

ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	iii
Abstract.....	v
Resum	vii
PRESENTACIÓN DE LA TESIS	1
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	2
3. Metodología.....	3
4. Aportaciones originales	4
5. Estructura del documento	4
CAPÍTULO 1. PANORAMA CIENTÍFICO.....	7
1.1. Introducción	7
1.2. Materiales compuestos.....	7
1.2.1. Materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras	8
1.2.2. Matrices	9
1.2.3. Fibras	10
1.2.3.1 Fibra mineral artificial: basalto	13
1.3. Procesos de fabricación de materiales compuestos.....	16
1.3.1. Proceso RTM (Resin Transfer Molding)	19
1.4. Mecanizado de materiales compuestos	20
1.4.1. Herramientas de mecanizado	21
1.5. Estado del arte del fresado de materiales compuestos	23
1.5.1. Materiales, fabricación de laminados y operaciones de fresado	24
1.5.2. Herramientas de mecanizado	26

1.5.3. Estudio de la rugosidad superficial	28
1.5.3.1. Modelos empíricos	29
1.5.4. Estudio del desgaste de la herramienta	30
1.5.4.1. Modelos empíricos	32
1.5.5. Estudio del delaminado.....	32
1.5.5.1. Medida del delaminado.....	33
1.5.5.1.1. Medida del delaminado en el taladrado	33
1.5.5.1.2. Medida del delaminado en el fresado	35
1.5.5.2. Parámetros que influyen en el delaminado	36
1.5.5.2.1. Condiciones de corte.....	37
1.5.5.2.2. Orientación de las fibras	40
1.5.5.2.3. Herramienta	43
1.5.5.2.4. Parámetro Xd.....	44
1.5.6. Técnicas de optimización aplicadas.....	45
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	47
2.1. Introducción	47
2.2. Fabricación de los laminados por RTM.....	48
2.3. Mecanizado de los laminados	50
2.3.1. Amarre	50
2.3.2. Selección de la herramienta de corte	52
2.4. Planteamiento de los experimentos.....	53
2.4.1. Variables de entrada	53
2.4.2. Variables de salida.....	54
2.4.3. Diseño de experimentos.....	55
2.5. Procedimiento de medida de las variables de salida	56
2.5.1. Procedimiento de medida de la rugosidad superficial	56
2.5.2. Procedimiento de medida del desgaste de la herramienta.....	58
2.5.3. Procedimiento de medida del delaminado	62
2.6. Técnicas estadísticas	66
2.6.1. Análisis de la Varianza (ANOVA)	66
2.6.2. Modelo de regresión lineal múltiple	71
2.6.3. Modelo de regresión cuantílica.....	72

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL Y EL DESGASTE DE LA HERRAMIENTA	75
3.1. Introducción	75
3.2. Análisis de la rugosidad superficial	76
3.2.1. Análisis estadístico de la rugosidad	78
3.2.1.1. ANOVA multifactorial	78
3.2.1.2. Regresión cuantil	83
3.3. Desgaste de herramienta	88
3.3.1. Análisis estadístico del desgaste	89
3.4. Modelo predictivo de Ra.....	93
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DEL DELAMINADO	97
4.1. Introducción	97
4.2. Consideraciones teóricas.....	98
4.2.1. Referencias de posicionamiento angular	98
4.2.1.1. Aplicación al ranurado.....	102
4.2.2. Orientación de la trayectoria de corte respecto al tejido: efecto en el delaminado tipo II	103
4.2.2.1. Delaminado uniforme	104
4.2.2.2. Delaminado con efecto onda	105
4.2.2.3. Delaminado aleatorio.....	107
4.2.3. Parámetro Xd.....	108
4.2.3.1. Valor constante de Xd	109
4.2.3.2. Patrón de variación uniforme para Xd	109
4.2.3.3. Valor aleatorio de Xd.....	111
4.3. Análisis preliminar del delaminado	112
4.3.1. Volumen de fibra	112
4.3.2. Experimentos con delaminado.....	114
4.3.3. Tratamiento de las zonas con delaminado	115
4.3.4. Análisis del delaminado tipo I y tipo II en un tejido bidimensional	119
4.4. Análisis cuantitativo del delaminado	123

FRESADO DE MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRA DE BASALTO

4.4.1. Parámetros unidimensionales	125
4.4.1.1. Parámetro de delaminado medio (W_a)	125
4.4.1.2. Parámetro de delaminado equivalente (W_b).....	126
4.4.1.2.1. Valor máximo teórico (W_{max}) del parámetro de delaminado equivalente (W_b).	127
4.4.1.3. Factor de delaminado (F_{del}).....	128
4.4.1.4. Resultados obtenidos	128
4.4.1.5. Rangos de delaminado.....	134
4.4.1.6. Análisis de la profundidad de pasada	136
4.4.2. Parámetros de superficie.....	139
4.4.2.1. Factor de superficie (F_{Sd})	139
4.4.2.1.1 Valor máximo teórico de la superficie delaminada (S_{dmax}).....	140
4.4.2.2. Resultados obtenidos	141
4.4.2.3. Rangos de delaminado para el factor de superficie.....	144
4.5. Análisis estadístico.....	145
4.5.1. Delaminado Tipo I.....	145
4.5.2. Delaminado Tipo II	147
4.6. Conclusiones	150
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	151
5.1. Conclusiones	151
5.2. Trabajos futuros	153
PUBLICACIONES	155
BIBLIOGRAFÍA	157
ANEXOS	167
I. ANEXOS AL CAPÍTULO 2.....	167
I.1. Características resina	167
I.2. Características del tejido de basalto.....	168
I.3. Especificaciones centro de mecanizado. KONDIA B-500	170

I.4. Datos de la herramienta	171
I.5. Especificaciones Rugosímetro SJ-201	173
I.6. Ejemplo de salida de datos - imagen Vb	174
II. ANEXOS AL CAPÍTULO 3.....	176
II.1. Medidas de rugosidad longitudinal.....	176
II.2. Gráficos de rugosidad superficial	184
II.3. Medidas de desgaste	186
III. ANEXOS AL CAPÍTULO 4	190
III.1. Ejemplo datos delaminado	190