- 27. Gráfica de los datos de rugosidad superficial del proceso de taladrado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de corte

Fuente. Autor

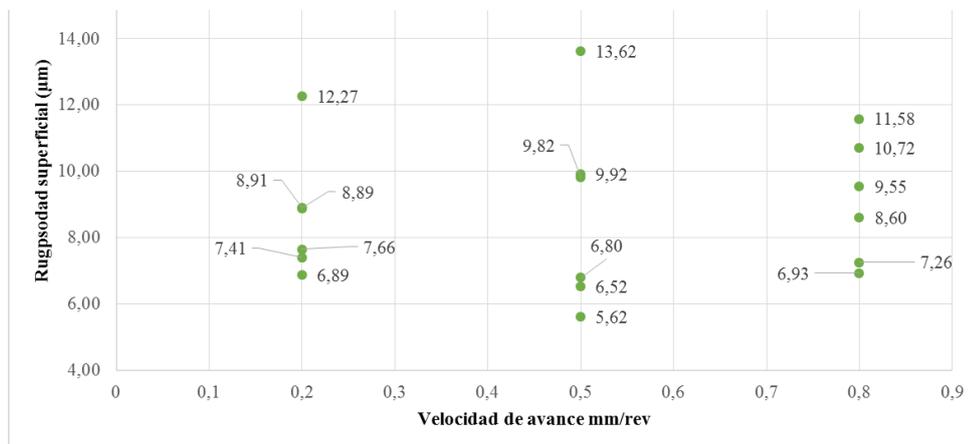


Figura 4- 28. Gráfica de los datos de rugosidad superficial del proceso de taladrado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de avance

Fuente. Autor

4.1.11.4 Rugosidad superficial obtenida con los niveles de velocidades del proceso de taladrado en el material compuesto de matriz epòxica reforzada con fibra de vidrio

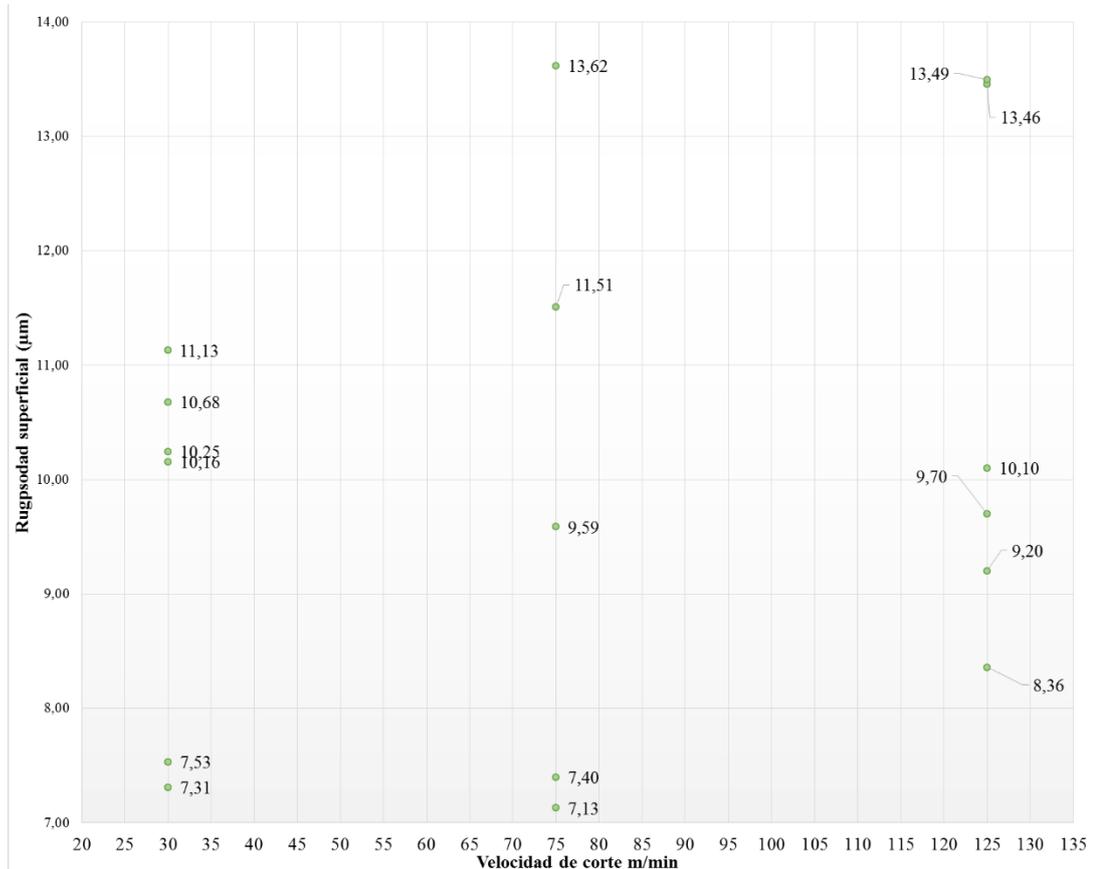


Figura 4- 29. Gráfica de los datos de rugosidad superficial del proceso de taladrado del compuesto matriz epòxica reforzada con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de corte

Fuente. Autor

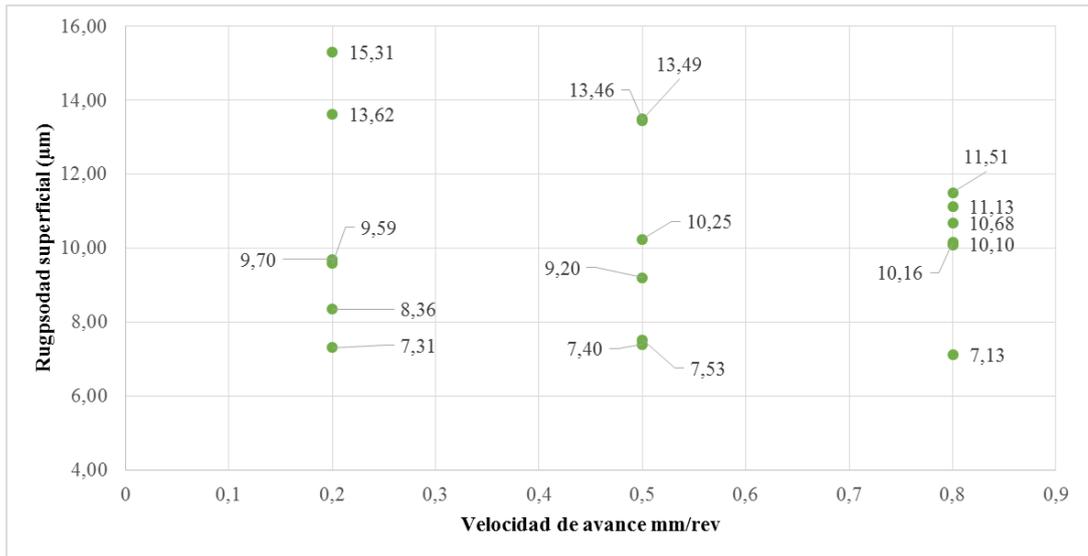


Figura 4- 30. Gráfica de los datos de rugosidad superficial del proceso de taladrado del compuesto matriz epòxica reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de avance

Fuente. Autor

4.1.11.5 Delaminación obtenida con los niveles de velocidades del proceso de ranurado en el material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio

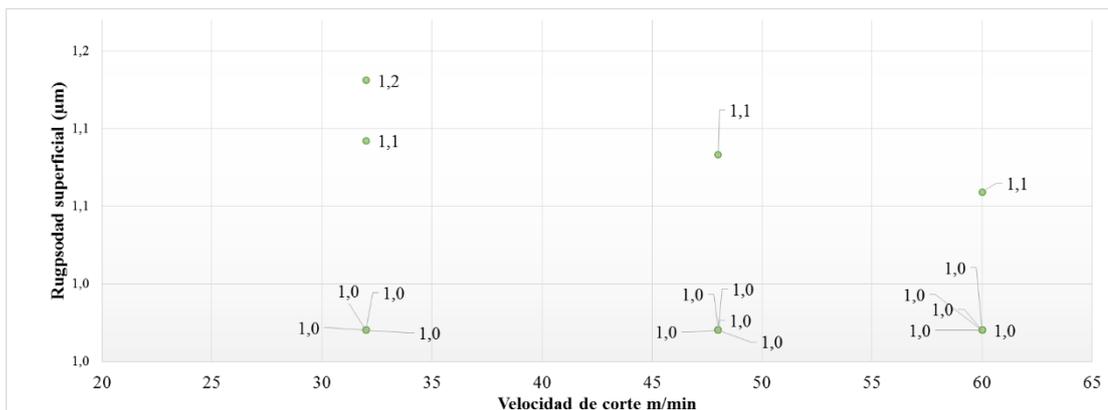


Figura 4- 31. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de corte

Fuente. Autor

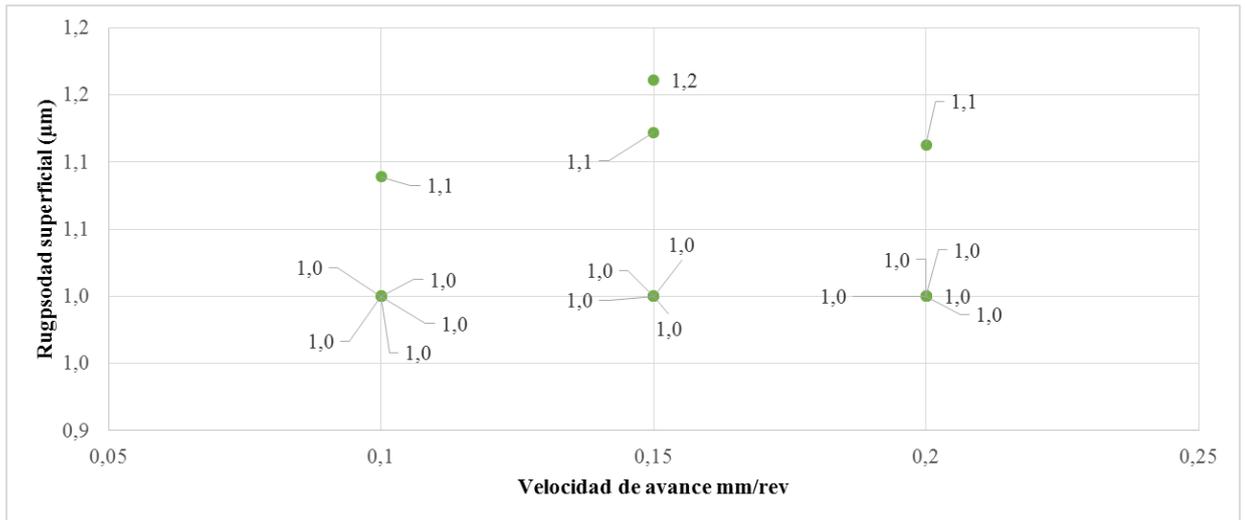


Figura 4- 32. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de avance

Fuente. Autor

4.1.11.6 Delaminación obtenida con los niveles de velocidades del proceso de ranurado en el material compuesto de matriz epòxica reforzada con fibra de vidrio

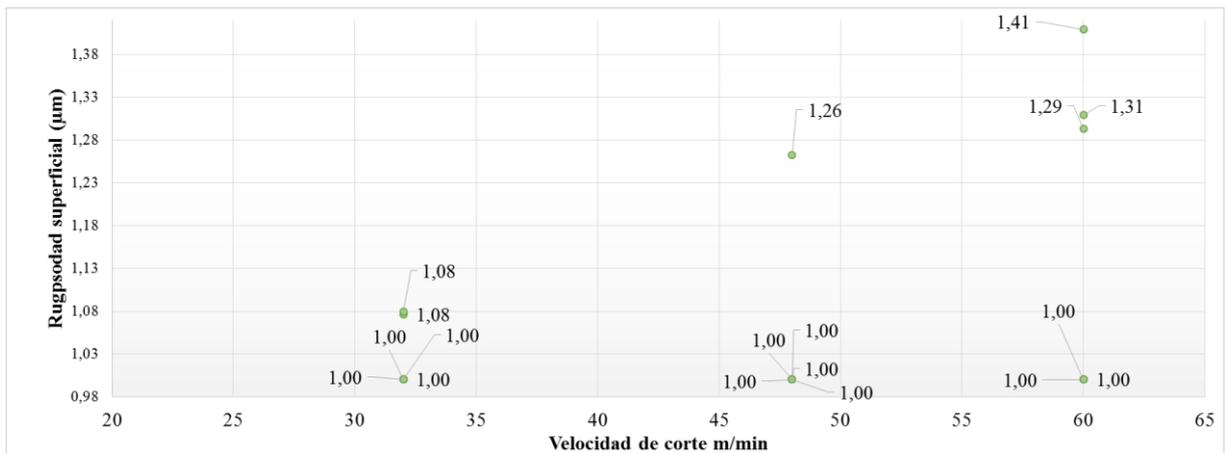
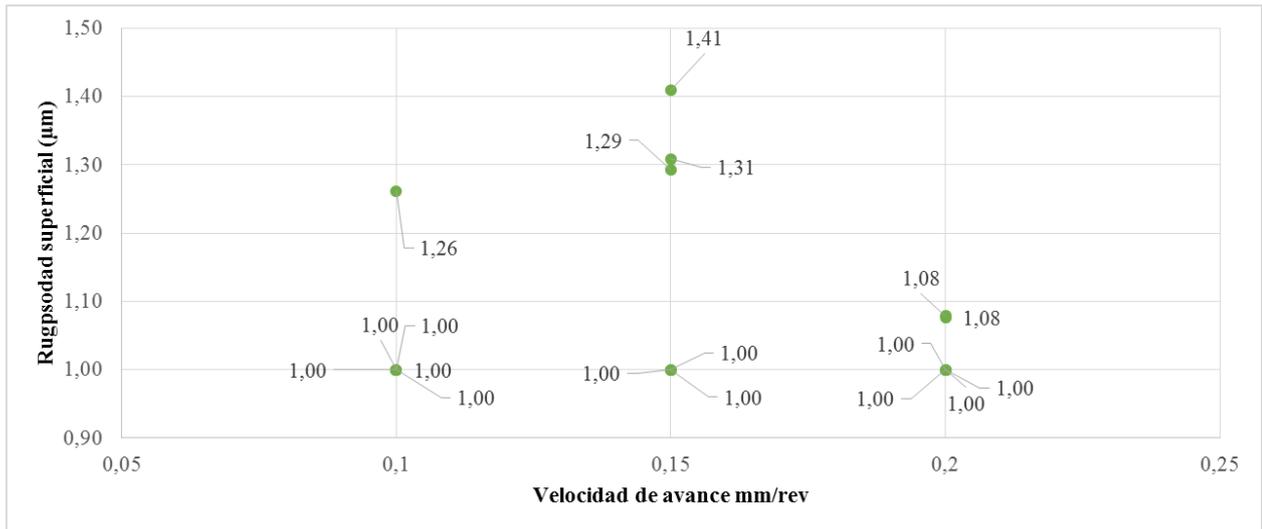


Figura 4- 33. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz epòxica reforzada con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de corte

Fuente. Autor



Fuente. Autor

Figura 4- 34. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz epòxica reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de avance

Fuente. Autor

4.1.11.7 Delaminación obtenida con los niveles de velocidades del proceso de taladrado en el material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio

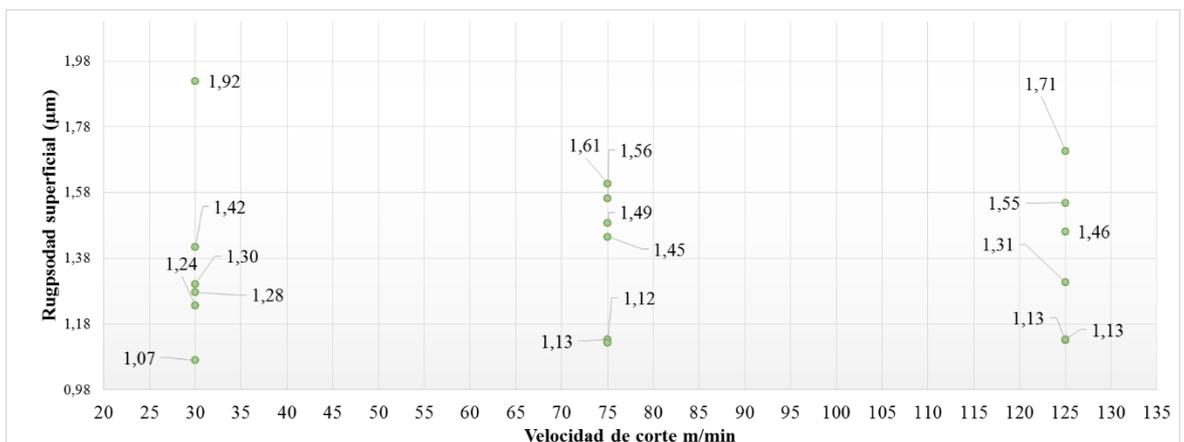


Figura 4- 35. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de corte

Fuente. Autor

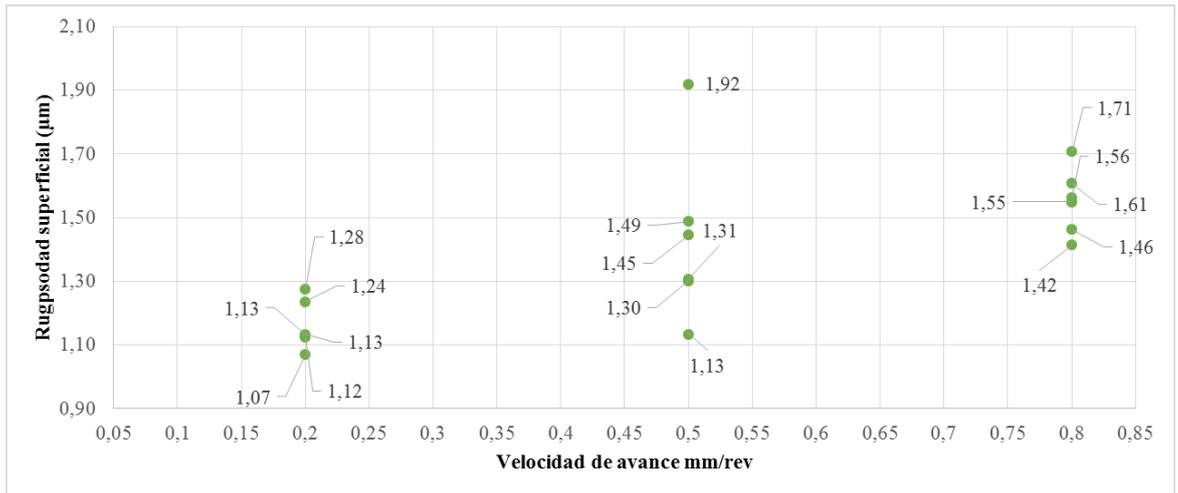


Figura 4- 36. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de avance

Fuente. Autor

4.1.11.8 Delaminación obtenida con los niveles de velocidades del proceso de taladrado en el material compuesto de matriz epòxica reforzada con fibra de vidrio

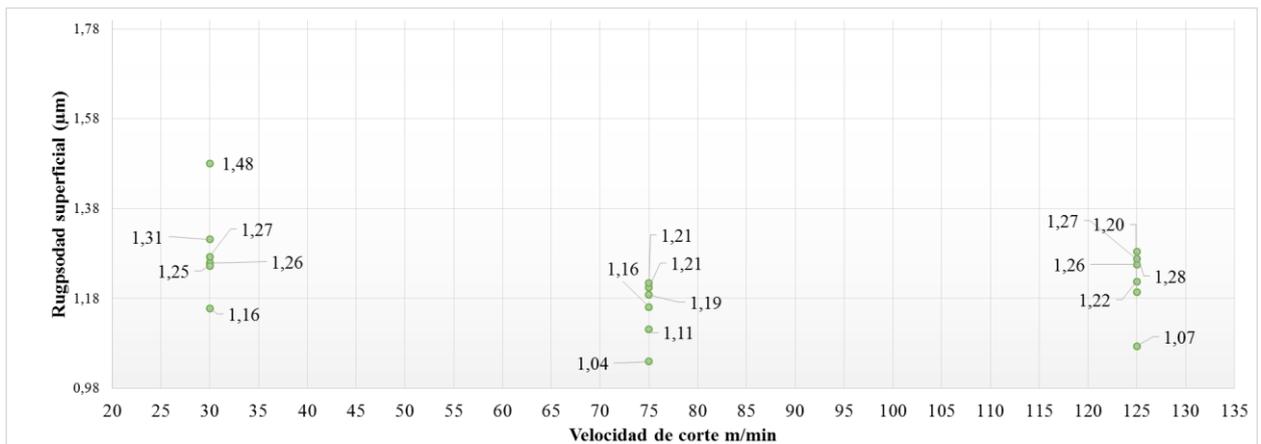
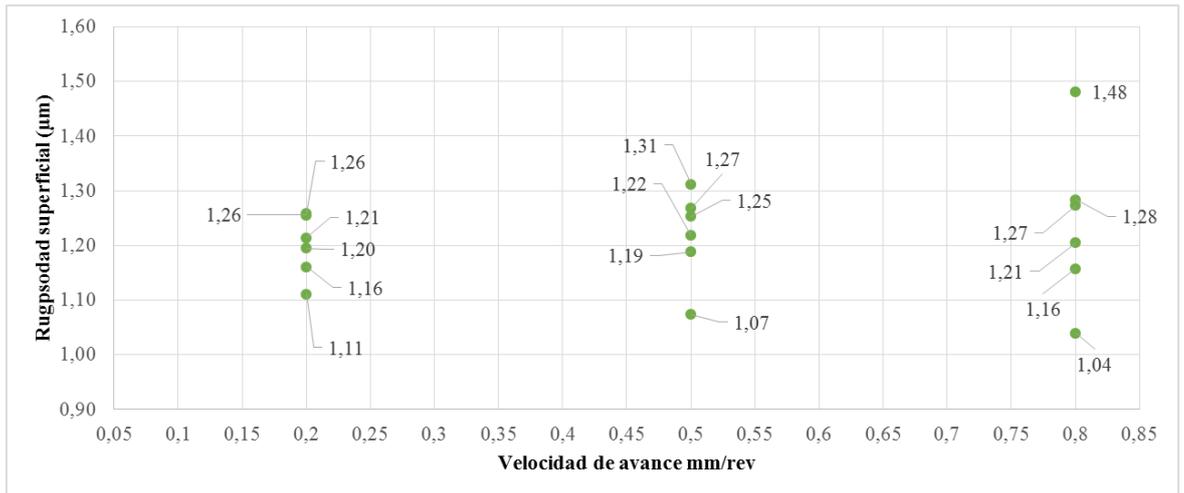


Figura 4- 37. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz epòxica reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de corte

Fuente. Autor



Fuente. Autor

Figura 4- 38. Gráfica de los datos de delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz epòxica reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo a la velocidad de avance

Fuente. Autor

4.1.12 Parámetros óptimos de mecanizado

A continuación, se detallan los parámetros óptimos con los cuales se obtuvo la mejor calidad superficial (R_a) y la menor delaminación del material mecanizado, la cual se definió mediante el factor de delaminación (F_d).

Tabla 4- 8. Parámetros óptimos del proceso de ranurado

Material compuesto	Herramienta	Velocidad de corte	Velocidad de avance	Rugosidad superficial (μm)	Delaminación
Matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio	Fresa con dentado cruzado	48 m/min	0,15 mm/rev	0,78	1
Matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio	Fresa con dentado cruzado	48 m/min	0,15 mm/rev	1,47	1

Fuente. Autor

Tabla 4- 9. Parámetros óptimos del proceso de taladrado

Material compuesto	Herramienta	Velocidad de corte	Velocidad de avance	Rugosidad superficial (μm)	Delaminación
Matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio	Broca helicoidal de punta modificada	75 m/min	0,5 mm/ rev	5,62	1,13
Matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio	Broca helicoidal con incrustaciones de diamante	75 m/min	0,8 mm/rev	7,13	1,04

Fuente. Autor

4.2 Análisis de los resultados

4.2.1 Análisis de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

Prueba de normalidad de datos de rugosidad superficial

Hipótesis:

- H_0 = Hipótesis nula
- H_A = Hipótesis alternativa

H_0 = Los datos de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado tienen distribución normal

H_A = Los datos de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado no tienen distribución normal

Número de muestras: 18

Nivel de significancia: 0,05

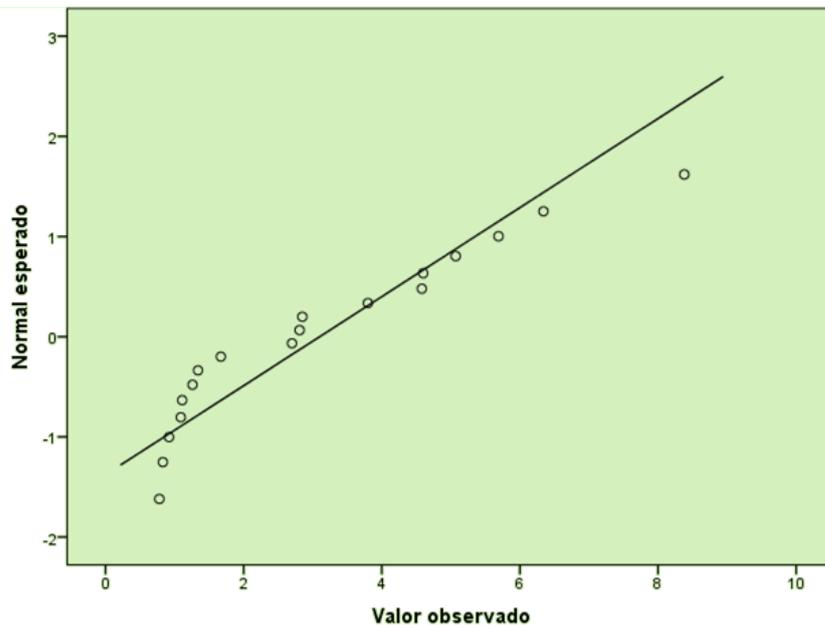


Figura 4- 39. Gráfica de distribución normal de los datos rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

Fuente. SPSS Statistical Software

Estadístico de prueba

Shapiro Wilk = 0,890

Valor p = 0,038

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: La prueba de normalidad es menor a la significancia del 5%, por lo tanto, las muestras de rugosidad superficial no tienen distribución normal

4.2.2 Análisis de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

Prueba de normalidad de datos de rugosidad superficial

Hipótesis:

- H_0 = Hipótesis nula
- H_A = Hipótesis alternativa

H_0 = Los datos de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado tienen distribución normal

H_A = Los datos de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado no tienen distribución normal

Numero de muestras: 18

Nivel de significancia: 0,05

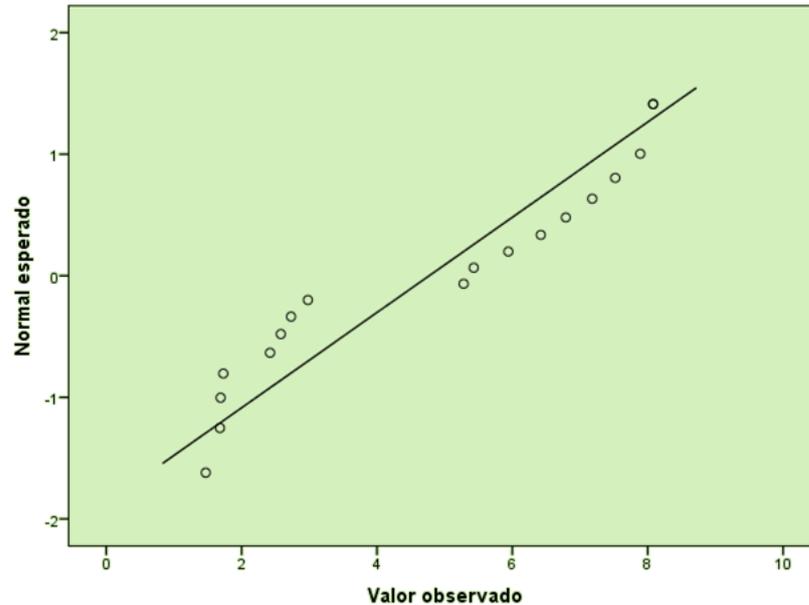


Figura 4- 40. Gráfica de distribución normal de los datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

Fuente. SPSS Statistical Software

Estadístico de prueba

Shapiro Wilk = 0,865

Valor p = 0,015

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: La prueba de normalidad es menor a la significancia del 5%, por lo tanto, las muestras de rugosidad superficial no tienen distribución normal

4.2.3 Análisis de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

Prueba de normalidad de datos de rugosidad superficial

Hipótesis:

- H_0 = Hipótesis nula
- H_A = Hipótesis alternativa

H_0 = Los datos de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado tienen distribución normal

H_A = Los datos de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado no tienen distribución normal

Número de muestras: 18

Nivel de significancia: 0,05

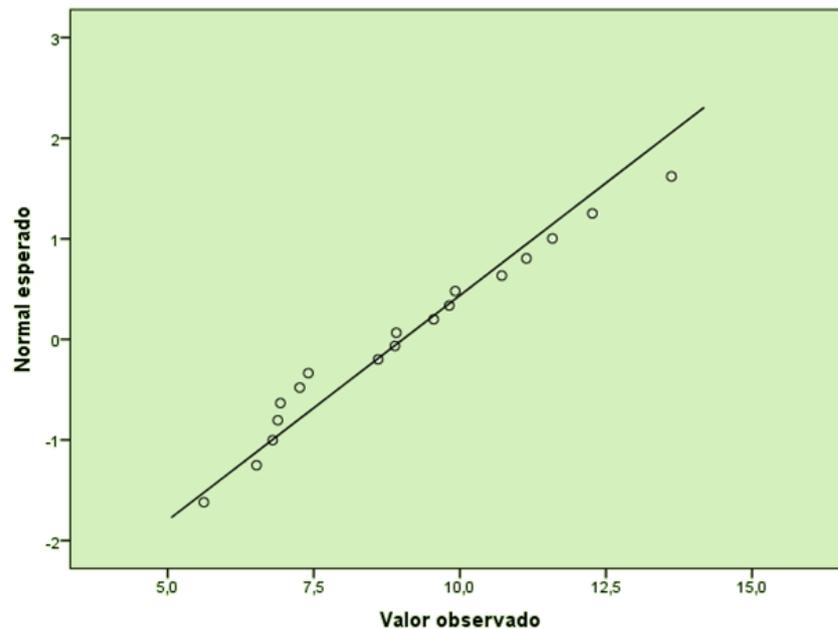


Figura 4- 41. Gráfica de distribución normal de los datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

Fuente. SPSS Statistical Software

Estadístico de prueba

Shapiro Wilk = 0,960

Valor p = 0,602

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: La prueba de normalidad es mayor a la significancia del 5%, por lo tanto, las muestras de rugosidad superficial tienen distribución normal

Prueba T-student comparación de medias de los datos de rugosidad superficial

Hipótesis:

- H_0 = Hipótesis nula
- H_A = Hipótesis alternativa

H_0 = La rugosidad superficial obtenida, es igual al mecanizar con la herramienta 1 (Broca helicoidal de punta modificada) y la herramienta 2 (Broca helicoidal con incrustaciones de diamante)

H_A = La rugosidad superficial obtenida, no es igual al mecanizar con la herramienta 1 (Broca helicoidal de punta modificada) y la herramienta 2 (Broca helicoidal con incrustaciones de diamante)

Número de muestras: 16

Nivel de significancia: 0,05

Tabla 4- 10. Datos estadísticos la rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

	Herramienta	N	Media	Desviación estándar
Rugosidad Superficial	Broca helicoidal de punta modificada	9	7,63	1,657
	Broca helicoidal con incrustaciones de diamante	9	10,42	1,864

Fuente. Autor

Estadístico de prueba

Estadístico t= -3,391

Valor p= 0,004

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: La rugosidad superficial obtenida, no es igual al mecanizar con la herramienta 1 (Broca helicoidal de punta modificada) y la herramienta 2 (Broca helicoidal con incrustaciones de diamante)

4.2.4 Análisis de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

Prueba de normalidad de datos de rugosidad superficial

Hipótesis:

- H_0 = Hipótesis nula
- H_A = Hipótesis alternativa

H_0 = Los datos de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado tienen distribución normal

H_A = Los datos de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado no tienen distribución normal

Número de muestras: 18

Nivel de significancia: 0,05

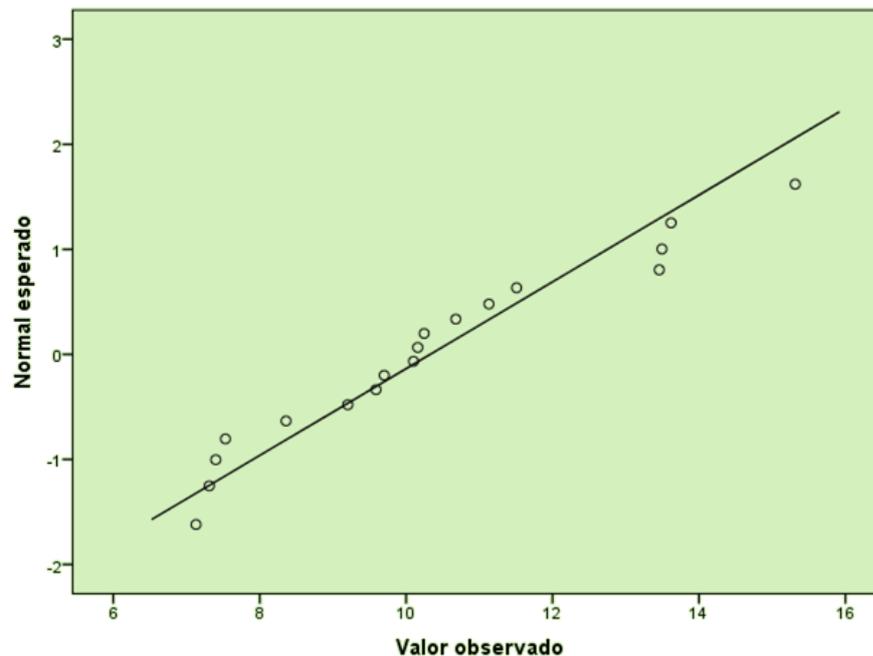


Figura 4- 42. Gráfica de distribución normal de los datos de rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

Fuente. SPSS Statistical Software

Estadístico de prueba

Shapiro Wilk = 0,936

Valor p = 0,251

Decisión: No se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: La prueba de normalidad es mayor a la significancia del 5%, por lo tanto, las muestras de rugosidad superficial tienen distribución normal

Prueba T-student comparación de medias de los datos de rugosidad superficial

Hipótesis:

- H_0 = Hipótesis nula
- H_A = Hipótesis alternativa

H_0 = La rugosidad superficial obtenida, es igual al mecanizar con la herramienta 1 (Broca helicoidal de punta modificada) y la herramienta 2 (Broca helicoidal con incrustaciones de diamante)

H_A = La rugosidad superficial obtenida, no es igual al mecanizar con la herramienta 1 (Broca helicoidal de punta modificada) y la herramienta 2 (Broca helicoidal con incrustaciones de diamante)

Número de muestras: 16

Nivel de significancia: 0,05

Tabla 4- 11. Datos estadísticos la rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

	Herramienta	N	Media	Desviación estándar
Rugosidad Superficial	Broca helicoidal de punta modificada	9	8,80	1,608
	Broca helicoidal con incrustaciones de diamante	9	11,85	2,159

Fuente. Autor

Estadístico de prueba

Estadístico $t = -3,337$

Valor $p = 0,004$

Decisión: No se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: La rugosidad superficial obtenida, no es igual al mecanizar con la herramienta 1 (Broca helicoidal de punta modificada) y la herramienta 2 (Broca helicoidal con incrustaciones de diamante)

4.2.5 Análisis de la delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

Prueba de normalidad de datos de delaminación

Hipótesis:

- H_0 = Hipótesis nula
- H_A = Hipótesis alternativa

H_0 = Los datos de delaminación del proceso de ranurado tienen distribución normal

H_A = Los datos de delaminación del proceso de ranurado no tienen distribución normal

Número de muestras: 18

Nivel de significancia: 0,05

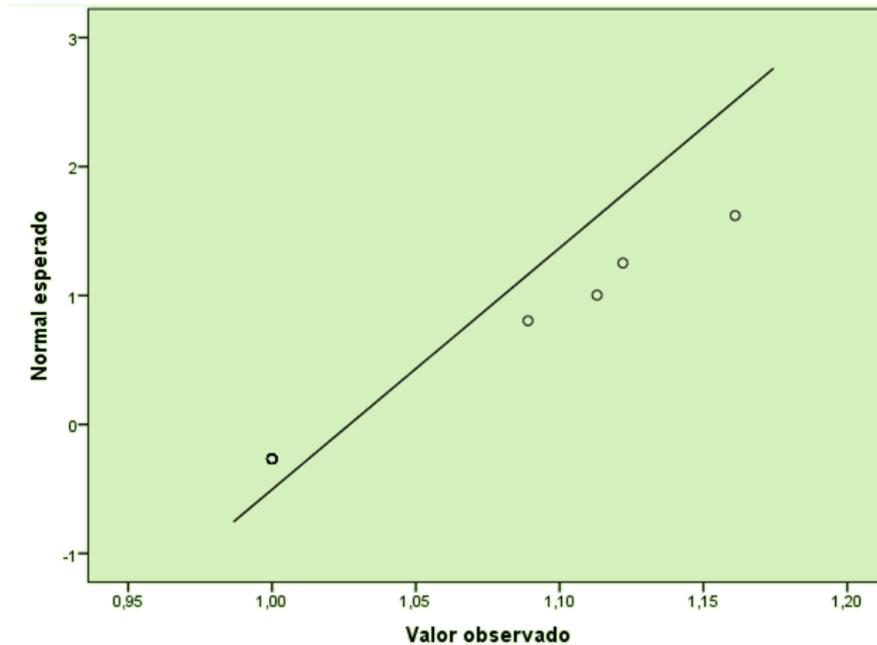


Figura 4- 43. Gráfica de distribución normal de los datos de la delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

Fuente. SPSS Statistical Software

Estadístico de prueba

Shapiro Wilk = 0,563

Valor p = 0,0

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: La prueba de normalidad es menor a la significancia del 5%, por lo tanto, las muestras de delaminación no tienen distribución normal

4.2.6 Análisis de la delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

Prueba de normalidad de datos de delaminación

Hipótesis:

- H_0 = Hipótesis nula
- H_A = Hipótesis alternativa

H_0 = Los datos de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado tienen distribución normal

H_A = Los datos de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de ranurado no tienen distribución normal

Número de muestras: 18

Nivel de significancia: 0,05

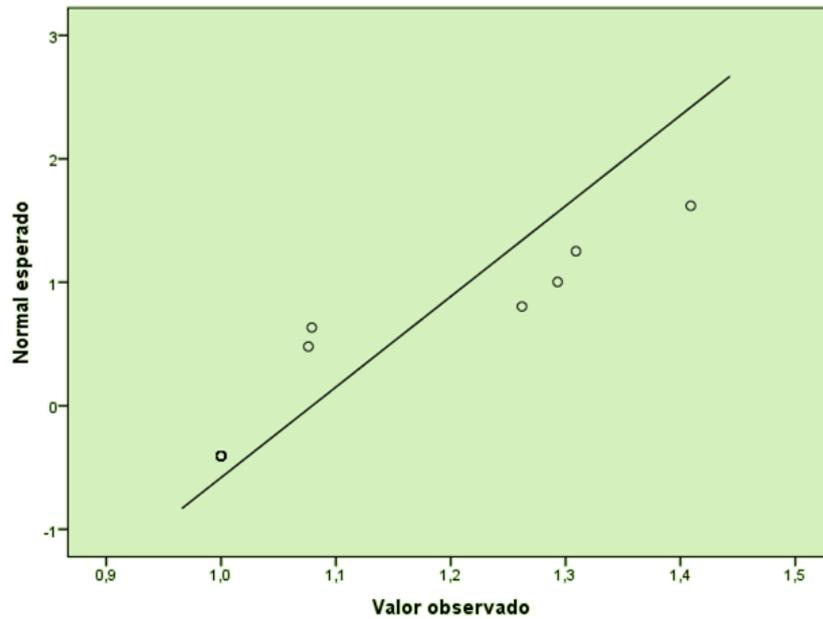


Figura 4- 44. Gráfica de distribución normal de los datos de la delaminación del proceso de ranurado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

Fuente. SPSS Statistical Software

Estadístico de prueba

Shapiro Wilk = 0,640

Valor p = 0,00

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: La prueba de normalidad es menor a la significancia del 5%, por lo tanto las muestras de delaminación no tienen distribución normal

4.2.7 Análisis de la delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

Prueba de normalidad de datos de delaminación

Hipótesis:

- H_0 = Hipótesis nula
- H_A = Hipótesis alternativa

H_0 = Los datos de delaminación del proceso de taladrado tienen distribución normal

H_A = Los datos de delaminación del proceso de taladrado no tienen distribución normal

Número de muestras: 18

Nivel de significancia: 0,05

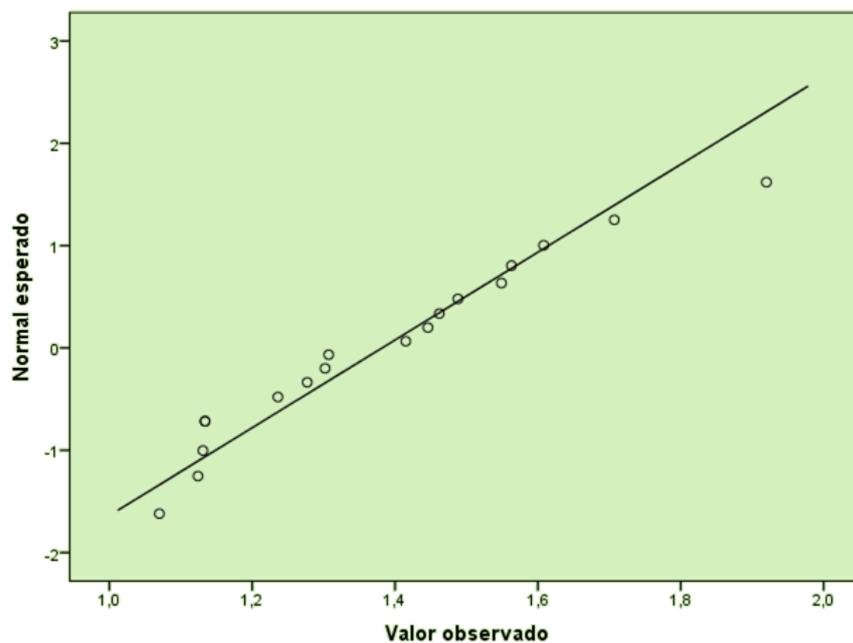


Figura 4- 45. Gráfica de distribución normal de los datos de la delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

Fuente. SPSS Statistical Software

Estadístico de prueba

Shapiro Wilk = 0,944

Valor p = 0,344

Decisión: No se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: La prueba de normalidad es mayor a la significancia del 5%, por lo tanto, las muestras de delaminación tienen distribución normal

Prueba T-student comparación de medias de datos de delaminación

Hipótesis:

- H_0 = Hipótesis nula
- H_A = Hipótesis alternativa

H_0 = La delaminación obtenida, es igual al mecanizar con la herramienta 1 (Broca helicoidal de punta modificada) y la herramienta 2 (Broca helicoidal con incrustaciones de diamante)

H_A = La delaminación obtenida, no es igual al mecanizar con la herramienta 1 (Broca helicoidal de punta modificada) y la herramienta 2 (Broca helicoidal con incrustaciones de diamante)

Número de muestras: 16

Nivel de significancia: 0,05

Tabla 4- 12. Datos estadísticos del factor de delaminación (Fd) del proceso de taladrado del compuesto matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio

	Herramienta	N	Media	Desviación estándar
Factor de delaminación	Broca helicoidal de punta modificada	9	1,374	0,69
	Broca helicoidal con incrustaciones de diamante	9	1,389	0,089

Fuente. Autor

Estadístico de prueba

Estadístico t = -0,132

Valor p= 0,896

Decisión: No se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: La delaminación obtenida, es igual al mecanizar con la herramienta 1 (Broca helicoidal de punta modificada) y la herramienta 2 (Broca helicoidal con incrustaciones de diamante)

4.2.8 Análisis de la delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

Prueba de normalidad de datos de delaminación

Hipótesis:

- H_0 = Hipótesis nula
- H_A = Hipótesis alternativa

H_0 = Los datos de delaminación del proceso de taladrado tienen distribución normal

H_A = Los datos de la rugosidad superficial (Ra) del proceso de taladrado no tienen distribución normal

Número de muestras: 18

Nivel de significancia: 0,05

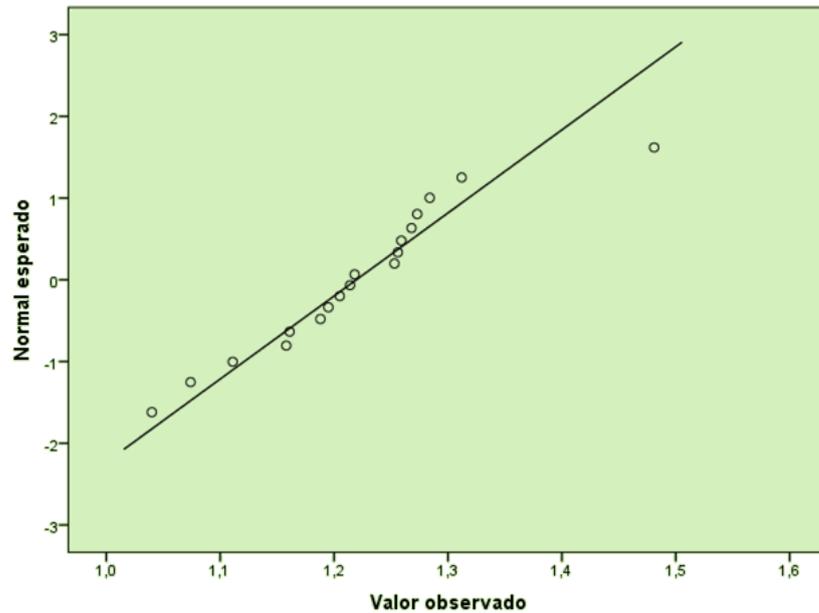


Figura 4- 46. Gráfica de distribución normal de los datos de la delaminación del proceso de taladrado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

Fuente. SPSS Statistical Software

Estadístico de prueba

Shapiro Wilk = 0,941

Valor p = 0,296

Decisión: No se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: La prueba de normalidad es mayor a la significancia del 5%, por lo tanto, las muestras de delaminación tienen distribución normal

Prueba T-student comparación de medias de los datos de delaminación

Hipótesis:

- H_0 = Hipótesis nula
- H_A = Hipótesis alternativa

H_0 = La delaminación obtenida, es igual al mecanizar con la herramienta 1 (Broca helicoidal de punta modificada) y la herramienta 2 (Broca helicoidal con incrustaciones de diamante)

H_A = La delaminación obtenida, no es igual al mecanizar con la herramienta 1 (Broca helicoidal de punta modificada) y la herramienta 2 (Broca helicoidal con incrustaciones de diamante)

Tabla 4- 13. Datos estadísticos del factor de delaminación (Fd) del proceso de taladrado del compuesto matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

	Herramienta	N	Media	Desviación estándar
Rugosidad Superficial	Broca helicoidal de punta modificada	9	1,221	0,079
	Broca helicoidal con incrustaciones de diamante	9	1,217	0,119

Fuente. Autor

Número de muestras: 16

Nivel de significancia: 0,05

Estadístico de prueba

Estadístico t = 0,079

Valor p= 0,938

Decisión: No se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: La delaminación obtenida, es igual al mecanizar con la herramienta 1 (Broca helicoidal de punta modificada) y la herramienta 2 (Broca helicoidal con incrustaciones de diamante)

4.3 Verificación de hipótesis

Se ha realizado el proceso de ranurado y taladrado en dos materiales compuestos: matriz de poliéster reforzada con fibra de vidrio y matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio, mediante el diseño experimental DOE se han combinado los parámetros de corte como son: velocidad de corte y velocidad de avance, dichas combinaciones se evidencian en la tabla 3-2 y tabla 3-3 respectivamente.

La variación de estos parámetros ha influido en la rugosidad superficial (R_a) y la delaminación definida por un factor de delaminación (Fd), como se muestra en los

apartados 4.1.8 y 4.1.9 en las fichas de recolección de datos, se han obtenidos valores de rugosidad superficial diferentes por cada combinación, por otro lado los valores de delaminación no varían significativamente, esto se debe a que no se utilizó un instrumento de medida de precisión lo cual da lugar a errores de medición.

Por lo tanto, se han obtenido valores de rugosidad superficial mínimos que cumplen con el rango de acabos superficiales para procesos de mecanizado, según la norma ISO1302 de calidad superficial, así también se han obtenido valores de delaminación aceptables, con lo cual se ha podido seleccionar la mejor herramienta y los parámetros de corte óptimos para ranurar y taladrar los materiales compuestos de este estudio, estos se detallan en el apartado 4.4.11.

CAPÍTULO V

5.1 Conclusiones

- Las probetas de cada material compuesto para las pruebas de mecanizado (ranurado y taladrado), se realizaron bajo las mismas fracciones volumétrica 70% matriz y 30% de refuerzo, fabricadas por estratificación manual.
- En el proceso de ranurado de acuerdo al diseño factorial, con una velocidad de corte de 48 m/min y un avance de 0,15 mm/rev se obtuvo una rugosidad superficial de 0,78 μm como se muestra en la tabla 4-8, este mecanizado se realizó con la fresa de dentado cruzado, siendo estos los parámetros más óptimos para ranurar el material compuesto de matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio.
- En el proceso de ranurado de acuerdo al diseño factorial, con una velocidad de corte de 48 m/min y un avance de 0,15 mm/rev se obtuvo una rugosidad superficial de 1,47 μm como se muestra en la tabla 4-8, este mecanizado se realizó con la fresa de dentado cruzado, siendo estos los parámetros más óptimos para ranurar el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio.
- En el proceso de ranurado se utilizaron herramientas de fresado exclusivas para trabajar con materiales compuestos, se utilizaron una fresa de dentado cruzado y una fresa cilíndrica con incrustaciones de diamante (Tabla 4-3), siendo la mejor herramienta la fresa de dentado cruzado de acuerdo a la rugosidad superficial obtenida en las ranuras realizadas en ambos materiales compuestos.
- En el proceso de taladrado de acuerdo al diseño factorial, con una velocidad de corte de 75m/min se obtuvo la mejor calidad superficial en los dos materiales mecanizados, sin embargo el avance varió, siendo 0,50 mm/rev para taladrar el material compuesto de matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio, y un avance de 0,80 mm/rev para taladrar el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio, con estos parámetros de corte se obtuvo

una rugosidad superficial de 5,62 μm y 7,13 μm respectivamente para cada material como se especifica en la tabla 4-9.

- En el proceso de taladrado se utilizaron herramientas dos brocas de uso exclusivo para materiales compuestos, estas fueron una broca helicoidal de punta modificada y una helicoidal con incrustaciones de diamante en la punta (Tabla 4-4), siendo la mejor herramienta la broca helicoidal de punta modificada de acuerdo a la rugosidad superficial obtenida en las muestras de taladrado realizadas en ambos materiales compuestos.
- De acuerdo a los datos de rugosidad del proceso de ranurado y taladrado de ambos materiales, se obtuvo una mejor calidad superficial en el material compuesto de matriz de poliéster reforzado con fibra de vidrio.
- Se ha determinado que el factor de delaminación no varía significativamente si cambiamos los parámetros de mecanizado, tanto en el proceso de ranurado como en el proceso de taladrado.

5.2 Recomendaciones

- Antes de seleccionar un diseño factorial es importante determinar los niveles de cada factor de estudio, lo cual garantice la obtención de resultados correctos en el estudio.
- Utilizar una plancha de triplex bajo las probetas a mecanizar para evitar algún daño en la mesa de máquina CNC.
- No limpiar con aire presurizado el polvo resultante de los procesos de mecanizado, debido a que este polvo de las fibras de vidrio puede dañar los componentes internos de la máquina CNC.
- Sujetar de manera correcta las probetas a la mesa de la máquina CNC, lo cual disminuya las vibraciones de las mismas, además de disminuir la flexión producida en las probetas principalmente en el proceso de taladrado.
- En la preparación de las probetas para las mediciones de rugosidad y delaminación cortar las muestras con un disco de corte para cerámico, el cual evita que se afecte térmicamente al material compuesto.
- Para la medición de rugosidad superficial es necesario utilizar una sujeción porta probetas, lo cual elimine el movimiento y vibraciones de las mismas durante el recorrido del palpador del rugosímetro.
- Para la obtención del factor de delaminación utilizar imágenes con una resolución adecuada, la cual permita identificar la zona de delaminación de las muestras y por ende permita determinar un factor de delaminación correcto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. F. C. Chico, «Análisis del material compuesto de fibra de vidrio con matriz polimérica utilizado en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas para determinar sus propiedades mecánicas,» Ambato, Ecuador, 2017.
- [2] M. Velaga, R. Cadambi, « Drilling of GFRP Composites for Minimising Delamination Effect,» ScienceDirect, pp. 1-8, 2016.
- [3] V. G. Vinod Kumar Vankanti, «Optimization of process parameters in drilling of GFRP,» ScienceDirect, pp. 35-41, 2013.
- [4] M. Jenarathanan, R. Jeyapaul, «Optimisation of machining parameters on milling of GFRP composites,» International Journal of Engineering, Science and Technology, vol. 5, nº 4, pp. 23-36, 2013.
- [5] L. M. García, «Estudio del mecanizado de materiales compuestos,» Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2010.
- [6] J. G. Paredes, «Estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en Guardachoques para Buses,» Ambato, Ecuador, 2012
- [7] Á. Rodríguez, M. Sanabio y J. L. Valín, «Fabricación de compuesto de matriz epoxi reforzado con fibras largas de henequén orientadas aleatoriamente,» Universidad Federal de Rio de Janeiro. Facultad de Ingeniería Mecánica, Sao Paulo, Brazil, 2015.
- [8] T. Chen, D. Wang y F. G. X. Liu, «Experimental study on milling CFRP with staggered PCD cutter,» Universidad de Ciencia y Tecnología, Harbin, China, 2017.
- [9] B. Babu, S. Babu y U. Mancheswar Gowd, «Effect of machining parameters on milled natural fiber- reinforced plastic composites,» Universidad de Columbia, New York, 2012.
- [10] J. William D. Callister, Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales, Mèxico: Revertè S.A, 2013.
- [11] W. F. Smith, Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales, Mèxico: McGraw-Hill, 2006.

- [12] R. T. Ramos, «Materiales compuestos de matrìz polimèrica reforzada con fibra de vidrio,» Cimbra, pp. 42-52, 2010.
- [13] J. A. Schey, Procesos de manufactura, Mèxico: McGraw-Hill, 2002.
- [14] H. Bawa, Procesos de manufactura, Mèxico: McGraw-Hill, 2007.
- [15] «Sandvik Coromant,» 03 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/pages/default.aspx>. [Último acceso: 10 Mayo 2018].
- [16] M. P. Groover, Fundamentacion de manufactura moderna, Mèxico: McGraw-Hill, 2007.
- [17] S. S. Serope Kalpakjian, Manufactura ingenierìa y tecnologìa, Mèxico: Pearson Educación, 2002.
- [18] J. R. Montes, Procesos industriales para materiales metàlicos, España: Visiòn Net, 2006.
- [19] J. F. R. Esteban José Domínguez Soriano, Mecanizado Básico, México: Editex, 2017.
- [20] T. Chen, D. Wang y F. G. X. Liu, «Experimental study on milling CFRP with staggered PCD cutter,» Universidad de Ciencia y Tecnología, Harbin, China, 2017.
- [21] P. U. Josè María García Castro, Mecanizado Básico, España: Paraninfo S.A, 2009.
- [22] H. Navid, M. Zarif, H. Karimi, «Experimental analysis of GFRP laminates subjected to compression after,» ScienceDirect, pp. 144-152, 2017.
- [23] J. Pastor, Análisis del taladrado de fibra de carbono: Fuerzas de corte y delaminación, Valladolid: Universidad de Valladolid, 2006.
- [24] B. Babu, S. Babu y U. Mancheswar Gowd, «Effect of machining parameters on milled natural fiber- reinforced plastic composites,» Universidad de Columbia, New York, 2012.
- [25] M. R. Moisés Hinojosa Rivera, «La rugosidad de las superficies: Topometría,» Ingenierías, vol. 6, nº 11, pp. 1-7, 2001.

[26] INEN, Código de dibujo técnico mecánico, Quito-Ecuador, 2008.

[27] J. R. Montes, Procesos industriales para materiales metálicos, España: Visión Net, 2006.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica Fibra de Vidrio

粉剂毡 39

Lloyd's Register

CERTIFICATE OF APPROVAL OF A FIBRE REINFORCEMENT

Certificate No. MATS/2892/2

This certificate is issued to the company named below. The fibre reinforcement described has been examined in accordance with the requirements of Lloyd's Register and is approved for use in constructions built under Lloyd's Register's survey. This approval is subject to Lloyd's Register being informed of any changes in or modifications to the reinforcement and the product being used in accordance with the manufacturer's instructions and with the relevant requirements of Lloyd's Register's Rules and Regulations.

Company	TAISHAN FIBERGLASS INC TAIAN CHINA, PEOPLE'S REPUBLIC OF
Trade name	EMC 450
Type	Chopped strand mat
Mass	450g/m ²
Finish	Silane
Characteristics	Powder Bound
Applicable LR Rules	Rules and Regulations for Classification of Special Service Craft
Approved Variants	EMC 300 EMC 400 EMC 600 EMC 900

300 g/m²
400 g/m²
600 g/m²
900 g/m²

ENDORSEMENT
The approvals of mat weights of 900 g/m² and above are subject to the moulders demonstrating to the satisfaction of the surveyor their ability to produce hand laid laminates with these mats.

MASTER FIBRA
Sociedad por Acciones de Responsabilidad Limitada
C/ San Juan de los Rios, 10
48940 Leizor (Bizkaia) - Spain
Tfno: +34 94 460 00 00
Fax: +34 94 460 00 01
www.masterfibra.com

J. Vasconez
GERENTE

Anexo 2. Ficha técnica Resina Poliéster

REICHOLD	BOLETÍN TÉCNICO
Septiembre, 2016	
Serie PolyLite® 33200 Resina Poliéster Química especial	
DESCRIPCION	
PolyLite® 33200 comprende una serie de resinas resina poliéster no saturadas, modificadas con un sistema polimérico especial. Estas resinas son rígidas, tixotrópicas, de reactividad y viscosidad medias y están preaceleradas, para gelado y curado a temperatura ambiente con la adición de Peróxido de Metil Etil Cetona al 50%. PolyLite 33200-25 es recomendada para trabajar en lugares de altas temperaturas ambientales.	
APLICACIONES SUGERIDAS	
<ul style="list-style-type: none">• Fabricación de partes automotrices de plástico reforzado con fibra de vidrio.• Fabricación de embarcaciones marinas.• Aplicación con pistola de aspersión, o por moldeo manual (picado).• En general, fabricación de partes reforzadas con fibra de vidrio.	
CARACTERISTICAS PRINCIPALES	
<ul style="list-style-type: none">• Excelente humectación de la fibra• Excelente resistencia hidrolítica• Muy buena aceptación de cargas minerales.• Exotermia moderada• Sin pegajosidad (tack) residual, con muy buena adherencia entre laminados• Resistencia superior en temperaturas moderadamente altas comparada contra resinas convencionales de usos generales• Se obtienen laminados con muy buen acabado superficial, minimizando el fotografiado de la fibra de vidrio sobre el gel coat.• Rápidos ciclos de curado.• Cumple la norma FMVSS 302 de inflamabilidad para vehículos y autobuses de pasajeros.	
Nota: Esta resina es tixotrópica por lo que se recomienda su agitación antes de usarla.	
<small>La información contenida en el presente, es para ayudar a nuestros clientes a determinar si nuestros productos son apropiados para sus aplicaciones. Nuestros productos están diseñados para su venta a clientes industriales y comerciales. Antes de descargar o utilizar nuestros productos, le solicitamos realice los análisis que considere pertinentes para determinar la conveniencia del producto para su aplicación específica. Garantizamos que nuestros productos cumplen con nuestras especificaciones indicadas en el Certificado de Análisis, y que además son evaluados bajo los métodos de prueba de Reichhold, los pruebas se realizan durante el TIEMPO DE CONSUMO PREFERENTE (término definido más adelante), por lo que REICHOLD no se hace responsable de reclamaciones realizadas fuera de dicho tiempo. En caso de requerir información adicional sobre lo aquí estipulado, acérquese a su agente de ventas. Nada de lo que se encuentra aquí expresado, constituye una garantía expresa o implícita, incluyendo cualquier garantía comercial o convenida. Todos los derechos de patente están registrados. La reparación de las posibles reclamaciones aceptadas, será la únicamente reposición de nuestros productos y en ningún momento será motivo de aceptación de daños especiales, incidentales o consecuentes.</small>	
<small>Reichhold México - Boulevard Arturo Montiel Rojas no. 10006 Parque Industrial Atlacomulco, CP 50456 Atlacomulco Estado de México</small>	

PROPIEDADES

PROPIEDADES TÍPICAS DE RESINA LIQUIDA @ 25°C

Propiedades	Unidades	Especificaciones	Métodos de Análisis
No volátiles	%	58 - 63	RQMPEA 0041
Número ácido en solución (máximo)	mg KOH / g muestra	25	RQMPEA 0026
Viscosidad Brookfield, LVF, 3/60	cPs	300 - 400	RQMPEA 0002
Índice de tixotropía (3/6) / (3/60) (mínimo)	s/u	2.7	RQMPEA 0006
Estabilidad @ 105°C	Horas	4	RQMPEA 0118

Propiedades	Unidades	Especificaciones			Métodos de Análisis
		Polylite 33200-01	Polylite 33200-12	Polylite 33200-25	
Color resina líquida	s/u	N.A.	N.A.	Gris-azul oscuro	RQMPEA 0019
Tiempo de gel *	minutos	15 - 18	9 - 12	20 - 30	RQMPEA 0066
Temperatura de exotermia	°C	140 - 170	140 - 170	Registro	RQMPEA 0066
Tiempo de curado	minutos	21 - 35	Registro	Registro	RQMPEA 0066

* 100 g de resina + 1.0 g de MEKP (Butanox M-50) @ 25°C

PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS

Vaciado sin carga ni refuerzo (clear casting) ¹⁾

Propiedades	Unidades	Valor Típico	Métodos
Dureza Barcol	s/u	36 - 40	ASTM D-2583-07
HDT	°C	74.0	ASTM D-648-07
Absorción de agua 2hrs @ 212°F (100°C) 24hrs @ 73°F (23°C)	%	0.77 0.16	ASTM D-570-10
Resistencia a la flexión	Psi	13245	ASTM D-790-10
Módulo de flexión	Psi x 10 ³	575	ASTM D-790-10
Resistencia a la tensión	Psi	6091	ASTM D-638-10
Módulo de tensión	Psi x 10 ³	507	ASTM D-638-10
Elongación hasta ruptura	%	1.3	ASTM D-638-10

¹⁾ Pruebas realizada a una placa de 4 mm de espesor

Laminado reforzado con fibra de vidrio ²⁾

Propiedades	Unidades	Valor típico	Métodos
Dureza Barcol	s/u	50 - 55	ASTM D-2583-07
Absorción de agua 2hrs @ 212°F (100°C) 24hrs @ 73°F (23°C)	%	0.52 0.13	ASTM D-570-10
Contenido de: Resina / Fibra de vidrio	%	68.0 / 32.0	ASTM D 2584-08
Resistencia a la flexión	Psi	27337	ASTM D-790-10
Módulo de flexión	Psi x 10 ³	1248	ASTM D-790-10
Resistencia a la tensión	Psi	13426	ASTM D-638-10
Módulo de tensión	Psi x 10 ³	1242	ASTM D-638-10
Elongación hasta ruptura	%	1.57	ASTM D-638-10
Resistencia a la compresión (Carga Maxima)	Psi	24798	ASTM D-695-10
Resistencia al impacto (Izod)	Ft-lb/in	10.4	
Tipo "A", Tipo de falla:		100% parcial	ASTM D-256-10

²⁾ Construcción del laminado: 3 capas de Colchoneta 450 g/m²

CONDICIONES DE CURADO

Adicionar 1 ml de Peróxido de Metil Etil Cetona al 50% por cada 100 g de resina. Se puede curar a temperatura ambiente durante la noche o aplicar un postcurado de 2 - 4 horas a 60°C. Niveles de peróxido abajo de 0.8% resultan en largo gelado y curado, por lo que no se recomiendan.

ALMACENAMIENTO

Para asegurar la máxima estabilidad y mantener las propiedades óptimas de la resina, ésta debe ser almacenada en el envase original cerrado a temperatura por debajo de 25°C (77°F) y lejos de fuentes de ignición, calor y de la luz solar. La resina debe estar al menos a 18°C (65°F) antes de usarse con el fin de asegurar el curado y manejo adecuado. Después de un almacenamiento prolongado, se recomienda una agitación moderada sobre todo en el caso de resinas tixotrópicas. Evitar la contaminación del producto con agua. Evitar el almacenar a la intemperie. Mantenga los recipientes cerrados para evitar la absorción de humedad y la pérdida de monómeros. Los niveles de inventario deberán guardar un mínimo razonable, con una política de inventarios de primeras entradas - primeras salidas. Todas las zonas de almacenamiento y los tanques contenedores deberán cumplir con los códigos de incendio y de construcción locales. Se debe evitar usar tanques contenedores hechos a base de cobre o de sus aleaciones. Almacenar la resina separada de materiales oxidantes, peróxidos y sales metálicas. Mantener los recipientes cerrados cuando no estén en uso.

TIEMPO DE CONSUMO PREFERENTE

Bajo condiciones recomendadas de almacenamiento, el tiempo de consumo preferente de esta resina es de 3 meses a partir de la fecha de fabricación.

PRESENTACION

Tambor metálico no retornable de 230 Kg de peso neto y a granel en carro tanque.

SEGURIDAD**LEA Y ENTIENDA LA HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL MATERIAL ANTES DE USAR ESTE PRODUCTO**

Obtenga una copia de la Hoja de Datos de Seguridad del Material (HDS) antes de usarlo. Las HDS están disponibles con su representante de ventas en Reichhold. Toda información debe ser solicitada a todos sus proveedores de materiales y entendida antes de usarlos.

ADVERTENCIA: se debe tener precaución para evitar el mezclado directo de cualquier peróxido orgánico con jabones metálicos, aminos o cualquier otro tipo de acelerador o promotor, ya que puede ocurrir una descomposición violenta y explosiva.

INFORMACION GENERAL

Para información especial sobre esta resina le recomendamos ponerse en contacto con nuestros representantes de ventas o llamar a nuestro departamento de Soporte Técnico al teléfono (01) 712 122 95 22 en Atlacomulco, Edo. de México.

Anexo 3. Ficha técnica Resina Epòxica



SISTEMA EPOXICO

RESINA COLREPOX 6090 ENDURECEDOR COLREPOX 1956

QCEPOXI

GENERALIDADES

Es un sistema epòxico formulado de baja densidad, alta resistencia mecànica, excelente compatibilidad con fibra de vidrio, fibra de carbono, kevlar y otros tipos de cargas, baja contracci3n y alta estabilidad dimensional.

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA INICIAL

Tiempo de uso para 500 gr de mezcla a 25°C (minutos)	40-60 sin carga. 80 - 100 con carga
Proporci3n de la mezcla	100/ 20 (resina /endurecedor)
Tiempo de desmolde	24 Horas
Resistencia a la compresi3n sin carga	8.740 Psi

CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES

	Resina 6090 A	Endurecedor 1956 B
Apariencia	Color blanco pastel	Transparente
Viscosidad a 25°C	1250-1260 mPas	200-500 mPas
Densidad a 20°C	1.1 g/cm3	0,94 g/cm3

M3vil: 318 795 60 98
MSN: quadcarbon@compuestos.com

PROPIEDADES

Por su viscosidad es fácil de aplicar con brocha, espátula o rodillo. Cubre muy bien los bordes agudos.

Ofrece excelentes propiedades mecánicas como resistencia a la abrasión, dureza con la ventaja de un pot life de amplio rango.

PROCESO DE MEZCLA

Al aplicar varias capas se debe esperar que cada una este al tacto para aplicar la siguiente.

Con el método tradicional de curado a temperatura ambiente debe esperarse un mínimo de 24 horas para desmoldar la pieza. De lo contrario se puede incurrir en modificaciones dimensionales de la pieza.

INDICACIONES GENERALES

ALMACENAMIENTO.

Tanto la resina como el endurecedor deben ser almacenado en lugares secos a temperatura entre 18 y 25 grados centígrados (°C) en sus envases originales bien sellados.

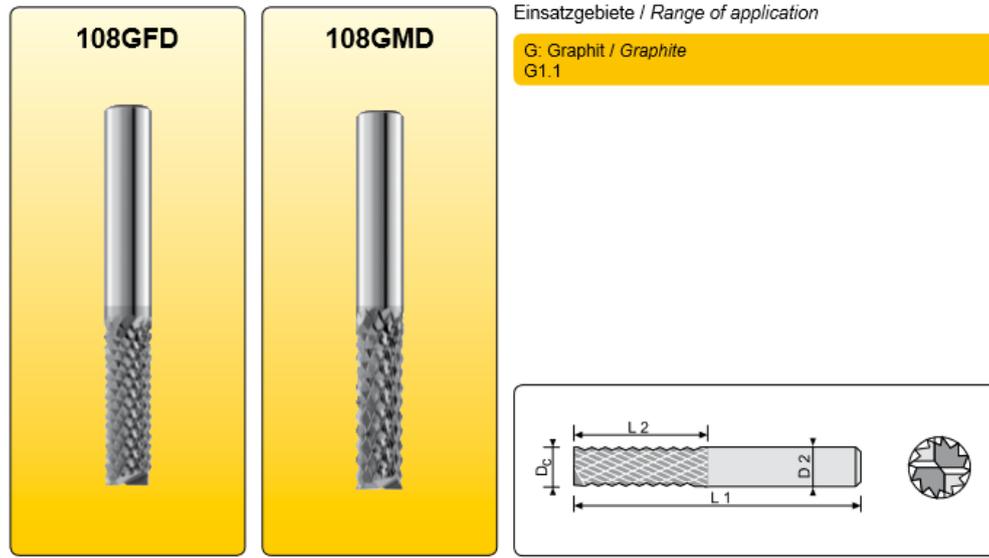
Es recomendable usar los envases parcialmente llenos lo antes posible, ya que cualquier grado de humedad puede afectar la composición y características de los componentes.

La vida de almacenamiento en sus envases originales es de un año.

PRECAUCIONES DE MANEJO.

Las resinas como los endurecedores son agentes químicos por tanto es recomendable seguir las instrucciones de manejo indicadas por el fabricante.

Anexo 4. Fresa CERIN 108 GFD utilizada en el proceso de ranurado



D _c h10	L2	L1	D2 h6	108GFD	108GMD
				Beschichtet / Coated	Beschichtet / Coated
2	7	40	2	108GF.020020740D	108GM.020020740D
2	7	50	6	108GF.020060750D	108GM.020060750D
3	10	40	3	108GF.030031040D	108GM.030031040D
3	12	50	6	108GF.030061250D	108GM.030061250D
4	15	40	4	108GF.040041540D	108GM.040041540D
4	20	50	6	108GF.040062050D	108GM.040062050D
5	16	50	5	108GF.050051650D	108GM.050051650D
5	25	75	6	108GF.050062575D	108GM.050062575D
6	18	50	6	108GF.060061850D	108GM.060061850D
6	35	75	6	108GF.060063575D	108GM.060063575D
8	25	63	8	108GF.080082563D	108GM.080082563D
8	40	100	8	108GF.0800840100D	108GM.0800840100D

V _c (m/min)	D _c (mm)									
	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00
Δ Drehzahl n (min ⁻¹) / Revolution n (min ⁻¹)										
150	23885	15924	11943	9554	7962	5971	4777	3981	3412	2986
200	31847	21231	15924	12739	10616	7962	6369	5308	4550	3981
250	39809	26539	19904	15924	13270	9952	7962	6635	5687	4976
300	47771	31847	23885	19108	15924	11943	9554	7962	6824	5971
350	55732	37155	27866	22293	18577	13933	11146	9289	7962	6967
400	63694	42463	31847	25478	21231	15924	12739	10616	9099	7962
450	71656	47771	35828	28662	23885	17914	14331	11943	10237	8957
500	79618	53079	39809	31847	26539	19904	15924	13270	11374	9952
550	87580	58386	43790	35032	29193	21895	17516	14597	12511	10947
600	95541	63694	47771	38217	31847	23885	19108	15924	13649	11943
650	103503	69002	51752	41401	34501	25876	20701	17251	14786	12938
700	111465	74310	55732	44586	37155	27866	22293	18577	15924	13933
750	119427	79618	59713	47771	39809	29857	23885	19904	17061	14928
800	127389	84926	63694	50955	42463	31847	25478	21231	18198	15924
900	143312	95541	71656	57325	47771	35828	28662	23885	20473	17914
1000	159236	106157	79618	63694	53079	39809	31847	26539	22748	19904

Anexo 5. Fresa cilíndrica de diamante



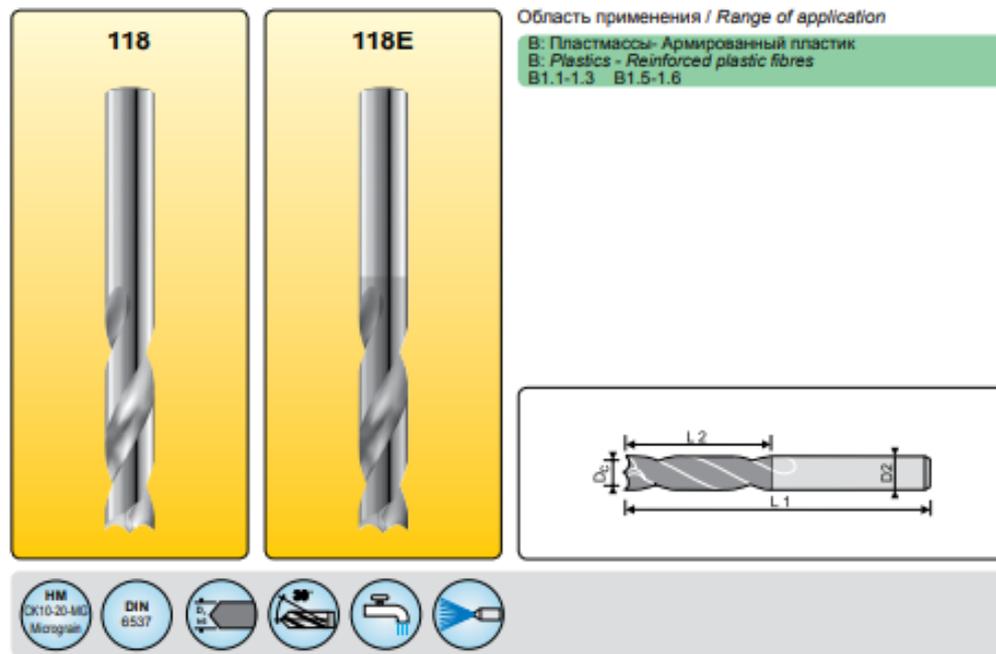
Los taladros rotativos o dremel son una herramienta que brinda una amplia serie de posibilidades en lo que a trabajos manuales y soluciones para el hogar se refiere. Este juego de fresas diamantadas construidas en acero con electrochapado de diamante, fuerte y de alta calidad, son ideales para tallar, grabar, pulir biselar, perforar, modelar, alisar, nivelar o perforar de manera precisa, a una velocidad máxima de 30.000 RPM.

Pueden utilizarse en metales y no metales como: granito, mármol, piedras preciosas, cerámica, vidrio, porcelanato, aluminio, cobre, latón, acero inoxidable, al carbono, maderas blandas, fibra de vidrio, plástico, entre otros.

Son usadas principalmente para pulir vidrio, piedras preciosas, metales ligeros, otros. Reparación de objetos abrasivos y otros duros. Rectificado y modelado. Procesar variedad de molduras y cavidades. Tallado manual o con CNC. Aplicación en la manicura, pedicura y podología.

Es un accesorio para la modificación y corrección que no solo es utilizado con herramientas de velocidad como el Mototool y el Dremel, si no también para otras eléctricas que acepten vástagos de 1/8" como taladros, amoladoras.

Анексо 6. Broca Cerin 118 utilizada en el proceso de taladrado



D _c h6	L2	L1	D2 h6	118	118E
					С покрытием/ Coated
2,38	12	40	2,38	118.0238	118.0238E
3	12	40	3	118.030	118.030E
3,17	12	40	3,17	118.0317	118.0317E
4	18	55	4	118.040	118.040E
4,76	24	58	4,76	118.0476	118.0476E
5	26	62	5	118.050	118.050E
5,55	28	66	5,55	118.0555	118.0555E
6	28	66	6	118.060	118.060E
6,35	31	70	6,35	118.0635	118.0635E
6,5	31	70	6,5	118.065	118.065E
7	34	74	7	118.070	118.070E
7,93	37	79	7,93	118.0793	118.0793E
8	37	79	8	118.080	118.080E
8,5	37	79	8,5	118.085	118.085E
9	40	84	9	118.090	118.090E
9,52	40	84	9,52	118.0952	118.0952E
10	48	89	10	118.100	118.100E
12	50	102	12	118.120	118.120E

D _c mm	V _c m/mm														
	12	16	20	25	30	40	50	60	80	100	120	160	180	200	250
	Число оборотов в минуту n (об/мин) / Revolution speed n (Rev./min.)														
1,00	3822	5096	6369	7962	9554	12739	15924	19108	25478	31847	38217	50955	57325	63694	79618
1,50	2548	3397	4246	5308	6369	8493	10616	12739	16985	21231	25478	33970	38217	42463	53079
2,00	1911	2548	3185	3981	4777	6369	7962	9554	12739	15924	19108	25478	28662	31847	39809
2,50	1529	2038	2548	3185	3822	5096	6369	7643	10191	12739	15287	20382	22930	25478	31847
3,00	1274	1699	2123	2654	3185	4246	5308	6369	8493	10616	12739	16985	19108	21231	26539
4,00	955	1274	1592	1990	2389	3185	3981	4777	6369	7962	9554	12739	14331	15924	19904
5,00	764	1019	1274	1592	1911	2548	3185	3822	5096	6369	7643	10191	11465	12739	15924
6,00	637	849	1062	1327	1592	2123	2654	3185	4246	5308	6369	8493	9554	10616	13270
7,00	546	728	910	1137	1365	1820	2275	2730	3640	4550	5460	7279	8189	9099	11374
8,00	478	637	796	995	1194	1592	1990	2389	3185	3981	4777	6369	7166	7962	9952
9,00	425	566	708	885	1062	1415	1769	2123	2831	3539	4246	5662	6369	7077	8846
10,00	382	510	637	796	955	1274	1592	1911	2548	3185	3822	5096	5732	6369	7962
11,00	347	463	579	724	869	1158	1448	1737	2316	2895	3474	4632	5211	5790	7238
12,00	318	425	531	663	796	1062	1327	1592	2123	2654	3185	4246	4777	5308	6635

Anexo 7. Broca helicoidal con incrustaciones de diamante



Brocas helicoidales recubiertas con diamante galvanizado

Ideal para perforar GRP, fibra de carbono y otros materiales compuestos que logran un buen acabado limpio. Si bien los tamaños más populares están en existencia, el taladro retorcido DK se puede fabricar en otros grados y tamaños de diamante según los requisitos del cliente.

OPCIONES:

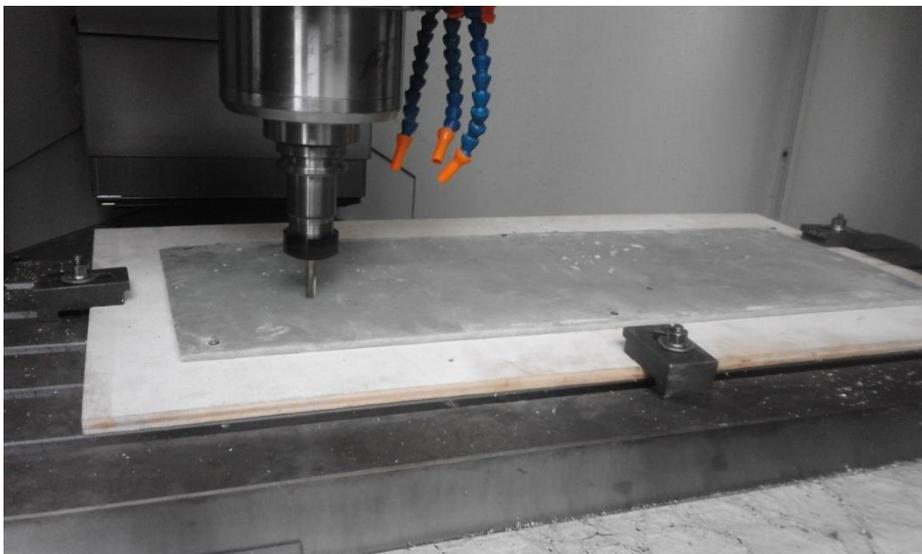
Diámetros - 4 -

Grados de 9.5 mm - 36/44, 44/60

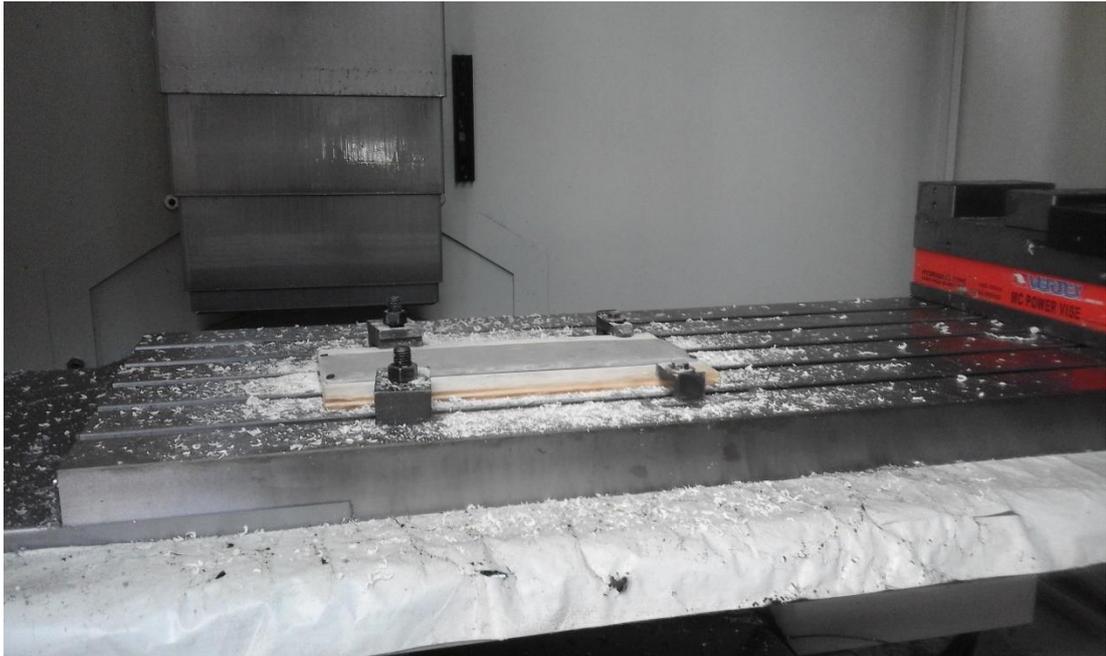
Brocas de diamante recubiertas		
DIÁMETRO (mm)	CÓDIGO 36/44	CÓDIGO 44/60
4.0	EMP225	EMP230
4.5	EMP235	EMP240
5.0	EMP245	EMP250
5.5	EMP255	EMP260
6.0	EMP265	* EMP270
6.5	EMP275	* EMP280
7.0	EMP285	* EMP290
7.5	EMP295	EMP300
8.0	EMP305	* EMP310
8.5	EMP315	EMP320
9.5	EMP325	EMP330



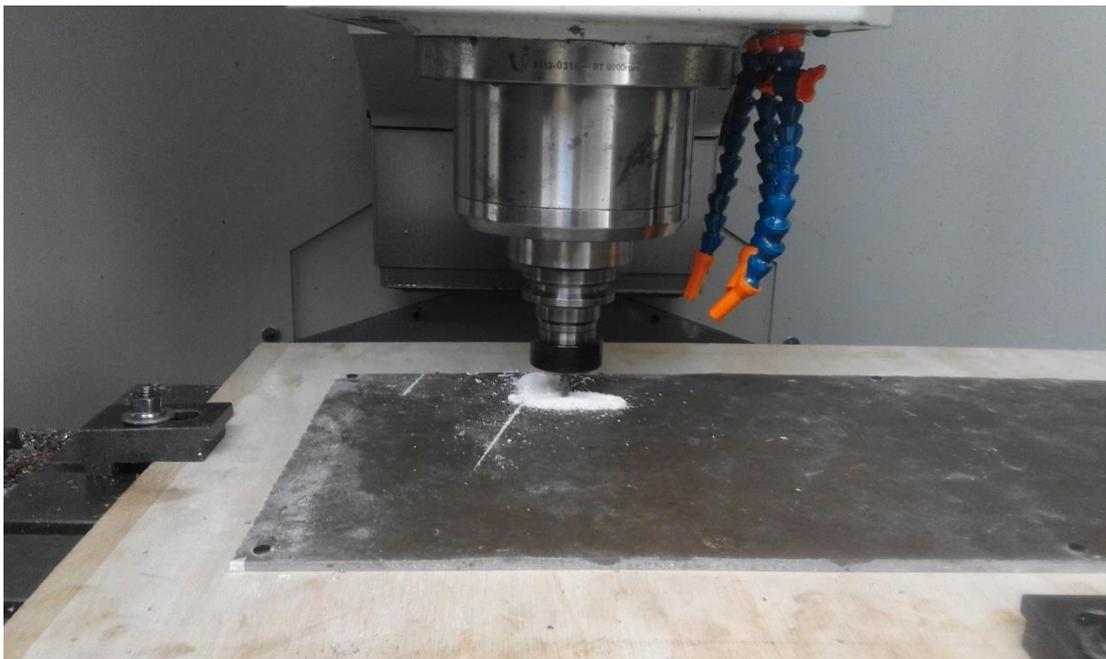
Anexo 8. Sujeción de las probetas de ranurado



Anexo 9. Sujeción de las probetas de taladrado



Anexo 10. Ranurado del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio





Anexo 11. Ranurado del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio

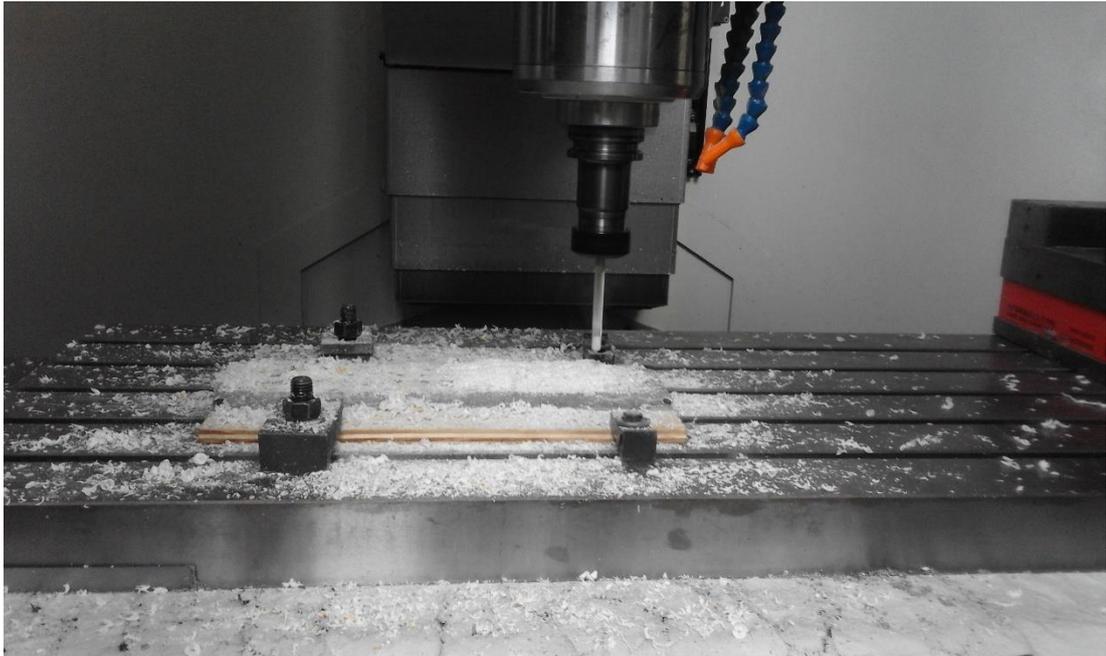




Anexo 12. Taladrado del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio



Anexo 13. Taladrado del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio



Anexo 14. Probetas de ranurado y taladrado codificadas



Anexo 15. Herramientas de fresado, después del mecanizado



Anexo 16. Herramientas de taladrado, después del mecanizado



Anexo 17. Informe de las pruebas de rugosidad superficial (Ra)

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
LABINTECDIMP



Quito, 06 de agosto de 2018

INFORME DE MEDICION DE RUGOSIDAD

1. EQUIPO UTILIZADO

Para la medición de la rugosidad se utiliza el siguiente equipo:

MARCA: Mitutoyo

MODELO: Surfrest S1 210

RUGOSIDAD MEDIDA: Ra

UNIDADES: μm



Foto 1. Equipo utilizado

2. VERIFICACION DE EQUIPO CON PATRON DE RUGOSIDAD

Previamente a la realización de las mediciones, se procedió a verificar la precisión del rugosímetro, utilizando para ello el patrón de medición de $2.97 \mu\text{m}$ y realizando el ajuste de su valor nominal, así como registrando el valor de la medición sobre el patrón, para guardar dichos valores en el equipo y garantizar la precisión de las mediciones:



Foto 2. Patrón de medición del rugosímetro.

3. PROBETAS DE MEDICION Y PROCESO UTILIZADO

Se ha solicitado la realización de la medición de la rugosidad Ra (μm) en probetas de dos tipos:

Probetas prismáticas tipo A

De dimensiones aproximadas son de 25mm de largo por 13mm de alto y 8mm de espesor. Las mismas que se hallan registradas con códigos alfa numéricos compuestos de 4 códigos, como se muestra en la siguiente fotografía. La medición de la rugosidad Ra expresada en μm se realizó en el sentido longitudinal sobre en una distancia media de 5 mm, ver foto 3.



Foto 3. Probeta prismática Tipo A

Probetas perforadas tipo B

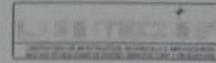
Son de dimensiones variadas, pero poseen perforaciones y se han cortado aproximadamente a la mitad. Las mismas que se hallan registradas con códigos alfa numéricos compuestos de 4 códigos, como se muestra en la fotografía 4. La medición de la rugosidad Ra expresada en μm se realizó en el sentido de la perforación, sobre una longitud de 5 mm:



Foto 4. Probeta perforada tipo B

4. DATOS OBTENIDOS DE LA MEDICION

Al realizar las mediciones, los valores obtenidos de la rugosidad: Ra, en μm , para ambas probetas son los siguientes:



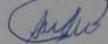
Medición de Rugosidad Ra en 36 probetas tipo A:

GUPO	PROBETA	Ra (μm)
AG1	PH1A	0,83
	PH2B	0,78
	PH3C	4,60
	PH1A	1,09
	PH2B	1,34
	PH3C	1,26
	PH1A	0,92
	PH2B	1,11
	PH3C	1,67
	PD1B	4,68
	PD2C	2,70
	PD3A	8,38
	PD1B	2,81
	PD2C	5,69
	PD3A	3,80
	PD1C	6,34
	PD2A	2,85
	PD3B	5,07
AG2	EH1A	1,69
	EH2B	1,47
	EH3C	2,73
	EH1B	6,42
	EH2C	1,68
	EH3A	2,42
	EH1B	2,58
	EH2C	1,73
	EH3A	2,98
	ED1C	7,18
	ED2A	8,08
	ED3B	5,94
	ED1C	7,52
	ED2A	6,79
	ED3B	7,89
	ED1C	8,08
	ED2A	5,43
	ED3B	5,28

Medición de Rugosidad Ra en 36 probetas tipo B:

GUPO	PROBETA	Ra (μm)
BG1	PL1A	7,66
	PL2B	6,52
	PL3C	8,60
	PL1A	8,89
	PL2B	6,80
	PL3C	7,26
	PL1A	6,89
	PL2B	5,62
	PL3C	6,93
	PD1B	9,92
	PD2C	11,58
	PD3A	8,91
	PD1B	13,62
	PD2C	10,72
	PD3A	7,41
	PD1C	9,55
	PD2A	12,27
	PD3B	9,82
BG2	EL1A	7,31
	EL2B	7,40
	EL3C	10,10
	EL1B	10,25
	EL2C	11,51
	EL3A	8,36
	EL1B	7,53
	EL2C	7,13
	EL3A	9,7
	ED1C	10,16
	ED2A	15,31
	ED3B	13,47
	ED1C	10,68
	ED2A	9,59
	ED3B	9,20
	ED1C	11,13
	ED2A	13,62
	ED3B	13,40

Atentamente,



Ing. Mario Cesén, M.Sc.

JEFE DE LABORATORIO