



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

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**“DISEÑO DE UN PUNZÓN PARA CORTE-TROQUELADO DE UN
MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON
FIBRAS NATURALES.”**

Autor: Lucas David Acosta Castro

Tutor: Ing. Mg. Cristian Fabián Pérez Salinas

AMBATO - ECUADOR
Junio – 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “**DISEÑO DE UN PUNZÓN PARA CORTE-TROQUELADO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS NATURALES**” elaborado por el Sr. Lucas David Acosta Castro, portador de la cédula de ciudadanía: 1804711057, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, Junio 2021

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

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Lucas David Acosta Castro, portador de la C.I.: 1804711057, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema: **“DISEÑO DE UN PUNZÓN PARA CORTE-TROQUELADO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS NATURALES”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Junio 2021



.....
Lucas David Acosta Castro

C.I.: 1804711057

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi proyecto técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Junio 2021



.....
Lucas David Acosta Castro

C.I.: 1804711057

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Lucas David Acosta Castro de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO DE UN PUNZÓN PARA CORTE-TROQUELADO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS NATURALES”**.

Ambato, Junio 2021

Para constancia firman:

.....
Ing. Mg. Diego Fernando Núñez Núñez
Miembro Calificador

.....
Ing. Mg. Wilson Henry Vaca Ortega
Miembro Calificador

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico principalmente a Dios, por brindarme la salud y la vida además por ser mi guía durante el transcurso de mi formación académica.

A mi madre Elcia Castro, quien me brindo su amor y apoyo incondicional con el fin de culminar mis estudios universitarios. A ella, quien se esforzó día a día para darme lo necesario, su dedicación y perseverancia me impulsaron durante el transcurso de mi formación profesional.

A mi hermana Wendy Acosta, que mediante sus consejos me motivó para poder cumplir con mis sueños, objetivos y metas.

AGRADECIMIENTO

Agradecer primeramente a Dios por brindarme la fuerza y sabiduría para alcanzar el sueño anhelado, además por permitirme vivir y lograr cumplir con la meta propuesta desde un inicio.

A mi madre, porque siempre ha estado para apoyarme durante los momentos gratos y difíciles, a mi hermana que me impulso y motivo para no desmayar en el transcurso de mi formación académica.

A la Universidad Técnica de Ambato por ende a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, que me acogieron y me brindaron todas las herramientas para formarme como persona y profesional. De igual manera a todos los docentes porque imparten sus conocimientos y experiencias profesionales.

Al Ing. Mg. Cristian Pérez Salinas, quien como tutor de tesis me brindó todo su apoyo, tiempo y conocimiento, para lograr culminar de forma acertada con el proyecto técnico.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT	xx
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes investigativos	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Fundamentación teórica.....	3
1.3.1. Materiales compuestos	3
1.3.2. Composición de los materiales compuestos.....	4
1.3.2.1. La matriz	4
1.3.2.2. El refuerzo.....	5
1.3.3. Clasificación de los materiales compuestos.....	5
1.3.3.1. Según el tipo de matriz	5
1.3.3.2. Matriz cerámica o CMC (Ceramic Matrix Composite).....	5
1.3.3.3. Matriz polimérica o PMC (Polymeric Matrix Composite).....	6
1.3.3.4. Matriz metálica o MMC (Metal Matrix Composite)	6
1.3.4. Según el mecanismo de refuerzo.....	7
1.3.4.1. Compuestos reforzados por partícula	7
1.3.4.2. Compuestos reforzados por fibras	7
1.3.4.3. Compuestos reforzados por whiskers	8
1.3.5. Proceso de troquelado	8
1.3.5.1. Tipos de troqueles.....	9
1.3.5.2. Troquel de puente	10

1.3.5.3.	Troquel con pisador	11
1.3.5.4.	Troquel de doble efecto	11
1.3.5.5.	Troquel progresivo.....	12
1.3.5.6.	Proceso de punzonado	13
1.3.6.	Análisis del proceso de punzonado	14
1.3.6.1.	Mecánica de corte	14
1.3.6.2.	Elementos que intervienen en el proceso de punzonado	14
1.3.7.	Tipos y formas de punzones.....	15
1.3.7.1.	Punzones con guía	15
1.3.7.2.	Punzones especiales para agujerar.....	16
1.3.7.3.	Punzones de funcionamiento de tijera	17
1.3.8.	Parámetros que intervienen en el proceso de punzonado.....	18
1.3.8.1.	Fuerza efectiva.....	18
1.3.8.2.	Fuerza real.....	18
1.3.8.3.	Fuerza de corte.....	19
1.3.8.4.	Fuerza de extracción de la herramienta (punzón).....	19
1.3.8.5.	Fuerza de expulsión	19
1.3.8.6.	Juego entre el punzón y la matriz	20
1.3.9.	Método de Elementos Finitos (MEF).....	21
1.3.9.1.	Mallado del sistema	22
1.3.9.2.	Elementos planos en 2D	24
1.3.9.3.	Elementos sólidos o en 3 D.....	24
1.3.9.4.	Proceso para el análisis por M.E.F	24
1.3.10.	Teoría de Von Mises	26
1.3.11.	Esfuerzo cortante	26
1.3.12.	Factor de Delaminación.....	26
1.4.	Objetivos.....	28
1.4.1.	Objetivo general	28
1.4.2.	Objetivos específicos	28
CAPÍTULO II		29
METODOLOGÍA		29
2.3.	Materiales	29
2.3.1.	Características de las resinas.....	29

2.3.1.1.	Resina Epoxi	29
	Resina Poliéster insaturada	30
2.3.2.	Características de las fibras naturales	31
2.1.2.1.	Fibra de cabuya	32
2.3.2.1.	Fibra de abacá	33
2.3.2.2.	Fibra de yute	34
2.3.3.	Material del punzón.....	35
2.3.3.1.	Acero ARNE-DF2- AISI 01- DIN 1.2510.....	35
2.3.3.2.	Propiedades.....	36
2.3.4.	Material de la matriz	36
2.3.4.1.	Acero AISI /SAE 1010	36
2.4.	Métodos	37
2.4.1.	Diseño de experimentos – DOE.....	37
2.4.2.	Nivel de investigación.....	38
2.4.2.1.	Bibliográfico	38
2.4.2.2.	Descriptivo.....	38
2.4.2.3.	Experimental.....	38
2.4.2.4.	Relacional	38
2.4.3.	Población y muestra	39
2.4.3.1.	Población	39
2.4.3.2.	Muestra poblacional.....	39
2.5.	Hipótesis	39
2.6.	Señalamiento de variables de la hipótesis	40
2.6.1.	Variable independiente.....	40
2.6.2.	Variable dependiente.....	40
2.6.3.	Término de relación	40
2.6.3.1.	Operacionalización de variables	40
2.6.3.2.	Variable independiente	40
2.6.3.3.	Variable dependiente	41
2.7.	Recolección de información	42
2.7.1.	Procedimiento	43
2.7.1.1.	Estratificación del material	43
2.8.	Plan de procesamiento y análisis.....	44

2.8.1.	Flujograma del proceso de diseño y simulación	45
2.8.2.	Flujograma del ensayo experimental	47
2.8.3.	Factibilidad de elaboración de ensayos	48
2.9.	Fabricación de los elementos.....	49
2.9.1.	Fabricación de la placa superior.....	50
2.9.2.	Fabricación del porta punzón	52
2.9.3.	Fabricación del anillo botador.....	54
2.9.4.	Fabricación de los punzones	56
2.9.5.	Fabricación de la matriz	57
2.9.6.	Fabricación de la porta matriz.....	58
2.9.7.	Fabricación de la placa inferior.....	60
CAPÍTULO III.....		63
DESARROLLO DEL PROYECTO		63
SIMULACIÓN, ENSAYO EXPERIMENTAL, RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		63
3.3.	Cálculos	63
3.4.	Diseño de los punzones	70
3.5.	Simulación.....	72
3.5.1.	Esquema del proyecto	72
3.5.2.	Datos de Ingeniería (Engineering Data).....	72
3.5.3.	ACP (ANSYS Composite PrepPost).....	72
3.5.4.	Ansys LS – DYNA.....	73
3.5.5.	Simulación.....	73
3.5.6.	Materiales utilizados para la simulación	75
3.5.7.	Mallado	77
3.5.7.1.	Tipos de mallado.....	77
3.5.7.2.	Mallado automático	77
3.5.7.3.	Refinamiento de malla.....	78
3.5.7.4.	Calidad de mallado	79
3.5.7.5.	Mallado del punzón en W	80
3.5.7.6.	Mallado del panzón doble cizalla a 20° y 30°.....	80
3.6.	Diseño del material compuesto	81
3.6.1.	Estructura del material compuesto	82
3.6.2.	Condiciones del proceso	83

3.6.2.1.	Fuerza.....	83
3.6.2.2.	Velocidad.....	84
3.6.2.3.	Desplazamiento.....	85
3.6.2.4.	Soportes fijos	85
3.7.	Resultados preliminares de la simulación del punzón.....	86
3.7.1.	Deformación total en la placa de material compuesto	87
3.7.2.	Esfuerzo de Von Mises o de cedencia.....	88
3.8.	Análisis y discusión de los resultados	89
3.9.	Ensayos experimentales.....	93
3.9.1.	Factor de delaminación a la entrada y salida del proceso	93
3.9.2.	Análisis de la zona de corte en el microscopio de barrido SEM.....	141
3.10.	Factor de Delaminación	145
3.10.1.	Análisis del factor de Delaminación Entrada	145
3.10.2.	Análisis del factor de Delaminación Salida.....	150
3.11.	Verificación de hipótesis	155
CAPÍTULO IV		156
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	156
4.1.	CONCLUSIONES.....	156
4.2.	RECOMENDACIONES	158
Bibliografía		159
ANEXOS.....		164

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Composición de un material compuesto [6].	4
Figura 2: Concreto reforzado con partículas [9].	7
Figura 3: Orientación o configuración de las fibras [9].	8
Figura 4: Ampliación de los whiskers [9].	8
Figura 5: Proceso de troquelado [10].	9
Figura 6: Troquel de puente [11].	11
Figura 7: Corte de un troquel con pisador [11].	11
Figura 8: Troquel de doble efecto [11].	12
Figura 9: Troquel progresivo [11].	13
Figura 10: Esquema del proceso de punzonado [12].	13
Figura 11: Punzón diseñado en un CAD [13].	15
Figura 12: Matriz diseñada en un CAD [13].	15
Figura 13: Punzón con perno guía [14].	16
Figura 14: Punzones especiales [14].	16
Figura 15: Representación de la inclinación de las esquinas [14].	18
Figura 16: Representación gráfica del juego [17].	21
Figura 17: Elemento tipo resorte [23].	23
Figura 18: Elemento tipo 2D [23].	24
Figura 19: Elemento tipo resorte [23].	24
Figura 20: Factor delaminación [28].	27
Figura 21: Entrada y salida en el proceso de perforación [29].	27
Figura 22: Reacción química entre el Diol y Diácido [33].	30
Figura 23: Industrias que utilizan materiales compuestos [35].	31
Figura 24: Planta de cabuya y su fibra [35].	32
Figura 25: Fibra de abacá [36].	33
Figura 26: Planta de yute (izquierda) - fibra de yute (derecha) [37].	34
Figura 27: Flujograma de diseño.	46
Figura 28: Flujograma ensayo experimental.	48
Figura 29: Modelo de punzonadora.	50
Figura 30: Pieza para trabajar en el molde.	51
Figura 31: Pieza para trabajar en el molde.	51

Figura 32: Perforado y roscado de la placa superior.....	52
Figura 33: Placa superior.	52
Figura 34: Pieza para trabajar el porta punzón.....	53
Figura 35: Pieza para rectificar la punta del punzón.....	53
Figura 36: Perforado y roscado del porta punzón.	54
Figura 37: Porta punzón.	54
Figura 38: Torneado del anillo botador.....	55
Figura 39: Perforado del anillo botador.	55
Figura 40: Anillo botador.....	56
Figura 41: Torneado de elementos.....	56
Figura 42: Templado de los elementos.	57
Figura 43: Torneado y corte de las barras de acero.	57
Figura 44: Perforado de la matriz.....	58
Figura 45: Matriz.....	58
Figura 46: Pieza para fabricar el porta matriz.	59
Figura 47: Rectificado del porta matriz.	59
Figura 48: Perforado y roscado del porta matriz.....	59
Figura 49: Porta matriz.....	60
Figura 50: Corte y fresado de la placa inferior.	60
Figura 51: Rectificado de la placa inferior.....	61
Figura 52: Perforado y roscado de la placa inferior.....	61
Figura 53: Placa inferior.....	62
Figura 54: Esquema del proyecto.....	72
Figura 55: Esquema del proyecto.....	74
Figura 56: Diseño del esquema del proceso.....	74
Figura 57: Propiedades de la resina epoxi ingresadas al software.	76
Figura 58: Propiedades de la fibra natural de cabuya ingresadas al software.....	76
Figura 59: Propiedades del acero ARNE DF2.	77
Figura 60: Mallado automático de los elementos.	77
Figura 61: Refinamiento de todos los elementos.	78
Figura 62: Línea de partición en la placa de material compuesto.....	78
Figura 63: Refinamiento de la zona de corte.	79
Figura 64: Calidad del elemento - Punzón recto.....	80

Figura 65: Relación de aspecto - Punzón en W.	80
Figura 66: Relación de aspecto - Punzón doble cizalla a 20°.	81
Figura 67: Estructura del material compuesto.	82
Figura 68: Configuración final de la placa de material compuesto.	83
Figura 69: Orientación de las fibras naturales.....	83
Figura 70: Fuerza aplicada al punzón.	84
Figura 71: Velocidad aplicada al punzón.....	84
Figura 72: Restricción del desplazamiento.	85
Figura 73: Aplicación de soportes en la matriz y en la placa.....	86
Figura 74: Vista isométrica del proceso de corte.	86
Figura 75: Vista frontal del proceso de corte.	87
Figura 76: Retaso obtenido del proceso de corte.	87
Figura 77: Deformación total de la lámina de material compuesto.	88
Figura 78: Esfuerzo de Von Mises en el punzón.	88
Figura 79: Máximo esfuerzo normal en la placa de material compuesto.	89
Figura 80: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del factor de delaminación a la entrada.	146
Figura 81: Gráfica de probabilidad normal de los datos del factor de delaminación a la entrada.	147
Figura 82: Gráfica de efectos principales del factor de delaminación a la entrada.....	148
Figura 83: Gráfica de interacción entre los factores el tipo de matriz y la forma del punzón.	149
Figura 84: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el factor de delaminación a la salida.	151
Figura 85: Gráfica de probabilidad del factor de delaminación a la salida.....	152
Figura 86: Gráfica de efectos principales del factor de delaminación a la salida.	153
Figura 87: Representación gráfica de las interacciones entre los factores tipo de matriz y forma del punzón.	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los troqueles [11].....	10
Tabla 2. Fuerza de corte requerida según el tipo de afilado [14].....	17
Tabla 3. Propiedades de la resina epoxi [30], [31], [32]	30
Tabla 4. Propiedades de la resina poliéster [33], [34].....	31
Tabla 5. Propiedades de la fibra de cabuya [35].	32
Tabla 6. Características físicas de la fibra de cabuya [35].	33
Tabla 7. Propiedades de la fibra de abacá [36].	34
Tabla 8. Propiedades de la fibra de yute [37].....	35
Tabla 9. Propiedades del acero ARNE DF2 [38].....	36
Tabla 10. Propiedades físicas del acero AISI 1010 [41].....	36
Tabla 11: Información de los factores y niveles	37
Tabla 12. Ensayos a realizar.....	39
Tabla 13: Variable independiente	41
Tabla 14: Variable dependiente	42
Tabla 15. Información del proyecto.	43
Tabla 16: Datos de la empresa para los materiales	49
Tabla 17. Configuración de los punzones.	71
Tabla 18. Materiales utilizados.	75
Tabla 19. Especificación del número de nodos y elementos.	79
Tabla 20: Modelo del material compuesto.....	81
Tabla 21. Resultados obtenidos con la resina epoxi y fibra de abacá.	90
Tabla 22. Resultados obtenidos con la resina epoxi y fibra de cabuya.....	90
Tabla 23. Resultados obtenidos con la resina epoxi y fibra de yute.	91
Tabla 24. Resultados obtenidos con la resina poliéster y fibra de abacá.	91
Tabla 25. Resultados obtenidos con la resina poliéster y fibra de cabuya.	92
Tabla 26. Resultados obtenidos con la resina poliéster y fibra de yute.	92
Tabla 27: Factor de delaminación a la entrada – Punzón recto probetas 1, 2.....	93
Tabla 28: Factor de delaminación a la entrada – Punzón recto probetas 3, 4.....	94
Tabla 29: Factor de delaminación a la entrada – Punzón recto probeta 5.....	95
Tabla 30: Factor de delaminación a la entrada – Punzón recto probetas 1, 2.....	96
Tabla 31: Factor de delaminación a la entrada – Punzón recto probetas 3, 4.....	97

Tabla 32: Factor de delaminación a la entrada – Punzón recto probeta 5.....	98
Tabla 33: Factor de delaminación a la entrada – Punzón en W probetas 1, 2	99
Tabla 34: Factor de delaminación a la entrada – Punzón en W probetas 3, 4	100
Tabla 35: Factor de delaminación a la entrada – Punzón en W probeta 5	101
Tabla 36: Factor de delaminación a la entrada – Punzón en W probetas 1, 2	102
Tabla 37: Factor de delaminación a la entrada – Punzón en W probetas 3, 4	103
Tabla 38: Factor de delaminación a la entrada – Punzón en W probeta 5	104
Tabla 39: Factor de delaminación a la entrada – Punzón doble cizalla a 20° probetas 1, 2.....	105
Tabla 40: Factor de delaminación a la entrada – Punzón doble cizalla a 20° probetas 3, 4.....	106
Tabla 41: Factor de delaminación a la entrada – Punzón doble cizalla a 20° probeta 5	107
Tabla 42: Factor de delaminación a la entrada – Punzón doble cizalla a 20° probetas 1, 2.....	108
Tabla 43: Factor de delaminación a la entrada – Punzón doble cizalla a 20° probetas 3, 4.....	109
Tabla 44: Factor de delaminación a la entrada – Punzón doble cizalla a 20° probeta 5	110
Tabla 45: Factor de delaminación a la entrada – Punzón a 30° probetas 1, 2.....	111
Tabla 46. Factor de delaminación a la entrada – Punzón a 30° probetas 3, 4.....	112
Tabla 47: Factor de delaminación a la entrada – Punzón a 30° probeta 5	113
Tabla 48: Factor de delaminación a la entrada – Punzón a 30° probetas 1, 2.....	114
Tabla 49: Factor de delaminación a la entrada – Punzón a 30° probetas 3, 4.....	115
Tabla 50: Factor de delaminación a la entrada – Punzón a 30° probeta 5	116
Tabla 51: Factor de delaminación a la salida – Punzón recto probetas 1, 2	117
Tabla 52: Factor de delaminación a la salida – Punzón recto probetas 3, 4	118
Tabla 53: Factor de delaminación a la salida – Punzón recto probeta 5	119
Tabla 54: Factor de delaminación a la salida – Punzón recto probetas 1, 2	120
Tabla 55: Factor de delaminación a la salida – Punzón recto probetas 3, 4	121
Tabla 56: Factor de delaminación a la salida – Punzón recto probeta 5	122
Tabla 57: Factor de delaminación a la salida – Punzón en W probetas 1, 2.....	123
Tabla 58: Factor de delaminación a la salida – Punzón en W probetas 3, 4.....	124
Tabla 59: Factor de delaminación a la salida – Punzón en W probetas 5	125
Tabla 60: Factor de delaminación a la salida – Punzón en W probetas 1, 2.....	126

Tabla 61: Factor de delaminación a la salida – Punzón en W probetas 3, 4.....	127
Tabla 62: Factor de delaminación a la salida – Punzón en W probetas 5.....	128
Tabla 63: Factor de delaminación a la salida – Punzón doble cizalla a 20° probetas 1, 2.....	129
Tabla 64: Factor de delaminación a la salida – Punzón doble cizalla a 20° probetas 3, 4.....	130
Tabla 65: Factor de delaminación a la salida – Punzón doble cizalla a 20° probeta 5 ..	131
Tabla 66: Factor de delaminación a la salida – Punzón doble cizalla a 20° probetas 1, 2.....	132
Tabla 67: Factor de delaminación a la salida – Punzón doble cizalla a 20° probetas 3, 4.....	133
Tabla 68: Factor de delaminación a la salida – Punzón doble cizalla a 20° probeta 5 ..	134
Tabla 69: Factor de delaminación a la salida – Punzón a 30° probetas 1, 2.....	135
Tabla 70. Factor de delaminación a la salida – Punzón a 30° probetas 3, 4.....	136
Tabla 71: Factor de delaminación a la salida – Punzón a 30° probeta 5.....	137
Tabla 72: Factor de delaminación a la salida – Punzón a 30° probetas 1, 2.....	138
Tabla 73: Factor de delaminación a la salida – Punzón a 30° probetas 3, 4.....	139
Tabla 74: Factor de delaminación a la salida – Punzón a 30° probeta 5.....	140
Tabla 75: Análisis de la zona de corte - punzón recto - probetas 1, 2	141
Tabla 76: Análisis de la zona de corte - punzón en W - probetas 1, 2.....	142
Tabla 77: Análisis de la zona de corte - punzón doble cizalla a 20° - probetas 1, 2.....	143
Tabla 78: Análisis de la zona de corte - punzón a 30° - probetas 1, 2.....	144
Tabla 79. Factores y niveles modificados para los ensayos experimentales.....	145
Tabla 80. Resumen del diseño.	145
Tabla 81. Resultados de análisis de factorial completo - factor de delaminación a la entrada.....	146
Tabla 82. Resultados obtenidos en el estudio estadístico del factor de delaminación a la entrada.....	149
Tabla 83. Resumen del diseño del factor de delaminación a la salida.....	150
Tabla 84. Resultados de análisis de factorial completo - factor de delaminación a la salida.....	150
Tabla 85. Resultados obtenidos en el estudio estadístico del factor de delaminación a la salida.....	154

RESUMEN

En el presente proyecto se diseñó y se construyó un punzón con la finalidad de ser empleado en materiales compuestos, de tal manera que se analizó si el tipo de configuración del punzón, el tipo de fibra de refuerzo y el tipo de matriz influyen en la calidad del corte. Para el estudio se emplearon cuatro configuraciones distintas como son: recto, en W, doble cizalla a 20 grados y una cizalla simple a 30 grados; los cuales fueron diseñados en un CAD con un diámetro de 12,7 mm y una altura de 70 mm.

El estudio se centra en la simulación mediante la aplicación del método de elementos finitos en un software especializado en donde se evaluó el comportamiento dinámico de los diversos tipos de punzón y mediante el cual se diseñaron seis tipos de materiales compuestos y empleados para cada simulación.

Con el fin validar las simulaciones realizadas se optó por la construcción de los punzones con sus diversos componentes secundarios para ser evaluados y probados en dos materiales compuestos: el uno conformado de resina epoxi con fibra de yute y el segundo de resina poliéster con fibra de yute, una vez realizado el ensayo de punzonado se evaluó los cortes realizados dando como resultado un factor de delaminación a la entrada de 1,046 y a la salida de 1,066; de esta manera se analizó que el punzón en W es la herramienta de corte ideal para la aplicación en materiales compuestos.

PALABRAS CLAVE: material compuesto, punzón, elementos finitos, comportamiento dinámico, factor de delaminación.

ABSTRACT

In the present project, a punch was designed and built with the purpose of being used in composite materials, in such a way that it was analyzed whether the type of punch configuration, the type of reinforcement fiber and the type of matrix influence the quality of the cut. Four different configurations were used for the study: straight, W-shaped, double shear at 20 degrees and single shear at 30 degrees; which were designed in a CAD with a diameter of 12.7 mm and a height of 70 mm.

The study focuses on the simulation through the application of the finite element method in a specialized software where the dynamic behavior of the various types of punch was evaluated and through which six types of composite materials were designed and used for each simulation.

In order to validate the simulations carried out, we chose to build the punches with their various secondary components to be evaluated and tested in two composite materials: One made of epoxy resin with jute fiber and the second of polyester resin with jute fiber. Once the punching test was performed, the cuts were evaluated, resulting in a delamination factor at the entrance of 1.046 and at the exit of 1.066; in this way it was analyzed that the W punch is the ideal cutting tool for the application in composite materials.

KEY WORDS: composite material, punch, finite elements, dynamic behavior, delamination factor.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

El análisis que se realizó para poder llevar acabado este proyecto técnico fue revisar investigaciones que se han realizado a nivel mundial tanto como investigaciones que han sido realizadas en el país.

Los materiales compuestos se han usado desde hace miles de años con el fin de mejorar las características y propiedades que los elementos por si solos no lograrían, en base a conjeturas y comprobaciones el uso de materiales compuestos hoy en día es sumamente demandado en las industrias principalmente en las industrias carroceras, metalmecánica e industrias como la aeroespacial.

Los materiales compuestos son sumamente resistentes y a la vez livianos, pero también poseen gran fragilidad principalmente si se pretende realizar procesos de manufactura como un corte o troquelado sobre su superficie; por tal motivo los elementos realizados con materiales compuestos son fabricados o confeccionados con moldes para reducir o evitar post-procesos, pero si la construcción de los moldes con cada uno de sus detalles resultan en un costo considerablemente elevado lo razonable es realizar moldes sin considerar detalles que podrían ser manufacturados tomando todas las consideraciones que dichos procesos conllevan [1].

El Artículo “Punzonado de precisión: Un nuevo método de hacer agujeros en paneles compuestos”, evaluó la calidad e integridad de los agujeros perforados considerando principalmente dos parámetros: la holgura de la matriz y el perfil de cada punzón en donde se determinó que el perfil del punzón juega un papel importante en la calidad y de igual manera en el diámetro de salida; de esta forma los resultados muestran que el punzón con perfil de cizalla doble a 20° es ideal para realizar cortes de mejor calidad e integridad en paneles compuestos [2].

En la investigación “Evaluación de los agujeros perforados en el panel de Al/CFRP/Al apilado por la técnica de medición de perfiles”, se estudió la influencia de los parámetros del proceso de corte con respecto a la calidad de los agujeros realizados en paneles compuestos, mediante lo cual se evidenció que el diámetro de entrada del agujero este directamente influenciado por el desgaste de la herramienta además que la desviación del diámetro que se produce por condiciones propias del proceso se puede minimizarse al aplicar una baja carga produciendo de esta manera una baja tasa de delaminación. De igual forma se comprobó que la altura de la rebaba a la salida del agujero perforado es alta a medida que la velocidad de perforación es baja [3].

La investigación “Diseño y construcción de una matriz para fabricar material didáctico en Goma E.V.A (Etil Vinil Acetato)”, se centró en el diseño y la construcción de una matriz didáctica, pero para llegar a obtener resultados favorables se analizó todas las condiciones y parámetros de corte además del diseño de varios componentes como lo es el punzón, elemento el cual puede tener la una forma definida o apta para el trabajo de esta manera hace énfasis que la parte más influyente en un punzón es su superficie de corte la cual debe estar entre un rango de dureza de 54 – 58 HRC; dureza ideal si se trata de cortar materiales fibrosos o elásticos [4].

1.2 Justificación

Para este trabajo de grado se diseñó un punzón para corte-troquelado tomando en consideración que será utilizado en materiales compuestos que por su composición al momento de un corte tienden a concentrar mayor cantidad de esfuerzos que a su vez provocan daños irreversibles en el material; para esto se trabajó con parámetros y materiales apropiados a este tipo de trabajo.

Para sus cálculos se utilizaron varias leyes, fórmulas y consideraciones matemáticas, para posteriormente realizar la selección adecuada de todos los materiales y equipos necesarios para su construcción tomando en cuenta de esta manera todos los costos que implicó obtener el punzón y para garantizar que la herramienta de corte trabaje de manera óptima el diseño y el análisis se lo realizó en CAD- CAE lógicamente

considerando tanto las condiciones de la herramienta como de las propiedades del material compuesto.

La finalidad de este proyecto es reducir considerablemente las complicaciones que se presentan en el material compuesto debido a que se ha demostrado que se presenta delaminación, astillado en los filos, desprendimiento de fibras y lo que es más formación de grietas, por lo que se determinó el punzón y los parámetros de accionamiento de la troqueladora más apropiados para que se eliminen dichos defectos y el material compuesto se pueda utilizar para el fin que este determinado [2].

Alrededor del mundo el uso de los materiales compuestos se ha expandido a mayores sectores industriales por su peso ligero, resistencia y fiabilidad por lo que se utiliza en aplicaciones complejas que requieren gran precisión es así que para ensambles y demás operaciones hace faltan agujeros para la sujeción pero varios sistemas de perforación son muy caros o no son aptos para dichos materiales; una solución que se ha encontrado es el punzonado en donde se ha comprobado que el corte resultante es más impecable pero la falta de estudios hacen dudar de su aplicación en la industria [3].

En nuestro país principalmente en la región sierra el sector industrial es muy amplio por lo que la utilización de estos materiales compuestos se ha incrementado y con ello la utilización de métodos de perforación la solución efectiva sería el punzonado siempre que la herramienta utilizada no cause daños en el elemento perforado, además el proceso resulta sumamente económico resultando en ganancias que se verían reflejadas en las utilidades empresariales.

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1. Materiales compuestos

Un material compuesto es el resultado de unir dos o más materiales con el fin de obtener la combinación óptima de propiedades que resulta imposible obtener en los materiales originales. Para conseguir un material compuesto con excelentes características es indispensable que la unión de los materiales no produzca reacciones químicas entre ellos [5].

El material compuesto generalmente está constituido por una fase discontinua también conocida como refuerzo, de esta fase dependen las propiedades mecánicas, y por una fase continua conocida como matriz, confiere resistencia térmica y hace del material compuesto una estructura monolítica [5].

Un claro ejemplo de material compuesto es el adobe, mismo que está constituido por una matriz arcillosa más conocida como barro y esta reforzado con fibras vegetales comúnmente paja; este material compuesto se ha utilizado desde la época del imperio egipcio. Además cabe mencionar que la madera y los huesos por su conformación estructural también son conocidos como materiales compuestos [6].

1.3.2. Composición de los materiales compuestos

Los materiales compuestos están conformados generalmente por una matriz y un refuerzo, esta combinación brinda al nuevo material mejores propiedades [6].

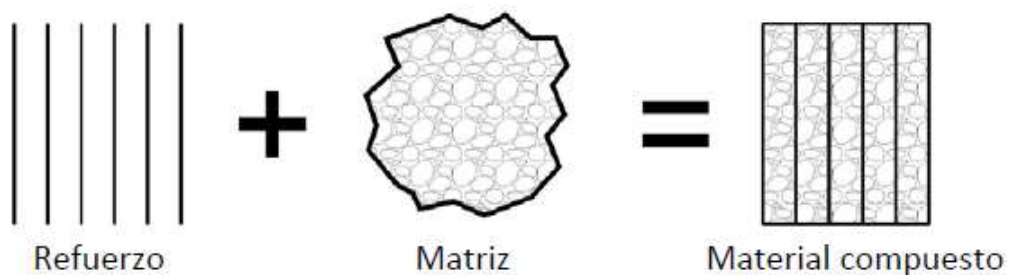


Figura 1: Composición de un material compuesto [6].

1.3.2.1. La matriz

La matriz también llamada fase continua en donde el refuerzo queda “embebido”. El material que se puede utilizar como matriz no es tan resistente y rígido como lo es el material utilizado como refuerzo. Por lo tanto, los materiales que cumplen con estas condiciones son los cerámicos, metálicos, o resinas orgánicas [7].

Funciones más sobresalientes de la matriz son:

- Define las propiedades físicas y químicas del material compuesto.
- Transfiere las cargas aplicadas al refuerzo.
- Brinda cohesión y protege al refuerzo.

Principales propiedades de la matriz son:

- Mantiene en el refuerzo o las fibras en posición correcta.
- Transfiere las cargas a las fibras fuertes.
- Imposibilita que las grietas existentes se propaguen.
- Controla las propiedades físicas, químicas, y eléctricas [7].

1.3.2.2.El refuerzo

El refuerzo conocido como fase dispersa o discontinua que se añade a la matriz para transferir al elemento alguna o varias propiedades que la matriz por sí sola no posee. El refuerzo se lo emplea para aumentar significativamente la resistencia y rigidez mecánica, aunque hoy en día también se emplean refuerzos para mejorar la capacidad térmica del material, de igual manera para reducir desgaste por efectos de la abrasión [7].

1.3.3. Clasificación de los materiales compuestos

1.3.3.1.Según el tipo de matriz

1.3.3.2.Matriz cerámica o CMC (Ceramic Matrix Composite)

Esta matriz es utilizada debido a que la mayoría de los materiales cerámicos presentan baja ductilidad, además su aplicación se debe a sus principales

características como su resistencia a la corrosión, abrasión y su elevado punto de fusión [8].

Los materiales compuestos con matriz cerámica son difíciles de trabajar su forma por lo que la manera más apta para añadir refuerzos es mediante la pulvimetalurgia del material cerámico, el objetivo de este proceso es que las fibras de refuerzo queden bien compactadas con la estructura poli-cristalina de la matriz. El principal inconveniente que presenta de estos materiales es que a pesar de poseer una alta dureza presentan gran fragilidad [8].

Las matrices que más se utilizan son:

- Alúmina (Al_2O_3)
- Carburo de silicio (SiC)
- Nitruro de silicio (Si_3N_4)

1.3.3.3. Matriz polimérica o PMC (Polymeric Matrix Composite)

Estos materiales presentan baja densidad y de sencilla fabricación, pero, no poseen propiedades mecánicas significativas asimismo tienen poca estabilidad térmica como poca resistencia a la degradación fotoquímica. El uso de este tipo de materiales es muy extenso debido a su fácil fabricación de igual manera las investigaciones alrededor de estos materiales están en auge [8].

Las matrices poliméricas pueden ser:

- Polímero termoplástico
- Polímero elastómero
- Polímero termoestable

1.3.3.4. Matriz metálica o MMC (Metal Matrix Composite)

Las matrices metálicas son sumamente utilizadas en diversas industrias debido a las excelentes características que presentan con respecto a la corrosión cuando se ha

aleado con otro material, las propiedades mecánicas que presentan es gran dureza, ductilidad y elevado punto de fusión. La desventaja que presenta es su alta densidad. Existen dos diferenciaciones importantes:

- Los MMC propuestos para aplicaciones de desgaste y corte.
- Los MMC propuestos para el uso industrial específicamente para estructuras [8].

1.3.4. Según el mecanismo de refuerzo

1.3.4.1. Compuestos reforzados por partícula

Este tipo de refuerzo es el más interesante y utilizado debido a su facilidad de fabricación, si las partículas utilizadas como reforzamiento están debidamente dispersas las propiedades del material compuesto serán isotrópicas. El refuerzo con partículas es principalmente utilizado en matriz cerámica debido a que se obtiene un material compuesto con mejores propiedades y características [9].

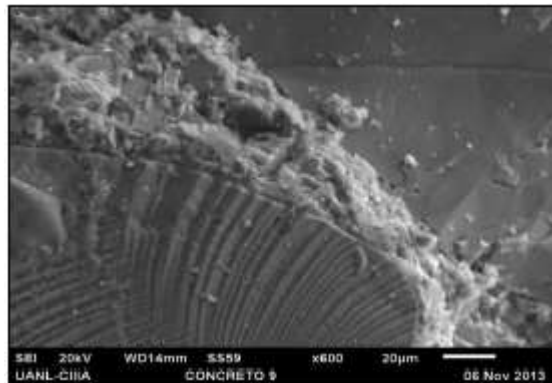


Figura 2: Concreto reforzado con partículas [9].

1.3.4.2. Compuestos reforzados por fibras

Los materiales compuestos con la fase dispersa con fibra sobresalen más que otros tipos de refuerzo debido a que brinda mayor rigidez y resistencia específica. Las propiedades del material compuesto reforzado con fibra dependen principalmente de la dirección y/o orientación en la que hayan sido ubicadas, de esta manera los materiales reforzados con fibra son “diseñables” es decir pueden construirse para que resistan más en alguna dirección específica, por lo que son considerados materiales

orto trópicos. Las configuraciones de las fibras que más se utilizan se pueden observar en la figura 3 [9].

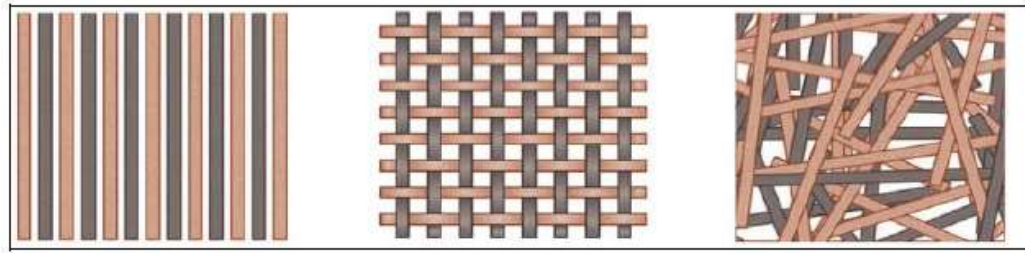


Figura 3: Orientación o configuración de las fibras [9].

1.3.4.3. Compuestos reforzados por whiskers

Los “whiskers” más conocidos como cristales individuales de tamaño reducido, su forma es similar a la de las fibras, estos refuerzos casi no poseen defectos por lo que su resistencia casi similar a la teórica. Las longitudes de estas mini fibras están en un rango de 5 a 50 μm y su diámetro puede variar entre los 0.2 a 1 μm , de esta forma entre más largas son las fibras mejorara su efecto reforzante pero su obtención es mucho más compleja. Entre los refuerzos más utilizados y que mejor resultados se han obtenido están el grafito, alúmina, carburo de silicio y carburo de boro [9].

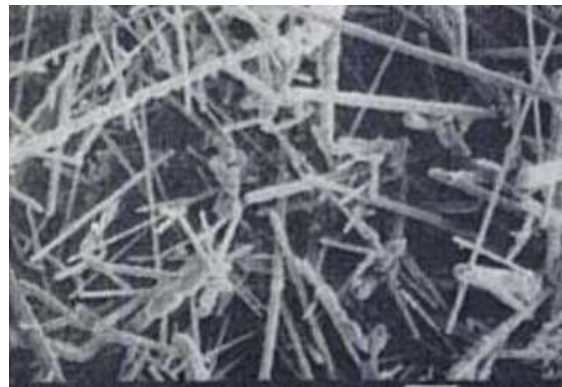


Figura 4: Ampliación de los whiskers [9].

1.3.5. Proceso de troquelado

El proceso de troquelado mecánico es muy utilizado en el ámbito industrial debido a que resulta mucho más económico y sencillo trabajar en frío cualquier tipo de lámina metálica y además este proceso hace posible que se pueda fabricar completa o parcialmente piezas por medio de la herramienta llamada troquel, conformada por dos partes: el punzón y la matriz, conocidos también como macho y hembra [10].

El proceso que más se utiliza en las industrias es el troquelado de corte, utilizado para desprender parte del material de una lámina con el uso de la cizalla con el “macho” y la matriz, por otro lado, el punzonado realiza perforaciones en el material mediante el impacto de la herramienta sobre la superficie a cortar, por su parte en el proceso de doblado se aplica una fuerza sobre la superficie de un lamina para flexionarla y efectuar pliegues desde los más sencillos hasta los más complejos [10].



Figura 5: Proceso de troquelado [10].

1.3.5.1. Tipos de troqueles

En el ámbito industrial existen diversos tipos de troqueles, y estos dependen de varios factores los cuales deben ser tomados a consideración desde el diseño de las herramientas. Así que, para que un troquel se realmente apropiado es necesario evaluar las características del material a manufacturar. La clasificación de los troqueles se muestra en la tabla 1 [11].

Tabla 1. Clasificación de los troqueles [11].

Clasificación	Tipos de troquel
Según el proceso de transformación	Manual
	Semiautomática
	Automática
Según el tipo de construcción	De puente
	Con pisador
	Coaxial o doble efecto
	Progresiva
Según el ciclo de producción	De pruebas
	De prototipos
	De producción

Según las características constructivas de los troqueles es preciso realizar una breve descripción de cada uno de ellos [11].

1.3.5.2. Troquel de puente

Se le conoce como troquel de puente ya que poseen una placa en forma de puente por donde pasa el material a manufacturar además sirve como un sistema de guía para el elemento, esta placa esta fija a la matriz por lo que su movimiento está restringido [11].

Sistema sencillo y económico puesto que posee menos componentes, pero presenta varias limitaciones entre ellas está la precisión al momento de cortar o doblar un material, debido al cierto rango de movilidad que posee el material dentro del puente [11].

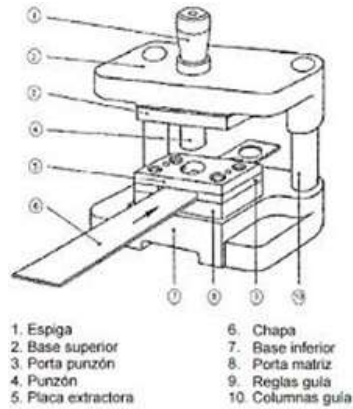


Figura 6: Troquel de puente [11].

1.3.5.3. Troquel con pisador

Este tipo de troquel posee una placa móvil, la cual se encuentra por encima de los punzones sujetándose a la parte superior del troquel. La placa posee presión regulada por medio de resortes, para garantizar el adecuado funcionamiento de la herramienta [11].

El objetivo de la placa es mantener el material sujeto y en completamente plano durante todo el proceso de corte. Otra de las funciones que tiene el pisador es el de guiar a los punzones en forma perpendicular sin que se produzca su pandeo [11].

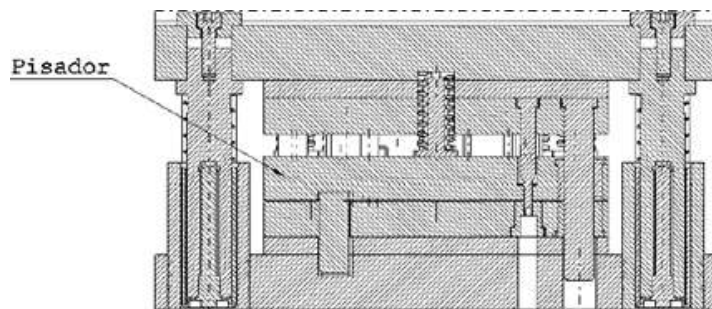


Figura 7: Corte de un troquel con pisador [11].

1.3.5.4. Troquel de doble efecto

Los troqueles de doble efecto se caracterizan por realizar dos operaciones en una misma estación, con un solo dado que puede ser utilizado como punzón al mismo

tiempo. Este tipo de troqueles es empleado cuando la tolerancia no sea alta. El mejor ejemplo de un elemento realizado por este método son las arandelas [11].

Los troqueles coaxiales son utilizados en lo que se refiere a producciones pequeñas o masivas en serie, pero teniendo en cuenta que el diseño deberá ser de tal forma que se extraiga automáticamente [11].

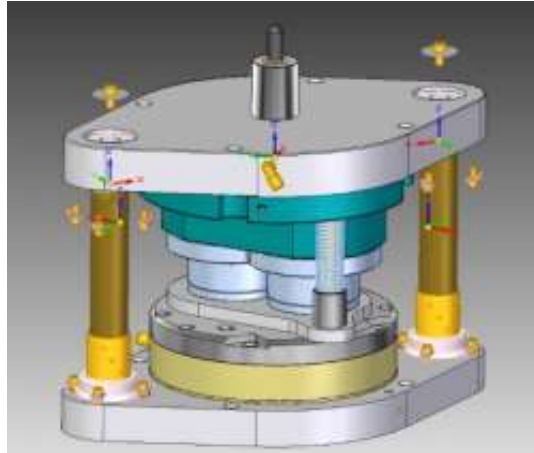


Figura 8: Troquel de doble efecto [11].

1.3.5.5. Troquel progresivo

Este tipo de troquel se llama progresivo puesto que la transformación o conformado de la chapa se da paso a paso hasta conseguir el producto deseado. El troquel progresivo se desarrolló para que se pueda producir gran cantidad de elementos “iguales”, de forma económica y rápida [11].

Un troquel para ser considerado como progresivo debe contener al menos dos operaciones, entre las cuales están: corte, doblado, embutido o formado. El elemento se va transformando con un ciclo del equipo o prensa, es decir, se manufactura una parte con cada “golpe” [11].

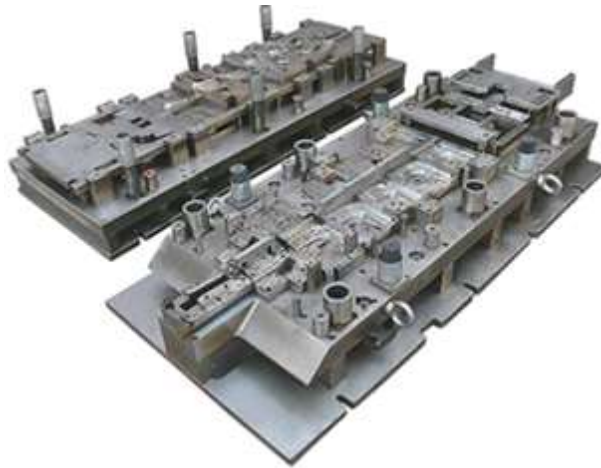


Figura 9: Troquel progresivo [11].

La mayor ventaja de los troqueles progresivos es que se puede conjugar el trabajo con varios equipos hasta que se consiga la automatización completa del proceso de manufactura del producto [11].

1.3.5.6. Proceso de punzonado

El punzonado es un proceso de corte de láminas o chapas, este trabajo por lo general se lo realiza en frío, por medio de un sistema mecánico conformado por dos instrumentos: el punzón y la matriz. La fuerza de compresión aplicada sobre el punzón exige a este penetrar en la lámina, creando inicialmente una deformación elastoplástica seguida del cizallamiento y fractura del material todo esto sucede debido a la rápida difusión de fisuras entre los bordes del punzón y la matriz. El proceso concluye con la expulsión del elemento cortado [12].

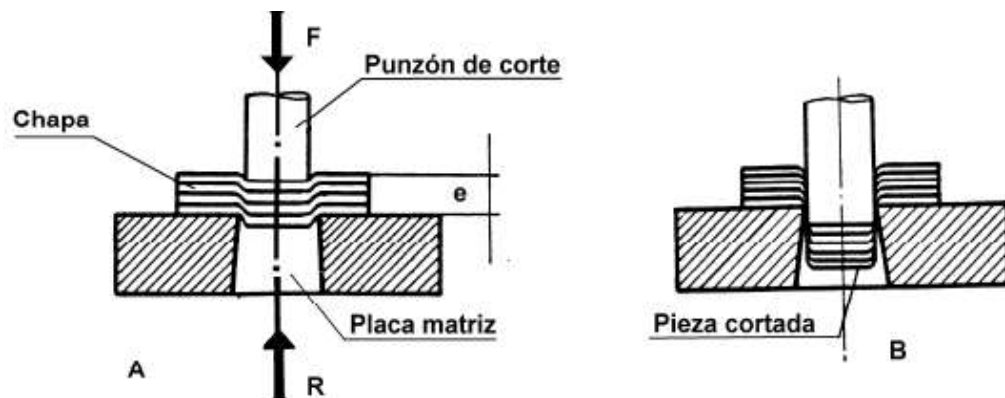


Figura 10: Esquema del proceso de punzonado [12].

1.3.6. Análisis del proceso de punzonado

1.3.6.1. Mecánica de corte

El proceso se lo realiza o tiende a cumplirse en 3 etapas:

Deformación: las fuerzas que el punzón produce en la lámina producen una deformación que inicialmente es elástica para seguir con la plástica, alrededor de las aristas del punzón y la matriz [12].

Penetración: los bordes del punzón y la matriz se impregnan en el material, produciendo fisuras y grietas en la chapa debido a las múltiples tensiones que se concentran alrededor de los filos de corte [12].

Fractura: las grietas que se producen al anverso y reverso de la chapa originan la separación del material. Por otro lado el punzón desciende hasta expulsar el elemento cortado, todo esto se logra gracias al juego de corte J, que permite al punzón ingresar a la matriz expulsando el material sobrante [12].

1.3.6.2. Elementos que intervienen en el proceso de punzonado

- **Punzón**

El punzón parte más importante de un troquel debido a que esta herramienta ejecuta el trabajo más relevante del proceso, herramienta generalmente de acero debido a que debe tener una alta resistencia al impacto y al desgaste; su forma puede variar entre cilíndrica o prismática. La zona de corte o cizalla puede tener diversas modificaciones dependiendo del uso o del trabajo que va a realizar [13].

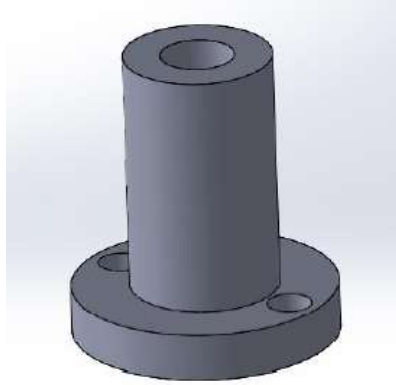


Figura 11: Punzón diseñado en un CAD [13].

- **Matriz**

Herramienta mecánica no autónoma capaz de conformar y cortar láminas metálicas dependiendo de la geometría delimitada por los demás elementos que lo conforman [13].

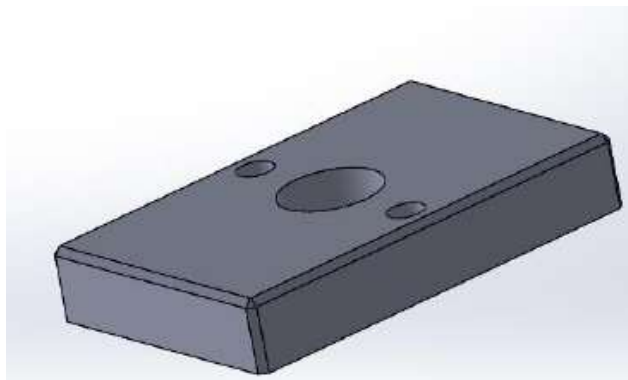


Figura 12: Matriz diseñada en un CAD [13].

1.3.7. Tipos y formas de punzones

1.3.7.1. Punzones con guía

Los punzones más empleados son con perno guía y se utilizan cuando es necesario cortar perfiles que tienen puntos de referencia por agujeros, mediante el cual el perno fácilmente pueda encajar en el agujero, la cabeza de los punzones generalmente es redondeadas, específicamente con un radio semejante a su diámetro [14].

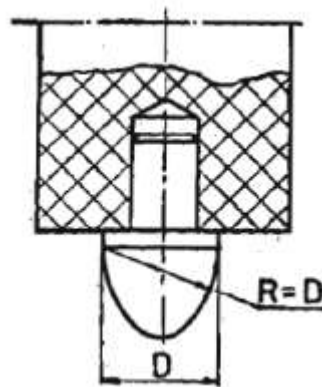


Figura 13: Punzón con perno guía [14].

1.3.7.2. Punzones especiales para agujerar

Herramientas relativamente sencillas empleados para perforar chapa metálica [14].

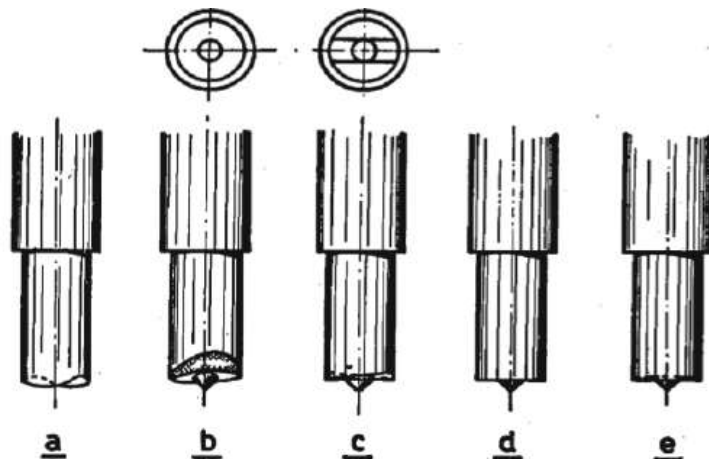
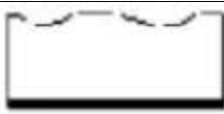

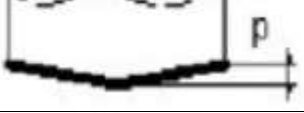
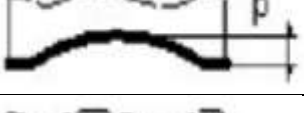
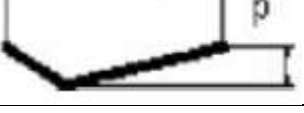


Figura 14: Punzones especiales [14].

Su forma es decir la inclinación de los filos cortantes puede variar dependiendo del material o es espesor de la lámina; además estos filos están diseñados específicamente para reducir en un cierto porcentaje la fuerza de corte [14].

Tabla 2. Fuerza de corte requerida según el tipo de afilado [14].

Tipo de afilado	Fuera de corte requerida	Geometría	Profundidad de inclinación
Estándar	100%		0
En ángulo o whisper	50%		3 mm
En V o rooftop	50%		3 mm
Cóncavo	67%		2 mm
Personalizado	77%		2,5 mm

1.3.7.3. Punzones de funcionamiento de tijera

La característica principal de estos punzones es su forma debido a que producen un trabajo de corte progresivo, trabajo que es comparado al de las fresas helicoidales durante el proceso de cepillado. Su principal objetivo es distribuir uniformemente la fuerza aplicada a lo largo de los filos de corte motivo por el cual se necesita una potencia menor [14].

Los dos factores a tomar en cuenta para la selección de un punzón son:

- Espesor de la lámina.
- Potencia de la prensa.

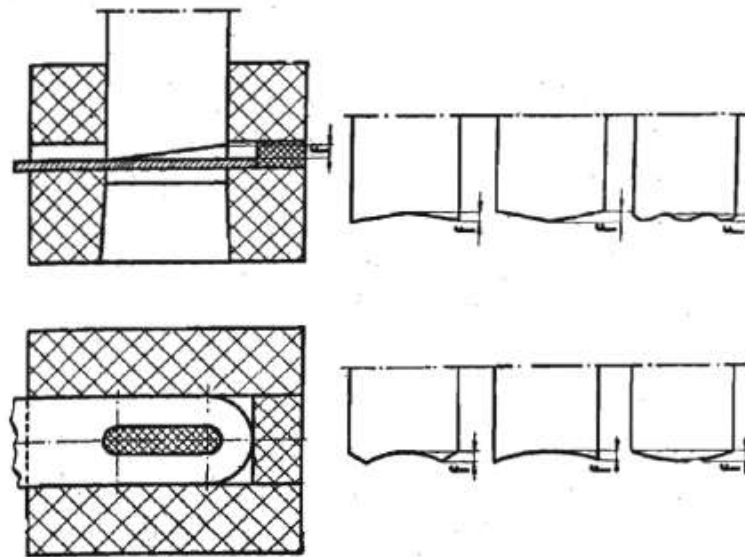


Figura 15: Representación de la inclinación de las esquinas [14].

El factor f , mostrado en la figura 15, expresa la inclinación de las esquinas, además este factor de puede modificar de una o dos veces dependiendo del espesor de la lámina [14].

1.3.8. Parámetros que intervienen en el proceso de punzonado

1.3.8.1. Fuerza efectiva

Para determinar la fuerza efectiva es necesario utilizar la siguiente ecuación, [15]:

$$F_{ef} = F_c + F_{ext} + F_{exp} \quad \text{Ec. 1}$$

En donde:

F_{ef} : Fuerza efectiva necesaria para realizar el trabajo [Ton].

F_c : Fuerza de corte [N].

F_{ext} : Fuerza de extracción del punzón [N].

F_{exp} : Fuerza de expulsión de la pieza [N].

1.3.8.2. Fuerza real

Esta fuerza toma en cuenta el rendimiento de la troqueladora por lo tanto es la fuerza con la que se va a realizar el trabajo de corte [15].

$$F_{real} = \frac{F_{ef}}{n} \quad \text{Ec. 2}$$

En donde:

Freal: Fuerza real [Ton].

Fef: Fuerza efectiva necesaria para realizar el trabajo [Ton].

n: Rendimiento de la máquina [%].

1.3.8.3.Fuerza de corte

Denominada también esfuerzo con el cual se pretende separar o desprender parte del material de una chapa o lamina [14].

$$F_c = K_c * p * e \quad \text{Ec. 3}$$

En donde:

F_c: Fuerza de corte [N].

K_c: Constante de corte – resistencia al corte, que depende del material [N/m²].

p: Perímetro de corte [mm].

e: Espesor del material a cortar [mm].

1.3.8.4.Fuerza de extracción de la herramienta (punzón)

Es el esfuerzo requerido para separar la herramienta de la chapa o lamina, una vez realizado el corte [14].

$$F_{ext} = F_c * x\% \quad \text{Ec. 4}$$

Siendo:

F_{ext}: Fuerza de extracción.

F_c: Fuerza de corte.

X%: Valor porcentual que depende de la configuración del corte.

1.3.8.5.Fuerza de expulsión

La adherencia que se produce por el rozamiento entre la ficha y el interior de la matriz representa un esfuerzo considerado fuerza de expulsión [14].

$$F_{\text{exp}} = F_c * 1,5\% \quad \text{Ec. 5}$$

En donde:

F_{exp} : Fuerza de expulsión [N]

F_c : Fuerza de corte [N]

1.3.8.6. Juego entre el punzón y la matriz

Para que el proceso de corte tenga una calidad aceptable es necesario ajustar el punzón con un juego determinado, este juego depende de dos factores primordiales, que son: la calidad del material y el espesor de la lámina o chapa [16].

De esta manera el valor de juego se lo puede conseguir en tablas o a su vez aplicando las siguientes formulas, [16]:

Acero duce – latón	$j = \frac{e}{20}$	Ec. 6
--------------------	--------------------	-------

Acero semiduro	$j = \frac{e}{16}$	Ec. 7
----------------	--------------------	-------

Acero duro	$j = \frac{e}{14}$	Ec. 8
------------	--------------------	-------

En donde:

j: Juego total [mm].

Por lo tanto, el valor entre la matriz y e punzón será el de $j/2$ [16].

Si el juego empleado en el proceso es demasiado bajo puede perjudicar la calidad de los bordes además se producen efectos negativos con respecto al desgaste de la herramienta y la energía empleada. Por el contrario, si se aplica un juego es excesivo la probabilidad de que aparezca una deformación plástica es alta, por lo tanto la rebaba producida tendrá un tamaño mayor, pero se logra aumentar la vida útil de la herramienta de corte [16].



Figura 16: Representación gráfica del juego [17].

Cuando el material no corresponde a algún tipo de acero el juego entre el punzón y la matriz los valores pueden variar entre un 5% y 13% del espesor de la lámina o chapa. [18]

1.3.9. Método de Elementos Finitos (MEF)

Este método es un proceso conocido como discretización de problemas o circunstancias continuas para obtener la solución más aproximada a las condiciones reales de los mismos [19]. Por tal motivo trabaja de la siguiente manera:

- Los problemas son fragmentados o divididos en un número finito de elementos (partes), comportamiento que está regulado o controlado por ciertos parámetros.
- La solución completa del problema analizado sigue estrictamente las reglas que se aplican a los elementos discretos [19].

El propósito de este método es encontrar una relación entre las fuerzas aplicadas y las deformaciones producidas. Tomando en cuenta lo siguiente:

1. Divide el sólido en finitas partes, con el fin de encontrar funciones aptas para aproximar el resultado [19].
2. Se aplica 3 ecuaciones fundamentales para encontrar los desplazamientos en cada nodo que compone el elemento [19].

- Ecuación de equilibrio:

$$\sigma_{ij,j} + x_i = 0 \quad \text{Ec. 9}$$

- Ecuación de compatibilidad:

$$\varepsilon_{i,j} = \frac{1}{2}(u_{ij} + u_{ji}) \quad \text{Ec. 10}$$

- Ley de comportamiento:

$$\sigma_{ij} = \gamma \vartheta \delta_{ij} + 2G \cdot \varepsilon_{i,j} \quad \text{Ec. 11}$$

3. Resuelve el sistema de ecuaciones con el objetivo de hallar los desplazamientos y reacciones, en lo que se obtiene:

$$\{F\} = [K]\{u\} \quad \text{Ec. 12}$$

Dónde:

F: Fuerza.

u: desplazamiento.

k: matriz de rigidez.

4. Por último, se obtiene las deformaciones ε y las tensiones σ [19].

1.3.9.1. Mallado del sistema

El mallado del sistema consiste específicamente en discretizar en un número finito de elementos pequeños los objetos previamente diseñados, los cálculos que realiza el sistema es elemento por elemento y la resolución final está dado por todo el conjunto; por lo tanto, el mallado es la parte primordial de todo análisis. [20]

El mallado de los objetos que intervienen en el análisis resulta prescindible puesto que asegura que los resultados obtenidos van a estar acorde y cercanos a la realidad.

En elementos finitos para el mallado de los objetos se cuenta con varios métodos de discretización los cuales van a depender del tipo de modelo que se pretenda analizar, estos pueden ser unidimensionales, bidimensionales o tridimensionales. [21]

Para realizar el mallado se debe tomar en cuenta todos los factores de la geometría del modelo debido a que si las geometrías generadas son complejas el gasto computacional va hacer muy elevado, por esta razón es necesario llegar a una

convergencia de malla en donde los recursos y la solución del análisis conlleven a un resultado confiable [22]. Algunos de los criterios de convergencia son:

- **Element Quality – Calidad del elemento**

Método que provee de una métrica para valorar la calidad del mallado en un rango de 0 y 1. El valor 1 hace referencia a un mallado perfecto mientras que el valor 0 da muestra de que el mallado por ende los elementos tienen volúmenes negativos o ceros.

- **Relación de aspecto – Aspect Ratio**

Este método calcula la relación de aspecto considerando únicamente los nodos de esquina del elemento ya sea este un triángulo o cuadrado.

- **Proporción Jacobiana – Jacobian Ratio**

Método que calcula y prueba todos los elementos sin considerar triángulos y los tetraedros. A través del método de elementos finitos es posible resolver los siguientes tipos de elementos:

Elementos lineales en 1 dimensión

Los modelos que pueden ser estudiados y analizados en 1 dimensión son:

- Barras
- Caños
- Vigas
- Resortes



Figura 17: Elemento tipo resorte [23].

1.3.9.2.Elementos planos en 2D

Los elementos más comunes que se pueden representar mediante un elemento de dos dimensiones son:

- Placas
- Membranas

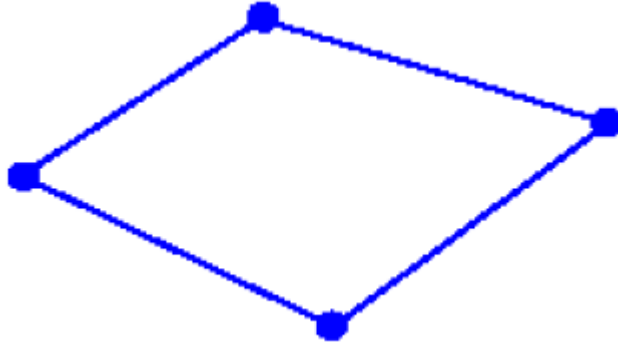


Figura 18: Elemento tipo 2D [23].

1.3.9.3.Elementos sólidos o en 3 D

Estos elementos resultan de la combinación de los demás elementos de forma que actúan en conjunto como se muestra en la figura 19 [23].

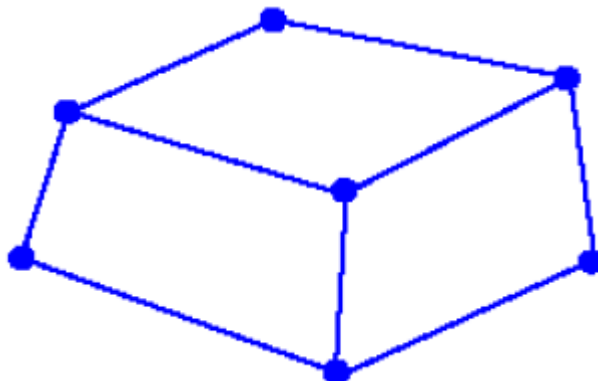


Figura 19: Elemento tipo resorte [23].

1.3.9.4.Proceso para el análisis por M.E.F

Existen varios procesos dentro de los cuales se tiene:

- **Modelo geométrico**

Se trata de crear el modelo, ensamble o sólido de forma exacta [24].

- **Modelar mediante el uso de Elementos Finitos**

Se subdivide el ensamble o la geometría en varias piezas para asignarles su respectivo material para su posterior discretización de la geometría en un número finito de elementos [24].

- **Precisar el ambiente de trabajo**

Se trata de aplicar todas las condiciones del proceso que pueden ser carga, velocidad, y restricciones o condiciones de frontera para que al simular el ambiente que simular al real [24].

- **Análisis del sistema**

Mediante el procesador del computador se da solución y se analiza los resultados de los elementos lógicamente va a depender del tipo de análisis que se realicen los más utilizados son: estáticos, dinámicos y de transferencia de calor [24].

- **Comparación de los resultados**

Una vez concluido el análisis se realiza una comparación de los resultados con los parámetros de diseño y del proceso, para luego si es necesario rediseñar todo el proceso y volver a analizar por elementos finitos [24].

Actualmente el estudio y la aplicación del método de elementos finitos va en aumento debido a su alto porcentaje de confiabilidad además por que mediante su uso se pueden realizar un sin número estudios, utilizando solamente un software especializado y un excelente hardware para que los datos se puedan almacenar con facilidad. Todo esto debe ser respaldado con un amplio conocimiento de los procesos y datos que se pueden obtener aplicando el método de elementos finitos para poder discernir entre unos resultados coherentes de unos irracionales [25].

1.3.10. Teoría de Von Mises

En ingeniería estructural y diseño de elementos se utiliza este factor como teoría de fallo como indicador de que el diseño es aceptable, su aplicación se centra únicamente en materiales dúctiles. La teoría se basa en que un material sufrirá una falla elástica n el momento que sobrepase el valor del S_y (límite de fluencia) de un material dúctil. La manera óptima de saber si un diseño es aceptable es determinando el factor de seguridad en base a la siguiente formula: [26]

$$FS = \frac{\sigma_c}{S_y} \quad \text{Ec. 13}$$

1.3.11. Esfuerzo cortante

El esfuerzo cortante se da en base a la acción de fuerzas perpendiculares a una sección determinada y conocida como esfuerzo interno de las tensiones paralelas a la sección transversal. De esta manera se concluye que si el esfuerzo cortante es alto las deformaciones son mayores y pueden producir el fallo completo del material. [26]

1.3.12. Factor de Delaminación

El fenómeno de delaminación consiste en separar por capas o laminas un material compuesto por la aplicación de diversas fuerzas, se produce cuando el empuje o la fuerza de presión vencen la unión interna del material compuesto formada específicamente por fibras. Este fenómeno es apreciable en zonas visibles ya sean internas o externas pero las internas resultan casi imposibles apreciar a simple vista por lo que es necesario el uso de herramientas digitales o diferentes ensayos. En la mayoría de ocasiones se utilizan microscopios electrónicos con el fin de determinar el grado de deslaminación del material [27].

La delaminación no es más que el agrietamiento que se produce en un material al estar expuesto a una herramienta de corte debido a que presiona la matriz y el

refuerzo hasta que se dé la forma deseada. De esta manera se da la deslaminación en la zona donde se pierde la unión estructural del material compuesto [28].

Los procesos de perforación están en la última etapa de un proceso de manufactura, para su posterior ensamble con otras partes y piezas, por esta razón es estudio de la deslaminación es sumamente primordial para determinar la zona de afectación que presenta durante el maquinado o perforación [29].

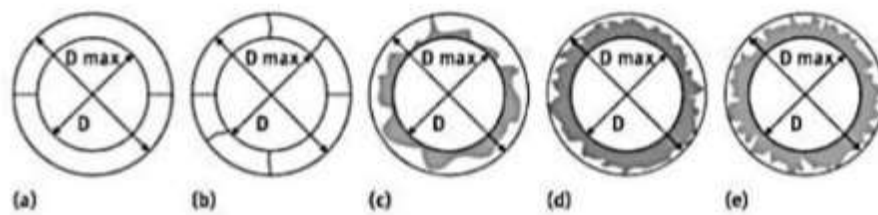


Figura 20: Factor delaminación [29].

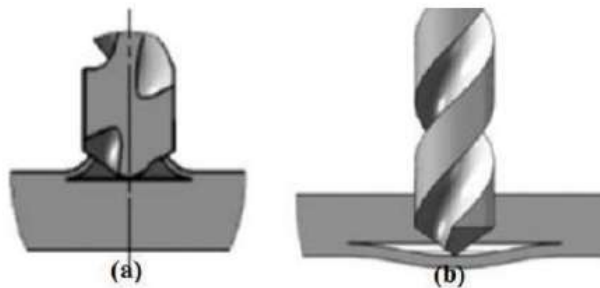


Figura 21: Entrada y salida en el proceso de perforación [30].

$$Fd = \frac{D_{max}}{D} \quad \text{Ec.}$$

Dónde:

- $D_{m\acute{a}x}$ = Diámetro máxima de la zona afectada por el proceso de manufactura.
- D = Diámetro nominal de la broca o punzón.

El factor de delaminación se puede utilizar para determinar y verificar las zonas afectadas del material por el proceso de perforación tanto a la entrada como a la salida del herramental, usando varios métodos como el visual y el avanzado [30].

a) Método visual

Para la aplicación de este método es necesario el uso de un microscopio y un instrumento muy sensible de medición. Se requiere de una amplia destreza para su correcta aplicación. Se utilizan diversos aumentos con los cuales es posible determinar el diámetro máximo de la zona afectada por la delaminación. Por otro lado el análisis por tintas penetrantes permite evaluar la zona afectada por la delaminación [29].

b) Análisis de imágenes

Para el análisis de imágenes se requiere de un escáner digital o de una cámara con el objetivo de evaluar la zona afectada, posteriormente la imagen es cargada en un software en donde es posible manipular la misma con el fin de tener la mejor resolución de la imagen y además cuantificar de manera cuasi exacta la zona deseada [28].

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un punzón para corte-troquelado de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras naturales.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el material y los parámetros necesarios para el dimensionamiento adecuado de los punzones.
- Realizar modelos en CAD tomando en consideración principalmente la forma de la zona de corte del punzón.
- Simular y evaluar el desempeño de cada modelo de punzón planteado en CAE.
- Escoger el modelo apto y propicio con el cual se pueda realizar el trabajo de corte-troquelado del material compuesto.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.3. Materiales

2.3.1. Características de las resinas

2.3.1.1. Resina Epoxi

La resina epoxi generalmente se forman a partir de la reacción química de epiclorohidrina con fenoles específicamente bisfenol tipo A, a una temperatura que puede estar entre los 50° y 80° C, siendo indispensable que no entre en contacto con el agua [31].

Esta resina es sumamente utilizada por su versatilidad, su alta resistencia a la corrosión y sus excelentes propiedades mecánicas. Esto siempre va a depender de los elementos empleados además de las condiciones de fabricación como lo es la temperatura o el tiempo de curado [31].

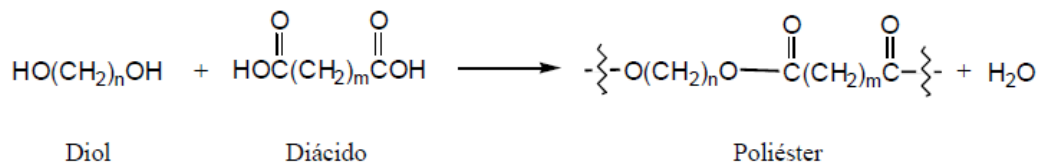
Su aplicación es muy diversa puesto que además de ser utilizada como fabricación de materiales compuestos es empleada en otros ámbitos como: aglutinante de pintura, preparación de masillas, sellados anticorrosivos y adhesivos. Las principales propiedades se muestran en la tabla 3 [31].

Tabla 3. Propiedades de la resina epoxi [31], [32], [33]

Propiedades	Valores	Unidades de medida
Densidad	1,1 – 1,4	g/cm ³
Módulo de Young	3 – 6	GPa
Relación de Poisson	0,38 – 0,4	-
Resistencia mecánica a la tracción	35 - 100	MPa
Resistencia mecánica a la compresión	100 - 200	MPa
Alargamiento de rotura	1 - 6	%
Conductividad térmica	0,1	W m ⁻¹ °C ⁻¹
Coefficiente de dilatación térmica	60	10 ⁻⁶ °C ⁻¹

Resina Poliéster insaturada

Este tipo de resina es producto de la reacción química entre un di-ácido y un diol, mediante la cual se puede obtener diversos tipos de poliéster como: poliéster saturado, plastificante, textil o insaturado [34].

**Figura 22:** Reacción química entre el Diol y Diácido [34].

Esta resina a más de tener la propiedad de curarse a temperatura ambiente posee grandes propiedades mecánicas, debido a esto se la utiliza en diversas industrias como por ejemplo para la fabricación de cascos de botes, electrodomésticos, automóviles, paneles de construcción, entre otras [34].

Los materiales que pueden ser utilizados como refuerzo en este tipo de matriz son fibras sintéticas y/o naturales independientemente de las características técnicas de estas fibras. Las características o propiedades más importantes se pueden apreciar en la tabla 4. [34].

Tabla 4. Propiedades de la resina poliéster [34], [35].

Propiedades	Valores	Unidades de medida
Densidad	1,2 – 1,5	g/cm ³
Módulo de Young	2 - 4,5	GPa
Relación de Poisson	0,37 – 0,39	-
Resistencia mecánica a la tracción	40 - 90	MPa
Resistencia mecánica a la compresión	90 - 250	MPa
Alargamiento de rotura	2	%
Conductividad térmica	0,2	W m ⁻¹ °C ⁻¹
Coefficiente de dilatación térmica	100 - 200	10 ⁻⁶ °C ⁻¹

2.3.2. Características de las fibras naturales

Se consideran fibras naturales a todas aquellas que pueden ser de origen animal, vegetal o mineral que tienden a tener una estructura filamentosas además de poseer buenas y excelentes características físicas y químicas. Su aplicación viene desde la existencia misma de la humanidad, empleándolos para la elaboración de tejidos e hilos [36].

Las fibras naturales hoy en día están recuperando el campo que le arrebató la aparición de las fibras sintéticas y el plástico, esto debido a sus ventajas con respecto a la sostenibilidad y porque resulta amigable con el medio ambiente. A nivel mundial la demanda tanto como el uso de fibras naturales es superior con respecto a las fibras sintéticas principalmente porque estudios demuestran que las fibras sintéticas tardan en alrededor de 500 años en degradarse [36].

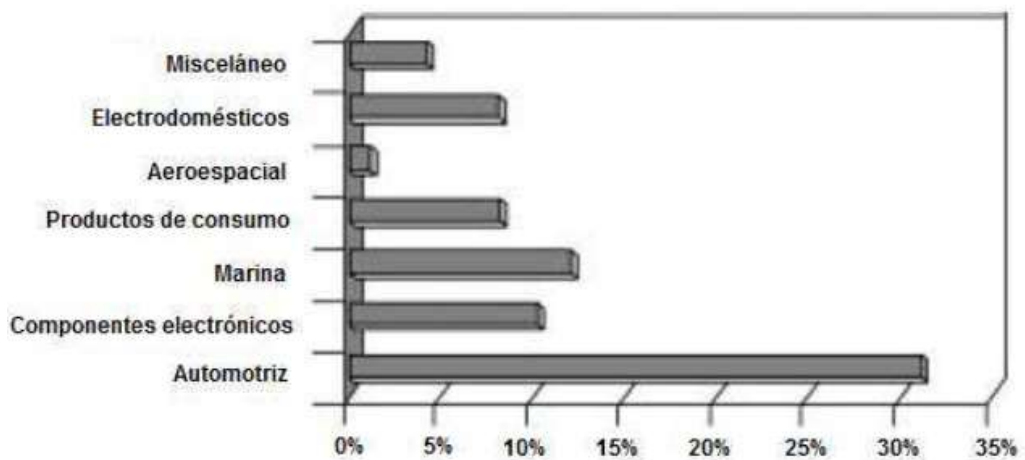


Figura 23: Industrias que utilizan materiales compuestos [36].

2.1.2.1.Fibra de cabuya

La cabuya (*Furcraea Andina*) planta procedente del Ecuador, se la encuentra generalmente en la región sierra utilizado normalmente como linderos. La altura que llega a alcanzar la parte vegetativa de la cabuya es de aproximadamente de 1,5 metros por otro lado la parte la estructura reproductora ronda una altura aproximada de 15 metros. Esta planta crece de forma silvestre, aunque hoy en día se la cultiva para la elaboración de fibra [36].



Figura 24: Planta de cabuya y su fibra [36].

- **Propiedades**

La fibra de cabuya es liviana puesto que tiene una densidad de $1,3 \text{ g/cm}^3$ además de ofrecer una excelente resistencia mecánica, esta resistencia obedece a sus propiedades mecánicas, que se observa en la tabla 5 [36].

Tabla 5. Propiedades de la fibra de cabuya [36].

Propiedades	Valor	Unidades
Densidad	1,3	g/cm^3
Resistencia a la tracción	305,15	MPa
Módulo de elasticidad	7,5	GPa
Elongación a la fractura	4,96	%
Absorción de la humedad	...	%

Las propiedades físicas se pueden observar en la tabla 6.

Tabla 6. Características físicas de la fibra de cabuya [36].

Característica	Valor
Longitud	80 a 120 cm
Color	Habano
Brillo	Opaco
Textura	Dura
Absorción calor	Superficial
Absorción humedad	Mala
Punto de fusión	No se funde
Resistencia a la luz del sol	Regular
Efecto oxidante	Variable

2.3.2.1.Fibra de abacá

El abacá denominado cáñamo de manila es una planta familia de las Musáceas. Tiene un aspecto muy similar al banano pero en cuantos a propiedades se habla son muy diferentes. Esta planta se cultiva en zonas con características especiales es decir donde el calor y la humedad prevalezcan durante todo el año [37].



Figura 25: Fibra de abacá [37].

La principal característica de esta planta es que es resistente al agua salada, por tal razón se utiliza para la elaboración de redes de pesca. Adicionalmente se utiliza en diversas industrias por sus cualidades de dureza, flexibilidad y excelentes propiedades mecánicas como se observa en la tabla 7 [37].

Tabla 7. Propiedades de la fibra de abacá [37].

Propiedades	Valor	Unidades
Densidad	1,3	g/cm ³
Resistencia a la tracción	774,7-1261,3	MPa
Módulo de elasticidad	18,5-37,2	GPa
Absorción de agua	8-10	%
Deformación unitaria	3,10-4,27	%

2.3.2.2.Fibra de yute

La fibra de yute es extraída del tallo de la planta de yute específicamente del blanco, aunque en pocas cantidades del yute rojo. Esta fibra es conocida como fibra dorada debido a su peculiar brillo sedoso dorado [38].

La característica fundamental del yute es su posibilidad de ser utilizado por si sola o mezclada con diversas fibras o matrices [38].



Figura 26: Planta de yute (izquierda) - fibra de yute (derecha) [38].

Poseen una gran resistencia a la tensión por tal motivo se utiliza para diversos trabajos principalmente para la pesca y transporte de productos, el porcentaje de

humedad es alto en comparación con otras fibras, las principales propiedades se muestran en la tabla 8 [38].

Tabla 8. Propiedades de la fibra de yute [38].

Propiedades	Valor	Unidades
Densidad	1,3	g/cm ³
Resistencia a la tracción	393 – 773	MPa
Módulo de elasticidad	26,5	GPa
Absorción de agua	12	%
Elongación Fractura	1,5 – 1,8	%

2.3.3. Material del punzón

2.3.3.1. Acero ARNE-DF2- AISI 01- DIN 1.2510

Es un acero conformado por manganeso, tungsteno y cromo, material versátil y templable en aceite. Es sumamente utilizado en las industrias principalmente cuando de trabajos en frío se trata [39]. Entre las propiedades que más sobresalen están:

- Buena maquinabilidad.
- La estructura se mantiene estable en el temple.
- Posee una gran dureza superficial después del temple.

Combinadas estas características conforman un acero ideal para la elaboración de herramientas de gran duración, por esta razón se obtiene una alta rentabilidad en la industria [39].

Aplicación en herramientas para corte:

- Cizallado
- Troquelado
- Tronzado
- Desbarbado
- Punzonado

Aplicación en herramientas para conformado:

- Doblar
- Acuñar
- Embutición profunda
- Puntos de torno

2.3.3.2. Propiedades

Características a temperatura ambiente

Tabla 9. Propiedades del acero ARNE DF2 [39].

Características	Valores		
	20°C	200°C	400°C
Temperatura	20°C	200°C	400°C
Densidad kg/m ³	7800	7750	7700
Módulo de elasticidad N/mm ²	190000	185000	170000
Coef. De dilatación térmica	-	11,7 x 10 ⁴	11,4 x 10 ⁴
Conductibilidad térmica W/m°C	32	33	34
Calor específico J/Kg°C	460	-	-

2.3.4. Material de la matriz

2.3.4.1. Acero AISI /SAE 1010

Es un acero de bajo carbono puesto que posee menos de 0,255 de carbono en su composición química. Su microestructura está conformada por ferrita y perlita, de aquí viene su baja resistencia a la fluencia, por otro lado, posee una excelente tenacidad y ductilidad, acero de fácil soldabilidad por lo que se puede unir con cualquier proceso de soldadura, y su principal característica es que es de fácil mecanizado [40], [41].

Propiedades físicas

Tabla 10. Propiedades físicas del acero AISI 1010 [42].

Propiedades	Valor	Unidades
Densidad	7,87	g/cm ³
Dureza	95	HB
Esfuerzo de fluencia	180	MPa
Esfuerzo máximo	325	MPa
Elongación máxima	28	%
Reducción de área	50	%
Módulo de elasticidad	200	GPa
Maquinabilidad	55	%

2.4. Métodos

2.4.1. Diseño de experimentos – DOE

El diseño de experimentos tiene como objetivo el análisis de variables que intervienen en un proceso con el fin de realizar cambios deliberados en estas variables de manera que resulta apto para realizar una mejora y optimización de procesos, generalmente este tipo de análisis se lo realiza para la solución de problemas [43].

El DOE resulta muy efectivo en aquellos procesos en donde intervienen varios factores y por ello se ven afectados. Esta técnica estadística es ideal cuando se trata de mejorar el rendimiento de un proceso como para reducir costos de producción o variabilidad [44].

En el presente proyecto técnico se seleccionó el software “Minitab” para el análisis y procesamiento de los datos obtenidos tanto en la simulación como en los ensayos realizados, para lo cual se manejó un diseño factorial completo, con la información de los factores y niveles que se encuentra en la tabla 11.

Tabla 11: Información de los factores y niveles

FACTORES	NIVELES			
	1	2	3	4
Material	DF2 - DIN 1.2510	-	-	-
Forma del punzón	Recto	W	Doble cizalla a 20°	Cizalla a 30°
Matriz	Epoxi	Poliéster	-	-
Tipo de fibra	Abacá	Cabuya	Yute	-

2.4.2. Nivel de investigación

En el presente proyecto técnico intervienen varios parámetros como fuerzas, velocidades, deformaciones y esfuerzos que necesariamente deben ser controlados o modificados con el propósito de obtener datos confiables para posteriormente realizar un análisis de estos resultados, acudiendo al uso de los niveles de investigación como son:

2.4.2.1. Bibliográfico

Este método resulta ser el más importante, debido a que es necesario la revisión y el uso de fuentes bibliográficas como: tesis, revistas, artículos, libros e informes actualizados que aportan al desarrollo ideal de dicho proyecto.

2.4.2.2. Descriptivo

El empleo de este método se da debido a que es necesario realizar un recuento de todo lo elaborado en este proyecto comenzando desde el diseño y simulación del punzón en softwares especializados, realización de pruebas reales ajustadas a los parámetros utilizados en la simulación y la por último la presentación y análisis de los resultados obtenidos.

2.4.2.3. Experimental

Método empírico cuyo principal objetivo es favorecer el análisis de los objetos en estudio, estudio que se lo realiza en condiciones o parámetros determinados, es decir controlados y modificados con el fin de llegar a la comprobación de un modelo, teoría, o hipótesis.

2.4.2.4. Relacional

En el presente proyecto intervienen diversos factores o variables los cuales están relacionados, por lo cual se realizará un análisis para comprobar la influencia o no de estos factores en el resultado final.

2.4.3. Población y muestra

2.4.3.1. Población

Son probetas de material compuesto cuyas dimensiones de las probetas serán de 250 x 25 x 4 mm, probetas que serán sometidas al proceso de punzando, con el objetivo de recolectar información y características del comportamiento del material compuesto.

2.4.3.2. Muestra poblacional

La muestra planteada para los ensayos es de 80 probetas, 20 por cada configuración o material compuesto, de manera que cada probeta será sometida al proceso de punzonado; como se detalla en la siguiente tabla 12.

Tabla 12. Ensayos a realizar.

Numero de configuración	Material	N°- de probetas	N°- de cortes	Total
1	Resina epoxi – fibra de abacá	4	5	20
2	Resina epoxi – fibra de cabuya	4		20
3	Resina epoxi – fibra de yute	4		20
4	Resina poliéster – fibra de abacá	4		20
5	Resina poliéster – fibra de cabuya	4		20
6	Resina poliéster – fibra de yute	4		20
TOTAL		24	5	120

2.5. Hipótesis

Ho: La configuración del punzón es decir el tipo de afilado o de cizalla no influye en el proceso del corte del material compuesto.

Ha: La configuración del punzón es decir el tipo de afilado o de cizalla influye en el proceso del corte del material compuesto.

2.6. Señalamiento de variables de la hipótesis

2.6.1. Variable independiente

La configuración del punzón es decir el tipo de afilado o de cizalla.

2.6.2. Variable dependiente

El corte del material compuesto.

2.6.3. Término de relación

Influye

2.6.3.1.Operacionalización de variables

2.6.3.2.Variable independiente

Variable Independiente: El diseño y la configuración del punzón es decir el tipo de afilado de la cizalla.

Tabla 13: Variable independiente

Definición	Categoría	Indicadores	Items	Herramientas
<p>Los punzones pueden tener diversas configuraciones dependiendo del tipo de trabajo y/o material que se pretenda cortar. De aquí que pueden variar su forma, pero principalmente el tipo de afilado que presentan.</p>	<p>herramienta de corte (punzonado)</p>	Tamaño	<p>Longitud de 70 mm. Diámetro de 12,7 mm (1/2").</p>	<p>Bibliografía Fichas Observación</p>
		Tipo de afilado	<p>Recto En W Doble cizalla a 20° En ángulo a 30°</p>	

2.6.3.3. Variable dependiente

Variable Dependiente: La deformación y esfuerzo máximo que presentará la placa.

Tabla 14: Variable dependiente

Definición	Categoría	Indicadores	Ítems	Herramientas
El comportamiento y/o propiedades mecánicas que presenta un material al ser sometido a fuerzas externas varía en gran manera ya sea en su estructura interna como en la zona superficial.	Deformación total.	Deformación mínima de la placa	¿Qué punzón genera menor deformación total?	<ul style="list-style-type: none"> - Bibliografía. - Simulaciones - Ensayos - Observación. - Fichas de recolección de datos - Microscopio electrónico
	Esfuerzo de Von Mises	Esfuerzo mínimo en la punzón	¿Qué punzón posee el menor esfuerzo?	
	Esfuerzo de corte	Esfuerzo mínimo en la placa	¿Qué punzón genera el menor esfuerzo en la placa?	
	Calidad de corte del material	Deslaminación del material	Grado de deslaminación	

2.7. Recolección de información

La recolección de datos se lo llevo a cabo en 2 instancias, en la primera se efectuó la recolección de información en base a fuentes bibliográficas mediante lo cual se logra obtener parámetros y lineamientos óptimos para un correcto desarrollo del proyecto, mientras tanto en la segunda etapa se realiza el diseño de la herramienta de corte juntamente con la simulación del proceso, se selecciona la herramienta más adecuada que cumpla ciertas consideraciones para su posterior fabricación y realización de pruebas reales, para todo esto se llevó un registro para el posterior análisis de los datos obtenidos. En la siguiente tabla se presenta las técnicas antes mencionadas.

Tabla 15. Información del proyecto.

¿Qué?	Diseño y selección de un punzón para el corte – troquelado de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras naturales.
¿Para qué?	Obtención de información referente a la calidad del agujero y los tipos de fallas que se presenta en el material compuesto.
¿Quién?	El proyecto técnico será elaborado por el estudiante investigador (Lucas Acosta).
¿A quién?	El trabajo de punzonado se lo realizará a probetas elaboradas.
¿Cómo?	Mediante el uso de una guía y además con los parámetros utilizados en el proceso.
¿Con qué?	Para la obtención de los datos se requiere el uso de fichas técnicas, bibliografía referente al proceso y al tema en mención.
¿Cuándo?	Realizado en el periodo 2020 - 2021
¿Cuántas veces?	En la investigación se efectúan ensayos de punzonado un total de 120 ensayos según se indica en la tabla 12
¿Dónde?	La recolección de datos e información se lo realizó en el taller “ INGENIERÍA DEL ACERO & MATRICERÍA “

2.7.1. Procedimiento

2.7.1.1. Estratificación del material

Los materiales compuestos que se utilizan para el desarrollo de este proyecto tienen la siguiente configuración:

1. Composición volumétrica del 70 % de matriz (resina epoxi) y 30 % de refuerzo (fibra de abacá).
2. Composición volumétrica del 70 % de matriz (resina epoxi) y 30 % de refuerzo (fibra de cabuya).
3. Composición volumétrica del 70 % de matriz (resina epoxi) y 30 % de refuerzo (fibra de yute).
4. Composición volumétrica del 70 % de matriz (resina poliéster) y 30 % de refuerzo (fibra de abacá).

5. Composición volumétrica del 70 % de matriz (resina poliéster) y 30 % de refuerzo (fibra de abacá).
6. Composición volumétrica del 70 % de matriz (resina poliéster) y 30 % de refuerzo (fibra de yute).

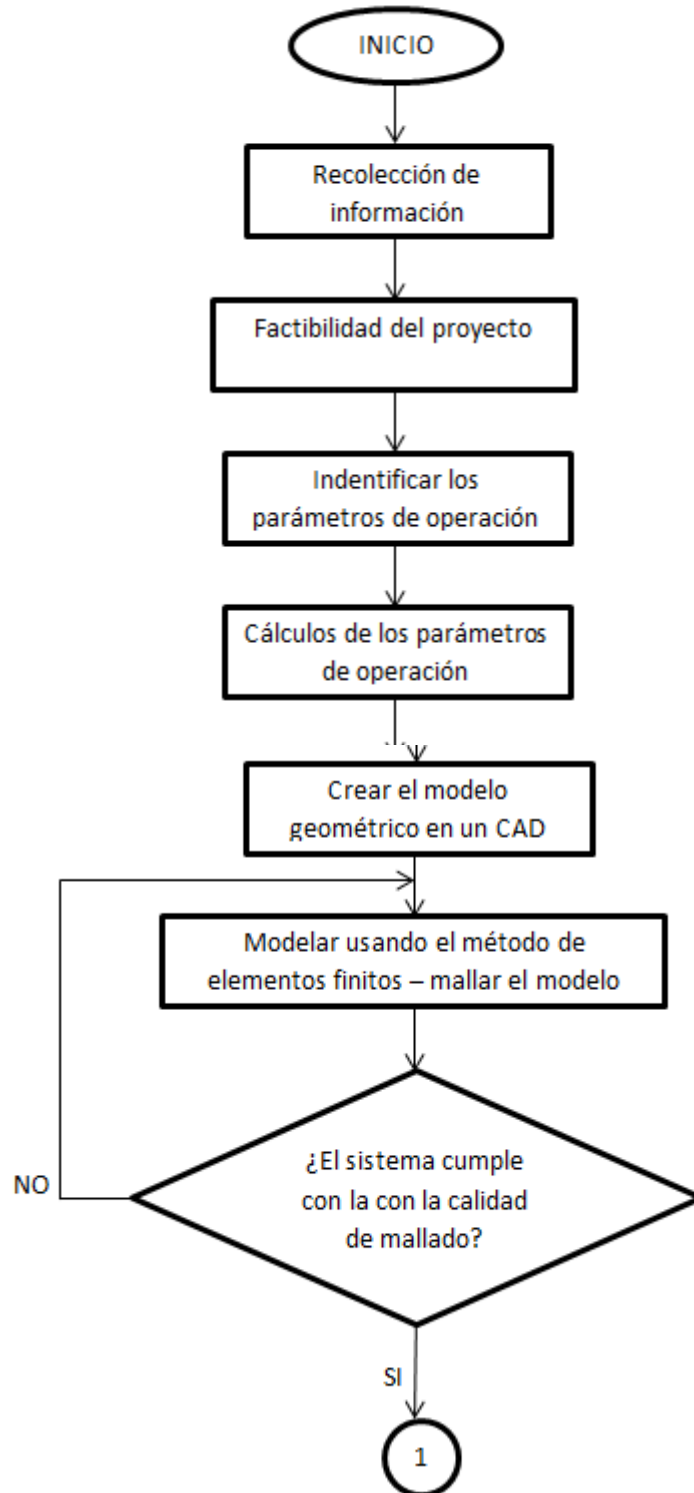
2.8. Plan de procesamiento y análisis

Para el correcto desarrollo del proyecto técnico se efectuó una previa investigación sobre proceso de punzonado en materiales compuestos, así mismo el tipo de afilado o de configuración de los punzones, que resultan propicios para realizar este tipo de proceso.

Al ejecutar las simulaciones y ensayos experimentales, se recolectaron datos que se registraron principalmente en tablas, fichas y además se anexaron gráficos del proceso, posteriormente se procedió al análisis de los resultados obtenidos. Por último, se comprobó la hipótesis en base el uso del método estadístico.

En la Figura 27, se especifica mediante un diagrama de flujo todo el proceso efectuado para la recolección de información, diseño, simulación, ensayos experimentales, análisis de los resultados y la comprobación de la hipótesis.

2.8.1. Flujograma del proceso de diseño y simulación



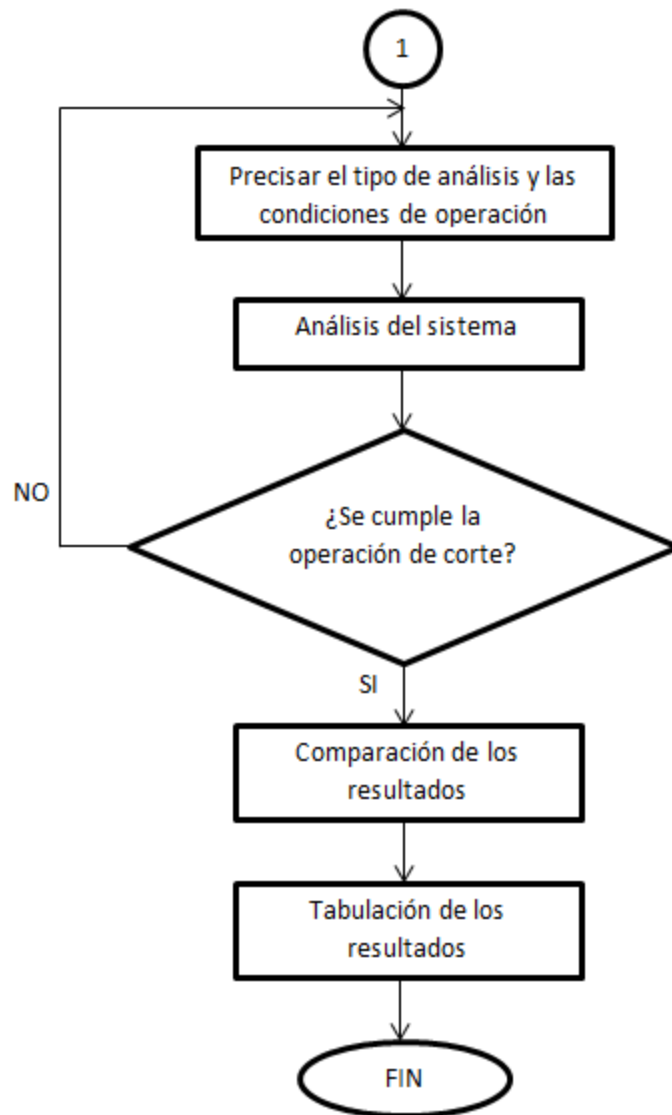
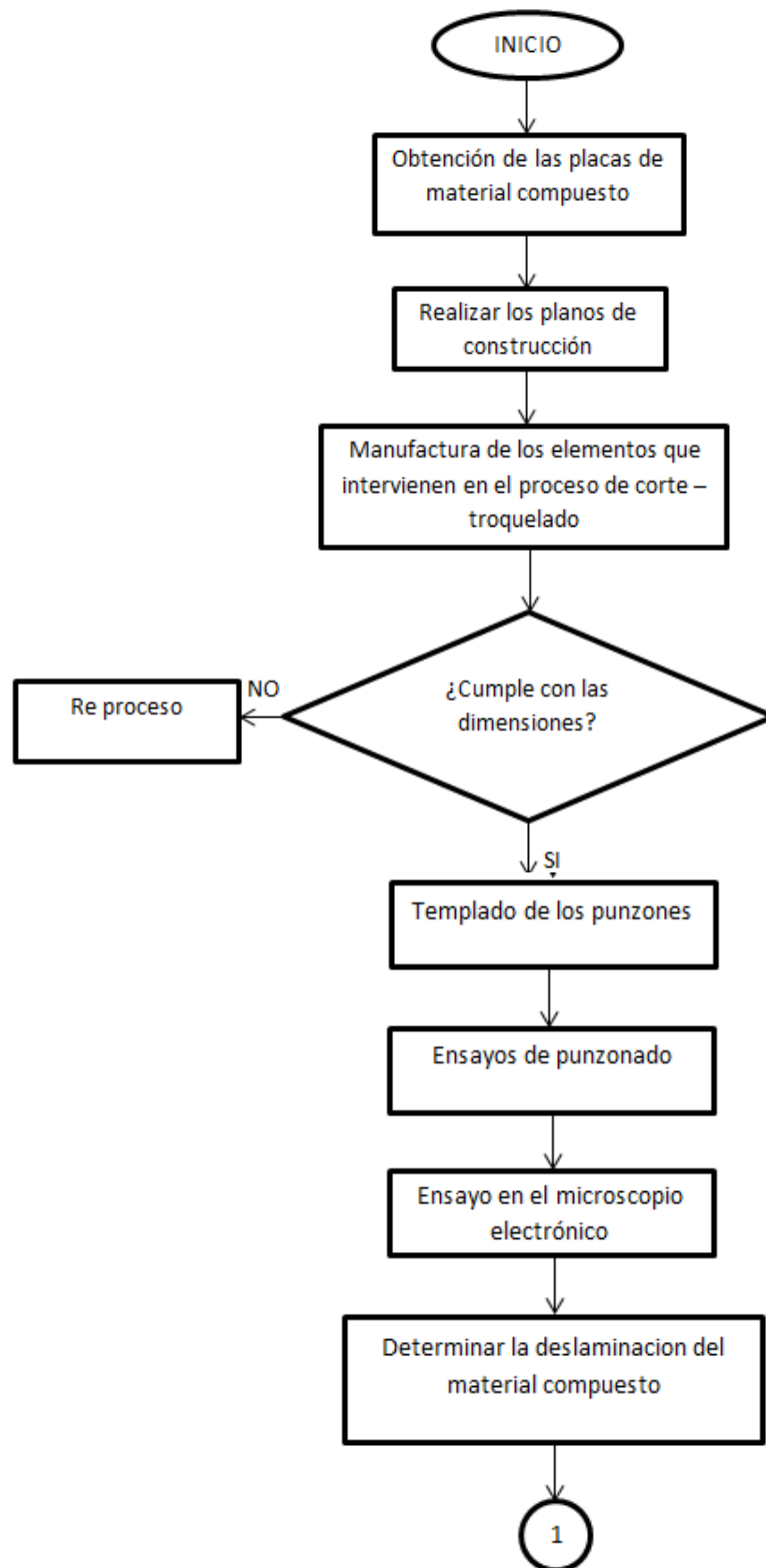


Figura 27: Flujoograma de diseño.

2.8.2. Flujograma del ensayo experimental



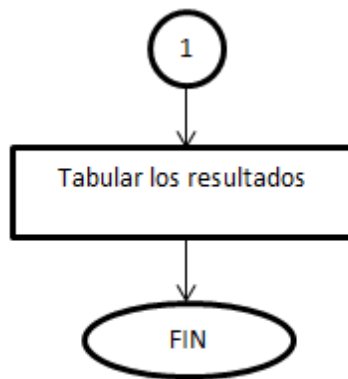


Figura 28: Flujograma ensayo experimental.

2.8.3. Factibilidad de elaboración de ensayos

Dentro del presente proyecto técnico se debe comprobar los datos obtenidos en las simulaciones mediante el ensayo experimental, con lo que se va a realizar un ensayo de corte – troquelado en las placas de material compuesto.

- Ensayo corte – troquelado en probetas de resina epoxi reforzado con fibra de yute.
- Ensayo corte – troquelado en probetas de resina poliéster reforzado con fibra de yute.

Para lo cual se indagó talleres locales donde contarán con una máquina troqueladora donde se pueda realizar el ensayo aplicando los parámetros que intervienen en el proceso de corte – troquelado.

Para la realización del ensayo de corte – troquelado del material compuesto se tomó en cuenta el taller “Ingeniería del Acero & Matricería”, por el motivo que cuenta con una troqueladora relativamente pequeña de 15 toneladas, además de todos los implementos necesarios para el ensayo.

Tabla 16: Datos de la empresa para los materiales

Taller “INGENIERIA DEL ACERO & MATRICERÍA”	Datos del sitio
 <p data-bbox="400 763 799 853">INGENIERÍA DEL ACERO & MATRICERÍA</p>	<p data-bbox="882 376 1110 409">Ciudad: Ambato</p> <p data-bbox="882 483 1382 629">Dirección: Eloy Alfaro y camino El Rey (Barrio San Miguel Alto) – PARROQUIA MONTALVO</p> <p data-bbox="882 651 1278 741">Correo electrónico: kerubin1971@gmail.com</p> <p data-bbox="882 815 1278 904">Número telefónico: (03)-2414798 – 0995774108</p>

2.9. Fabricación de los elementos

Para la fabricación de los elementos que intervienen en el proceso de corte – troquelado se utilizó materiales en este caso aceros que son de fácil mecanizado además que cumplen para el trabajo en cuestión.

El material utilizado para la fabricación de los punzones es el DF2 o AISI TIPO 01, debido a que resulta ideal para la fabricación de herramientas de corte. Los demás componentes están contruidos en acero estructural el AISI/SAE 1010.

En la figura 29, se puede observar de manera detallada todos los elementos del sistema.

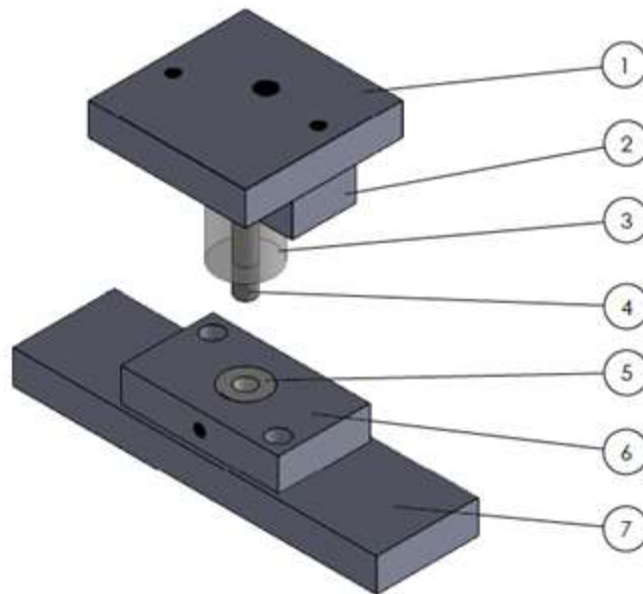


Figura 29: Modelo de punzonadora.

Dónde:

1. Placa superior.
2. Porta punzón.
3. Anillo botador.
4. Punzón.
5. Matriz.
6. Porta matriz.
7. Placa inferior.

2.9.1. Fabricación de la placa superior

La placa superior se lo utiliza como acople directo con la máquina troqueladora, con el fin de transmitir toda la carga a la herramienta de corte en este caso en punzón, el material utilizado para su fabricación es el acero AISI/SAE 1010, el proceso de construcción su detalla a continuación:

- Corte de la plancha
- Cuadrado y planeado del elemento en la fresadora.

Con el fin de eliminar material indeseado y de que la superficie quede totalmente plana se realiza un cuadrado y planeado de todas las superficies de la placa superior como se muestra en la figura 30.



Figura 30: Pieza para trabajar en el molde.

- Rectificado

Se procede a rectificar el bloque de acero como se presenta en la figura 31 eliminando asperezas y elementos de residuo del material para obtener una superficie lisa y poder seguir con el trabajo.



Figura 31: Pieza para trabajar en el molde.

- Perforado y roscado

Para el perforado y roscado se continúa de acuerdo al modelo seleccionado y se realiza en la pieza que se rectificó y mediante las medidas indicadas en los planos se procede a perforar y roscar como se muestra en la figura 32.



Figura 32: Perforado y roscado de la placa superior.

- Elemento terminado

La placa superior completamente mecanizada se muestra en la figura 33 cuyo elemento cumple con las dimensiones propuestas en los planos.



Figura 33: Placa superior.

2.9.2. Fabricación del porta punzón

El porta punzón es el elemento encargado de la sujeción correcta del punzón mientras está realizando el trabajo de perforación, su fabricación se lo realizó con acero AISI/SAE 1010, el proceso de construcción se detalla a continuación:

- Corte de la plancha
- Cuadrado y planeado del elemento en la fresadora

Los elementos para fabricar el porta punzón son rectificados eliminando asperezas o material que no aporte en beneficio del modelo que se va fabricar en la figura 34 se indica el proceso por el cual pasa el material hasta obtener el porta punzón.



Figura 34: Pieza para trabajar el porta punzón.

- Rectificado

A continuación, se rectifica todas las caras del material en base a las medidas de los planos en la figura 35 se presenta el proceso de rectificado del material.



Figura 35: Pieza para rectificar la punta del punzón.

- Perforado y roscado

El último proceso es perforar y roscar de acuerdo a las medidas que presentan los planos por lo que la figura 36 muestra las perforaciones y roscados realizado en el componente.



Figura 36: Perforado y roscado del porta punzón.

- Elemento terminado

El porta punzón ya terminado se lo aprecia en la figura 37 elemento que cumple las condiciones y medidas del plano correspondiente.



Figura 37: Porta punzón.

2.9.3. Fabricación del anillo botador

La función del anillo botador es la de presionar una zona del material que se va a troquelar con el objetivo de que al momento de realizar la perforación el material no se retracte junto con el punzón evitando así daños en el material, para su fabricación se optó por el uso de una barra cilíndrica de poliuretano, el proceso de construcción su detalla a continuación:

- Corte de la barra cilíndrica de poliuretano
- Torneado

Se procede a realizar un devastado de todo el material sobrante procurando de esta manera que su superficie quede totalmente recta y lisa como se lo visualiza en la figura 38.



Figura 38: Torneado del anillo botador.

- Perforado

A continuación se procede a perforar el elemento con una broca de media pulgada de diámetro justamente para que el punzón ingrese sin dificultad como se los aprecia en la figura 39.



Figura 39: Perforado del anillo botador.

- Elemento terminado

El anillo botador por ser el elemento más sencillo no requiere de otros procesos de manufactura por lo que en la figura 40 se muestra el componente ya finalizado.



Figura 40: Anillo botador.

2.9.4. Fabricación de los punzones

Para la fabricación de los punzones se realizó los planos de construcción los cuales los puede observar en el ANEXO 1. El proceso principal para la obtención de los punzones es el torneado mostrado en la figura 41, debido a que al poseer una sección circular su manufactura se facilita notablemente.



Figura 41: Torneado de elementos.

Los punzones para que su cizalla o zona de corte no se desgaste con el trabajo y el tiempo se realizó un templado a 800°C alcanzando de esta manera una dureza aproximada de 65 HRC. En la figura 42 se puede observar los punzones ya terminados.



Figura 42: Templado de los elementos.

2.9.5. Fabricación de la matriz

La matriz es uno de los elementos principales del sistema puesto que cumple la función de guía del punzón con un determinado juego para que los restos o cortes puedan salir expulsados por dicha perforación. La fabricación de la matriz se lo realizó en acero DF2 – AISI Tipo 01, para que al momento de realizar el trabajo de perforado con el punzón no se produzcan daños en la matriz, el proceso de construcción su detalla a continuación:

- Corte de la barra de acero
- Torneado

Para eliminar el material sobrante o todas las rebabas del material se realiza un torneado proceso mostrado en la figura 43.



Figura 43: Torneado y corte de las barras de acero.

- Perforado

El perforado de la matriz se muestra en la figura 44 procesos en el cual el diámetro del agujero debía tener cierta holgura para que el proceso de corte no se vea afectado.



Figura 44: Perforado de la matriz.

- Elemento terminado

La matriz completamente mecanizada se muestra en la figura 45 cuyas dimensiones deben estar acorde a la de los planos.



Figura 45: Matriz.

2.9.6. Fabricación de la porta matriz

La porta matriz es el elemento encargado de la sujeción de la matriz con el fin de evitar desplazamientos y daños en la matriz. Su construcción se lo realizó con el acero AISI/SAE 1010 debido a su tamaño y costo de adquisición.

- Corte de la plancha
- Cuadrado y planeado del elemento en la fresadora

Se procede a eliminar el material restante y que no aporta al modelo en construcción además de que su superficie quede totalmente plana, como se muestra en la figura 46.



Figura 46: Pieza para fabricar el porta matriz.

- Rectificado

Se procede a rectificar todas las caras de la porta matriz mostrado en la figura 47.

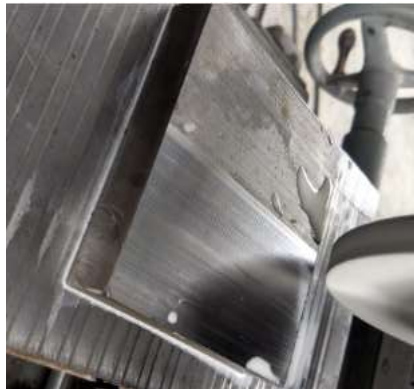


Figura 47: Rectificado del porta matriz.

- Perforado y roscado

Como último paso se procede con el perforado del material para después roscar en base a las especificaciones descritas en los planos, en la figura 48 se presenta la porta matriz terminado.



Figura 48: Perforado y roscado del porta matriz.

- Elemento terminado

En la figura 49 se presenta la porta matriz terminada con las dimensiones que se ajustan al modelo.



Figura 49: Porta matriz.

2.9.7. Fabricación de la placa inferior

La placa inferior se lo utiliza como acople directo con la máquina troqueladora, con el objetivo de servir de soporte de la porta matriz además ayuda al desahogo de las piezas cortadas, el material empleado para su fabricación es el acero AISI/SAE 1010, el proceso de construcción su detalla a continuación:

- Corte de la plancha
- Cuadrado y planeado del elemento en la fresadora

Se procede a eliminar el material restante y que no aporta al modelo en construcción además de que toda su superficie quede totalmente plana, como se muestra en la figura 50.



Figura 50: Corte y fresado de la placa inferior.

- Rectificado

Es necesario rectificar las caras de la placa inferior como se presenta en la figura 51 pues así se elimina el óxido y asperezas del material.



Figura 51: Rectificado de la placa inferior.

- Perforado y roscado

Al igual que los demás elementos que conforman el molde se procede a perforar y roscar los elementos en base a los planos descritos en el ANEXO 1. En la figura 52 se puede visualizar el proceso de perforado y roscado de la placa inferior.



Figura 52: Perforado y roscado de la placa inferior.

- Elemento terminado

En la figura 53 se presenta la placa inferior terminada con las dimensiones que se ajustan al modelo.



Figura 53: Placa inferior.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

SIMULACIÓN, ENSAYO EXPERIMENTAL, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3. Cálculos

Para la obtención de los diversos parámetros que intervienen en el proceso de troquelado – punzonado resulta indispensable conocer los datos de la resistencia a la tracción de los materiales compuestos los cuales se obtuvieron de estudios previos que constan en el ANEXO 2; en los cuales se trabajó con la misma composición de 70% de matriz y 30% de refuerzo.

Resistencia a la tracción del material compuesto de resina epoxi reforzado con:

- Fibra de abacá 34,8 MPa [45]
- Fibra de cabuya 22 MPa [45]

Resistencia a la tracción del material compuesto de resina poliéster reforzado con:

- Fibra de abacá 30,6 MPa [46]
- Fibra de cabuya 25 MPa [46]

Cálculos para las probetas de resina epoxi reforzado con fibra de abacá

Para realizar las simulaciones del trabajo que realizan los punzones sobre el material compuesto es necesario determinar las fuerzas que intervienen en el proceso, para lo cual se tienen los siguientes datos iniciales:

\emptyset del punzón = 12,7 mm

Resistencia a la tracción del material compuesto: 34,8 MPa

$e = 4$ mm

Resistencia al corte

$$Kc = \frac{Sut}{3}$$

$$K_c = \frac{34,8 \text{ MPa}}{3}$$

$$K_c = 11,6 \text{ MPa}$$

Fuerzas que intervienen en el proceso de punzonado

En el proceso de punzonado intervienen las siguientes fuerzas:

Fuerza de corte

$$F_c = K_c * p * e$$

Perímetro:

$$p = \pi * \phi$$

$$p = \pi * (12,7 \text{ mm})$$

$$p = 39,898 \text{ mm}$$

Fuerza de corte:

$$F_c = K_c * p * e$$

$$F_c = 11,6 \text{ MPa} * 39,898 \text{ mm} * 4 \text{ mm}$$

$$F_c = 1851,27 \text{ N}$$

Fuerza de extracción

$$F_{ext} = F_c * x\%$$

7%; si el corte es en una lámina y queda rebaba en los bordes.

3 a 4%; si el corte es significativo por varios puntos, o si presenta hendiduras.

2% ; si las dimensiones del material sobrante son mínimas.

$$F_{ext} = F_c * 7\%$$

$$F_{ext} = 1851,27 \text{ N} * (0,07)$$

$$F_{ext} = 129,59 \text{ N}$$

Fuerza de expulsión

$$F_{exp} = F_c * 1,5\%$$

$$F_{exp} = 1851,27 \text{ N} * (0,015)$$

$$F_{exp} = 27,76 \text{ N}$$

Cálculos para las probetas de resina epoxi reforzado con fibra de cabuya

Para realizar las simulaciones del trabajo que realizan los punzones sobre el material compuesto es necesario determinar las fuerzas que intervienen en el proceso, para lo cual se tienen los siguientes datos iniciales:

\emptyset del punzón = 12,7 mm

Resistencia a la tracción del material compuesto = 22 MPa

$e = 4$ mm

Resistencia al corte

$$K_c = \frac{S_{ut}}{3}$$

$$K_c = \frac{22 \text{ MPa}}{3}$$

$$K_c = 7,33 \text{ MPa}$$

Fuerzas

En el proceso de punzonado intervienen las siguientes fuerzas:

Fuerza de corte

$$F_c = K_c * p * e$$

Perímetro:

$$p = \pi * \emptyset$$

$$p = \pi \cdot (12,7mm)$$

$$p = 39,898 mm$$

Fuerza de corte:

$$F_c = K_c * p * e$$

$$F_c = 7,33 MPa * 39,898mm * 4 mm$$

$$F_c = 1169,81 N$$

Fuerza de extracción

$$F_{ext} = F_c * x\%$$

7%; si el corte es en una lámina y queda rebaba en los bordes.

3 a 4%; si el corte es significativo por varios puntos, o si presenta hendiduras.

2% ; si las dimensiones del material sobrante son mínimas.

$$F_{ext} = F_c * 7\%$$

$$F_{ext} = 1169,81 N * (0,07)$$

$$F_{ext} = 81,89 N$$

Fuerza de expulsión

$$F_{exp} = F_c * 1,5\%$$

$$F_{exp} = 1169,81 N * 0,015$$

$$F_{exp} = 17,54 N$$

Cálculos para las probetas de resina poliéster reforzado con fibra de abacá

Para realizar las simulaciones del trabajo que realizan los punzones sobre el material compuesto es necesario determinar las fuerzas que intervienen en el proceso, para lo cual se tienen los siguientes datos iniciales:

\emptyset del punzón = 12,7 mm

Resistencia a la tracción del material compuesto: 30,6 MPa

$e = 4$ mm

Resistencia al corte

$$K_c = \frac{S_{ut}}{3}$$

$$K_c = \frac{30,6 \text{ MPa}}{3}$$

$$K_c = 10,2 \text{ MPa}$$

Fuerzas que intervienen en el proceso de punzonado

En el proceso de punzonado intervienen las siguientes fuerzas:

Fuerza de corte

$$F_c = K_c * p * e$$

Perímetro:

$$p = \pi * \emptyset$$

$$p = \pi * (12,7 \text{ mm})$$

$$p = 39,898 \text{ mm}$$

Fuerza de corte:

$$F_c = K_c * p * e$$

$$F_c = 10,2 \text{ MPa} * 39,898 \text{ mm} * 4 \text{ mm}$$

$$F_c = 1627,84 \text{ N}$$

Fuerza de extracción

$$F_{ext} = F_c * x\%$$

7%; si el corte es en una lámina y queda rebaba en los bordes.

3 a 4%; si el corte es significativo por varios puntos, o si presenta hendiduras.

2% ; si las dimensiones del material sobrante son mínimas.

$$F_{ext} = F_c * 7\%$$

$$F_{ext} = 1627,84 N * (0,07)$$

$$F_{ext} = \mathbf{113,95 N}$$

Fuerza de expulsión

$$F_{exp} = F_c * 1,5\%$$

$$F_{exp} = 1627,84 N * (0,015)$$

$$F_{exp} = \mathbf{24,42 N}$$

Cálculos para las probetas de resina poliéster reforzado con fibra de cabuya

Para realizar las simulaciones del trabajo que realizan los punzones sobre el material compuesto es necesario determinar las fuerzas que intervienen en el proceso, para lo cual se tienen los siguientes datos iniciales:

\emptyset del punzón = 12,7 mm

Resistencia a la tracción del material compuesto = 25 MPa

$e = 4$ mm

Resistencia al corte

$$Kc = \frac{Sut}{3}$$

$$Kc = \frac{25 MPa}{3}$$

$$Kc = \mathbf{8,33 MPa}$$

Fuerzas

En el proceso de punzonado intervienen las siguientes fuerzas:

Fuerza de corte

$$F_c = K_c * p * e$$

Perímetro:

$$p = \pi \cdot \phi$$

$$p = \pi \cdot (12,7mm)$$

$$p = 39,898 \text{ mm}$$

Fuerza de corte:

$$F_c = K_c * p * e$$

$$F_c = 8,33 \text{ MPa} * 39,898mm * 4 \text{ mm}$$

$$F_c = 1329,40 \text{ N}$$

Fuerza de extracción

$$F_{ext} = F_c * x\%$$

7%; si el corte es en una lámina y queda rebaba en los bordes.

3 a 4%; si el corte es significativo por varios puntos, o si presenta hendiduras.

2% ; si las dimensiones del material sobrante son mínimas.

$$F_{ext} = F_c * 7\%$$

$$F_{ext} = 1329,40 \text{ N} * (0,07)$$

$$F_{ext} = 93,06 \text{ N}$$

Fuerza de expulsión

$$F_{exp} = F_c * 1,5\%$$

$$F_{exp} = 1329,40 \text{ N} * (0,015)$$

$$F_{exp} = \mathbf{19,94 \text{ N}}$$

Juego entre el punzón y la matriz

Para el juego entre el punzón y la matriz se tomó en cuenta un 7% del espesor del material compuesto.

$$J = e * 7 \%$$

$$J = 4 * (0,07)$$

$$J = \mathbf{0,28 \text{ mm}}$$

$$J \approx \mathbf{0,30 \text{ mm}}$$

Diámetro de la matriz

$$Dm = Dp + J$$

$$Dm = 12,7 \text{ mm} + 0,30 \text{ mm}$$





$$Dm = \mathbf{13 \text{ mm}}$$

3.4. Diseño de los punzones

Para esta simulación se ha utilizado 4 tipos de punzones, cuya configuración únicamente varía en el tipo de afilado o cizalla, los cuales son: afilado recto, inclinado, en W, y doble cizalla a 20°.

En la siguiente tabla se puede visualizar las formas de los punzones diseñados:

Tabla 17. Configuración de los punzones.

Tipo de punzón	Esquema
Punzón recto	
Punzón inclinado	
Punzón en W	
Punzón doble cizalla a 20°	

Con las cuatro configuraciones de punzones se realizó seis simulaciones con cada material compuesto los cuales tienen la siguiente composición:

- Resina epoxi con fibra de abacá.
- Resina epoxi con fibra de cabuya.
- Resina epoxi con fibra de yute.
- Resina poliéster con fibra de abacá.
- Resina poliéster con fibra de cabuya.

- Resina poliéster con fibra de yute.

3.5. Simulación

3.5.1. Esquema del proyecto

El esquema mostrado en la figura 54 es el que se utilizó para simular el punzón en caída libre esto ayudó a determinar el comportamiento mecánico que debe seguir esta investigación.

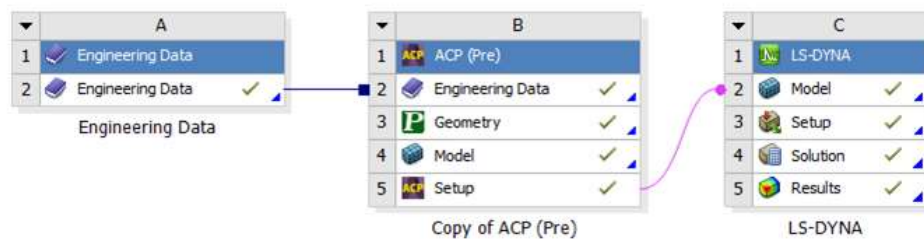


Figura 54: Esquema del proyecto.

3.5.2. Datos de Ingeniería (Engineering Data)

Herramienta primordial del software de simulación debido a que en dicho paquete se encuentra una extensa base de datos de todo tipo de materiales que son utilizados comúnmente en las simulaciones además es posible agregar materiales nuevos considerando todas sus propiedades mecánicas, químicas, térmicas etc.

3.5.3. ACP (ANSYS Composite PrepPost)

Es básicamente una herramienta del software que se emplea para crear laminados de materiales compuestos capa por capa, en donde se ingresa todas las consideraciones como dirección de las fibras, ángulos y espesores de cada sección; además está estrechamente vinculado con la mayoría de solucionadores de ANSYS entre ellos están estructural, dinámico, y fluido estructural.

3.5.4. Ansys LS – DYNA

Herramienta del software utilizado para simular el comportamiento de elementos y materiales durante periodos cortos de cargas severas, este paquete computacional permite ejecutar el proceso de corte del material compuesto, este análisis es utilizado fundamentalmente para el diseño y optimización, además se lo utiliza en casos de investigación que por su complejidad tanto en su diseño como geometría resultan casi imposibles de solucionar manualmente.

3.5.5. Simulación

Para la simulación es necesario realizar varios cambios o ajustes con respecto a la representación completa de un troquel como el número de elementos, geometría, y varios parámetros propios del software, mediante lo cual es posible establecer ciertas restricciones y parámetros como es la fuerza del punzón, velocidad, desplazamiento y soportes.

Geometría

Mediante el diseño de un troquel se puede identificar todos los elementos, parámetros y condiciones suficientes para realizar una correcta simulación.

Diseño del modelo

Es posible importar elementos de otros programas siempre y cuando sean compatibles con el software de simulación o tengan la extensión adecuada, el diseño utilizado se muestra a continuación en la figura

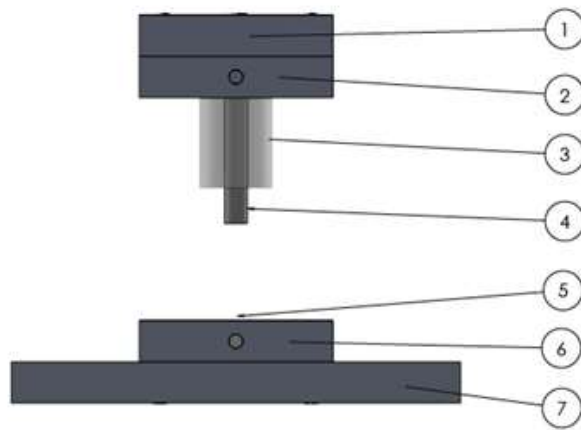


Figura 55: Esquema del proyecto.

1. Placa superior
2. Porta punzón
3. Anillo botador
4. Punzón
5. Matriz
6. Porta matriz
7. Placa inferior

Para reducir el coste computacional debido a la complejidad de todo el sistema, se suprime los elementos que no intervienen directamente en el proceso de corte empleando únicamente el punzón, la matriz, y la lámina de material compuesto como se muestra en la figura 56, facilitando el mallado y el tiempo empleado en la solución.

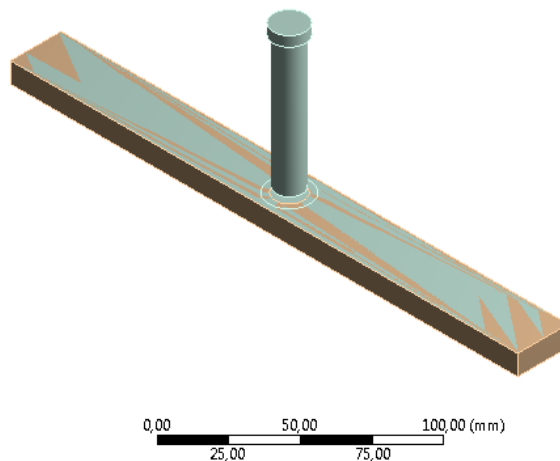


Figura 56: Diseño del esquema del proceso.

3.5.6. Materiales utilizados para la simulación

En las simulaciones que se va a realizar se emplearon diversos materiales principalmente con lo que se refiere a la chapa o lámina a cortar, en la siguiente tabla 18 se detalla cada elemento con su respectivo material.

Tabla 18. Materiales utilizados.

Elemento o componente	Material
Lamina a cortar (material compuesto)	Composición volumétrica del 70% de matriz (resina epoxi) y 30 % de refuerzo (fibra de abacá).
	Composición volumétrica del 70% de matriz (resina epoxi) y 30 % de refuerzo (fibra de cabuya).
	Composición volumétrica del 70% de matriz (resina epoxi) y 30 % de refuerzo (fibra de yute).
	Composición volumétrica del 70% de matriz (resina poliéster) y 30 % de refuerzo (fibra de abacá).
	Composición volumétrica del 70% de matriz (resina poliéster) y 30 % de refuerzo (fibra de abacá).
	Composición volumétrica del 70% de matriz (resina poliéster) y 30 % de refuerzo (fibra de yute).
Punzón	ARNE DF2 – DIN 1,2510

Las principales propiedades de cada material empleado en la simulación del proceso de punzonado fueron ingresados en el software, para que los datos obtenidos no tengan mayor variación.

3.5.6.1. Resinas

Las propiedades de las resinas tanto la epoxi como la poliéster fueron ingresadas al software como se muestra en la figura 57, considerando que son materiales frágiles e isotrópicos.

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	1160	kg m ⁻³		
3	Isotropic Elasticity				
4	Derive from	Young's Modu...			
5	Young's Modulus	4E+09	Pa		
6	Poisson's Ratio	0,38			
7	Bulk Modulus	5,5556E+09	Pa		
8	Shear Modulus	1,4493E+09	Pa		
9	Tensile Ultimate Strength	6,5E+07	Pa		
10	Compressive Ultimate Strength	1,5E+08	Pa		
11	Ply Type				
12	Type	Isotropic			

Figura 57: Propiedades de la resina epoxi ingresadas al software.

3.5.6.2. Fibras naturales

Las fibras naturales como la de abacá, yute y cabuya no tienen base de datos en el software por lo que fueron ingresados de forma manual tomando en cuenta las propiedades principales como es la densidad, el módulo de elasticidad y la resistencia a la tracción. En la figura 58, se muestran las propiedades ingresadas de la fibra de cabuya.

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	1300	kg m ⁻³		
4	Isotropic Elasticity				
5	Derive from	Young's Modu...			
6	Young's Modulus	7,5E+09	Pa		
7	Poisson's Ratio	0,28			
8	Bulk Modulus	5,6818E+09	Pa		
9	Shear Modulus	2,9297E+09	Pa		
10	Tensile Ultimate Strength	3,0515E+08	Pa		
11	Ply Type				
12	Type	Regular			

Figura 58: Propiedades de la fibra natural de cabuya ingresadas al software.

3.5.6.3. Acero ARNE DF2 – DIN 1,2510

El acero utilizado para el diseño y la construcción de los punzones adquirido en el mercado local tiene propiedades similares al acero estructural de la biblioteca del software por lo que se procedió a cambiar únicamente el módulo de elasticidad y la densidad datos proporcionados por el proveedor. En la figura 59, se muestra las propiedades ingresadas.

Properties of Outline Row 3: ARNE DF2				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7800	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
5	Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C ⁻¹	
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Mo...		
8	Young's Modulus	1,9E+11	Pa	
9	Poisson's Ratio	0,3		
10	Bulk Modulus	1,5833E+11	Pa	
11	Shear Modulus	7,3077E+10	Pa	
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular		
13	Interpolation	Log-Log		
14	Scale	1		
15	Offset	0	Pa	

Figura 59: Propiedades del acero ARNE DF2.

3.5.7. Mallado

El mallado es la parte fundamental en un análisis computacional puesto que crea nodos los para facilitar la simulación, el mallado no es más que un conjunto finito de líneas o superficies imaginarias las cuales va a depender de la geometría de los elementos estas puedes ser: cuadrados, tetraedros, hexaedros o triangulares.

3.5.7.1. Tipos de mallado

3.5.7.2. Mallado automático

El software reconoce la topología y la geometría del elemento mediante algoritmos creando de eta manera un mallado directo, mediante el cual es posible llegar a una solución en un menor tiempo. En la figura 60, se puede visualizar el mallado generado por el software en los elementos que intervienen en el sistema.



Figura 60: Mallado automático de los elementos.

3.5.7.3. Refinamiento de malla

Este proceso permite al simulador mallar de forma más concisa los elementos, principalmente en zonas donde se requiera un mallado especial es decir más fino o más grueso, proceso conocido también como mallado manual, como se puede visualizar en la figura 61.

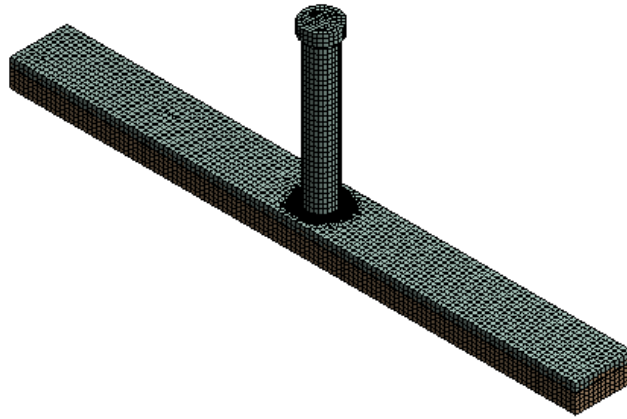


Figura 61: Refinamiento de todos los elementos.

Para el caso específico se refino la malla en la placa de material compuesto, en la zona donde se va a realizar el corte mediante el uso de línea de partición realizada en el CAD, para que los datos extraídos de la simulación sean lo más cercanos a la realidad. La configuración del refinamiento de malla se observa en la figura 62 y la figura 63.

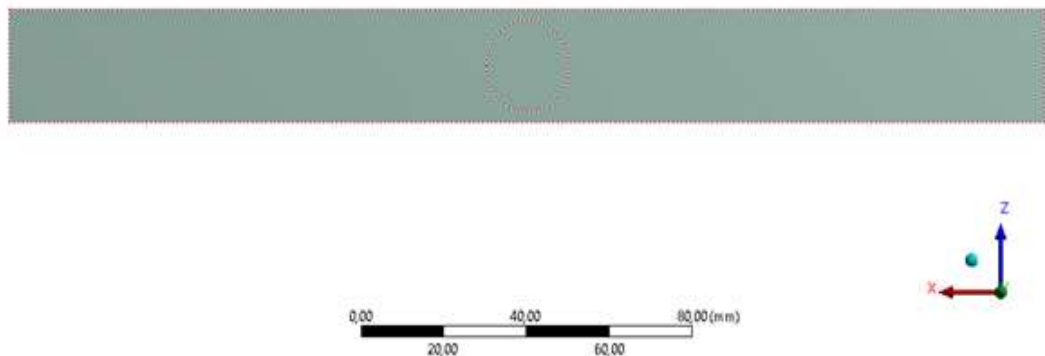


Figura 62: Línea de partición en la placa de material compuesto.

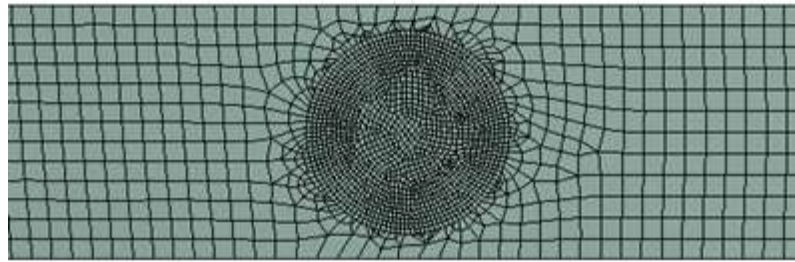


Figura 63: Refinamiento de la zona de corte.

En la tabla 19, se muestra a continuación se indica los nodos y elementos de cada pieza analizado en el software.

Tabla 19. Especificación del número de nodos y elementos.

Componente	Número de nodos	Número de elementos
Punzón recto	884	641
Punzón doble ángulo 20°	988	694
Punzón en ángulo de 30°	911	657
Punzón en W	930	573
Lamina a cortar	797	725
Matriz	2488	1608

3.5.7.4. Calidad de mallado

Para validar la calidad de los elementos que conforman la malla en elementos finitos es recomendable tener valores cercanos a 1 o igual a 1 en el modelo de malla de tiene un valor máximo de 1,28 mm de calidad de aspecto de la malla como indica la figura 64 de calidad de malla.

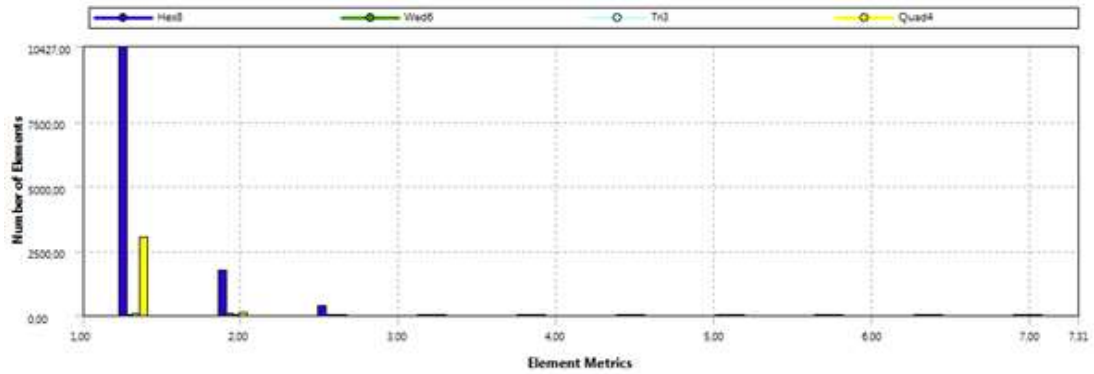


Figura 64: Calidad del elemento - Punzón recto.

3.5.7.5. Mallado del punzón en W

Así mismo se realiza el mallado del punzón observando la calidad de los elementos que conforman la malla en elementos finitos es recomendable tener valores cercanos a 1 o igual a 1 en el modelo de malla de tiene un valor máximo de 1,35 mm de calidad de aspecto de la malla como indica la figura 65 de calidad de malla.

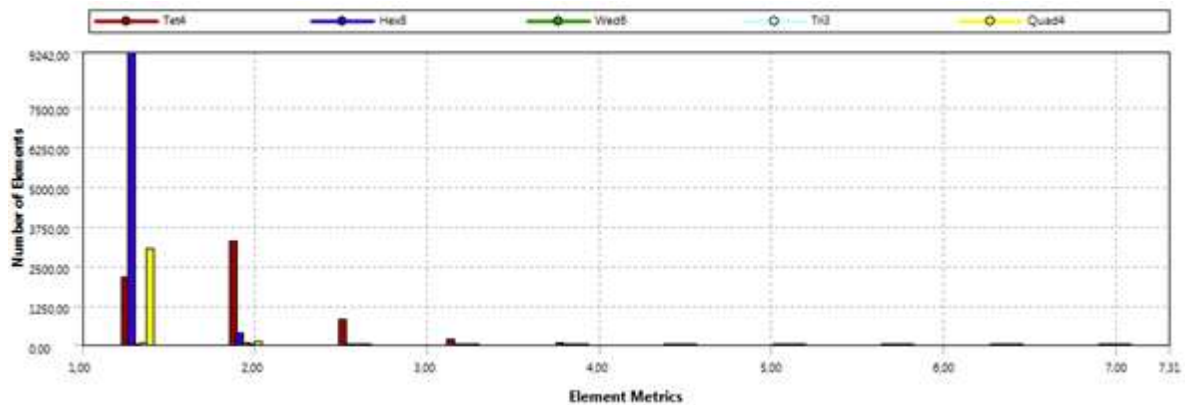


Figura 65: Relación de aspecto - Punzón en W.

3.5.7.6. Mallado del punzón doble cizalla a 20° y 30°

De igual manera el mallado del punzón doble cizalla a 20° muestra la calidad de los elementos que conforman la malla en elementos finitos es recomendable tener valores cercanos a 1 o igual a 1 en el modelo de malla de tiene un valor máximo de 1,35 mm de calidad de aspecto de la malla como indica la figura 66 de calidad de malla.

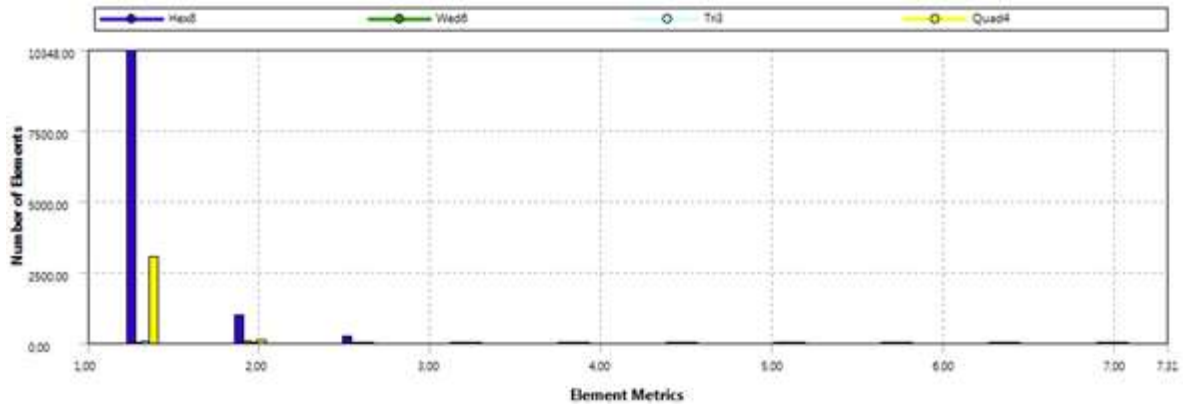


Figura 66: Relación de aspecto - Punzón doble cizalla a 20°.

3.6. Diseño del material compuesto

La lamina o placa de material compuesto tiene las siguientes dimensiones 250 x 25 x 4 mm, de tal manera que se diseña la placa como una superficie en un CAD tomando en cuenta únicamente las dimensiones del largo y ancho para posteriormente importar al ANSYS y utilizar el complemento ACP. Complemento en el cual se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Espesor de cada material (m).
- Ángulo de orientación específicamente de las fibras.

La configuración de la lámina utilizada en este proceso está dada de la siguiente forma:

Tabla 20: Modelo del material compuesto

Material	Espesor aproximado	Ángulo
Resina epoxi o poliéster	0,9 mm (0,0009 m)	-
Fibra de abacá, cabuya o yute	0,3 mm (0,0003 m)	0°
Fibra de abacá, cabuya o yute	0,3 mm (0,0003 m)	90°
Resina epoxi o poliéster	0,9 mm (0,0009 m)	-
Fibra de abacá, cabuya o yute	0,3 mm (0,0003 m)	0°
Fibra de abacá, cabuya o yute	0,3 mm (0,0003 m)	90°
Resina epoxi o poliéster	0,9 mm (0,0009 m)	-
Total	3,9 mm (0,0039 m) aprox. 4 mm	-

3.6.1. Estructura del material compuesto

El material compuesto tiene varias capas con diversas orientaciones como se visualiza en la figura 67, en especial las fibras naturales que están dispuestas de esa manera simulando un tejido además el material compuesto al tener esta configuración tiende a poseer propiedades cuasi isotrópicas. En las propiedades polares del material compuesto se encuentra E_1 y E_2 que son los módulos de elasticidad a diversas direcciones y G_{12} es el módulo de corte del compuesto.

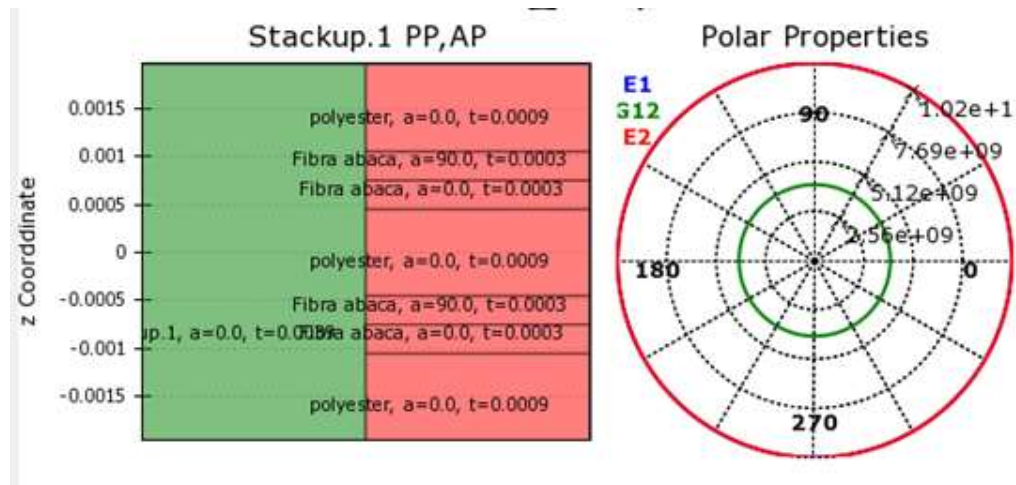


Figura 67: Estructura del material compuesto.

- **Espesor de la placa del material compuesto**

El espesor que se consideró para el diseño del material compuesto esta en base a normas vigentes sobre ensayos de tracción ASTM D3039/D3039M-00 y de flexión ASTM D7264/D7264M-07, en donde el espesor que se recomienda para los ensayos con materiales compuestos son 4 mm.

De esta manera el diseño del material compuesto consta de 5 capas como se muestra en la figura 68, cuyo espesor total es aproximadamente 4 mm, cuya configuración es:

- Capa de resina
- Capa de fibra natural
- Capa de resina
- Capa de fibra natural
- Capa de resina

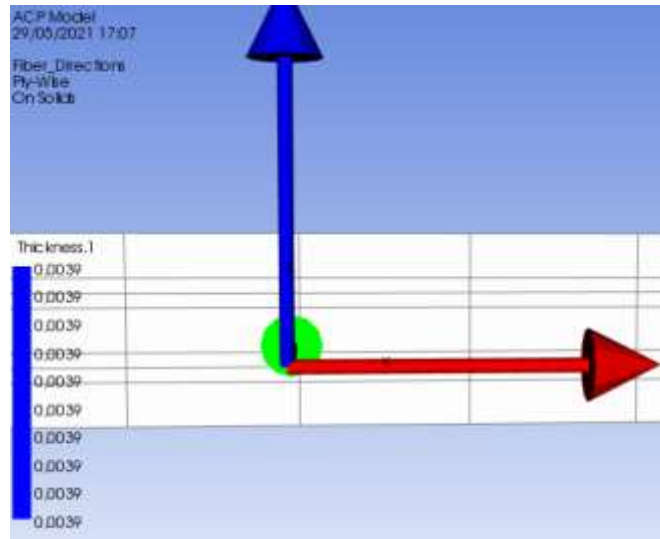


Figura 68: Configuración final de la placa de material compuesto.

- **Orientación de las fibras naturales**

Para el caso particular la orientación de las dos capas de fibra natural son de 0° es decir están actuando únicamente a lo largo del eje longitudinal de la placa o lamina de material compuesto como se muestra en la figura 69.

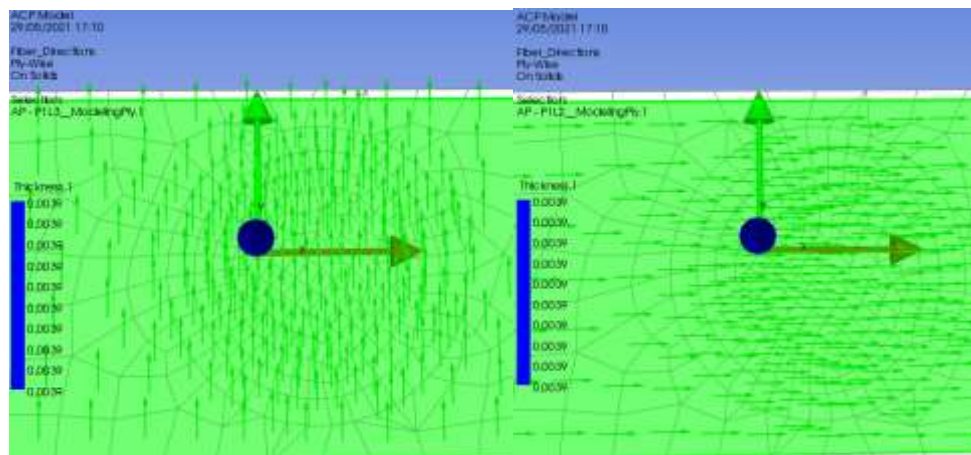


Figura 69: Orientación de las fibras naturales.

3.6.2. Condiciones del proceso

3.6.2.1. Fuerza

Analysis Settings, la fuerza que se le aplica al punzón está determinada por la máquina utilizada la cual posee una capacidad de 15 toneladas dando como resultado una fuerza de 147150 N, fuerza mediante la cual se genera la fractura del material y

es posible determinar el tipo de falla en la figura 70, se observa la asignación de la fuerza al punzón.

C: LS-DYNA
Force
Time: 8,e-003 s
28/5/2021 9:12
Force: 1,4715e+005 N
Components: 0,-1,4715e+005,0, N

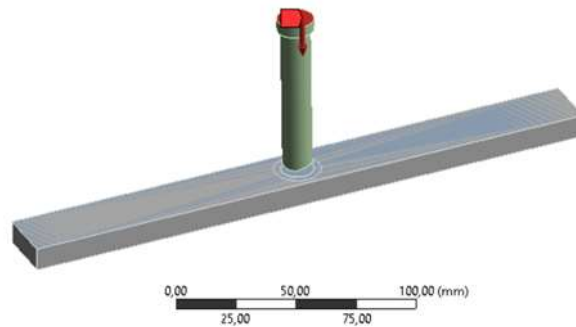


Figura 70: Fuerza aplicada al punzón.

3.6.2.2. Velocidad

En Initial Conditions, se ingresa la velocidad mediante la cual se va a desplazar el punzón, la velocidad asignada depende de la maquina a utilizar para el ensayo real la cual tiene un módulo de 200 mm/s, pero como el movimiento se va a realizar en el eje de las ordenadas negativas debe ser de -200 mm/s. En la figura 71, se puede visualizar la asignación de la velocidad al punzón.

C: LS-DYNA
Velocity
Time: 8,e-003 s
28/5/2021 9:11
Velocity
Components: 0,-200,0, mm/s

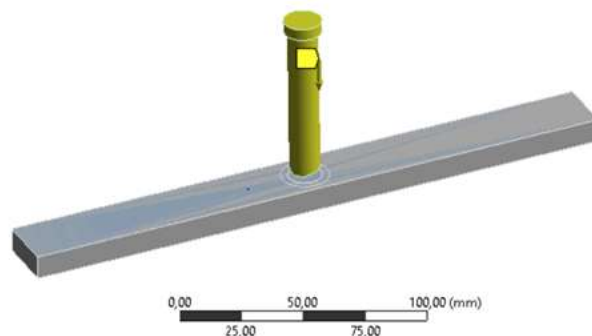


Figura 71: Velocidad aplicada al punzón.

3.6.2.3.Desplazamiento

Parámetro mediante el cual se restringe el desplazamiento de algunos elementos con el fin de que no se desvíen de su eje, para la simulación realizada se restringe el desplazamiento del punzón en los ejes X y Z con un valor de 0 mm en cambio en el eje Y se consideró un cierto rango de movilidad en la figura 72 se observa la restricción de desplazamiento del punzón.

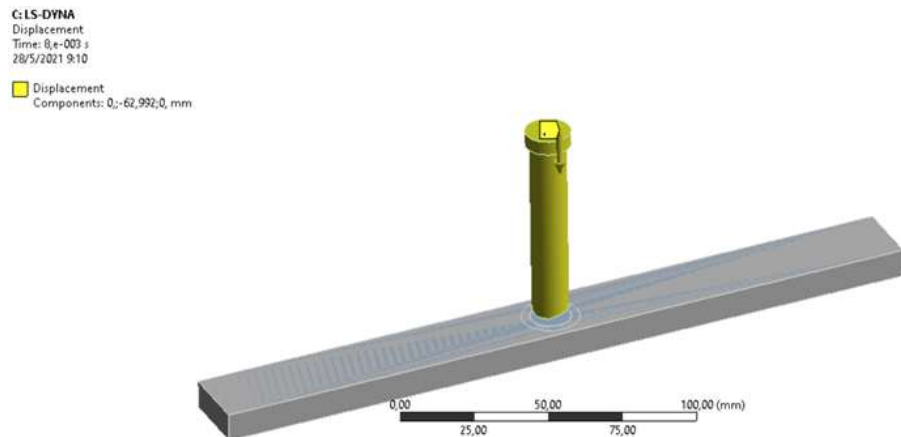


Figura 72: Restricción del desplazamiento.

3.6.2.4.Soportes fijos

Parámetro utilizado para restringir el movimiento de cualquier parte o componente, se puede asignar como soportes fijos a sólidos, superficies, caras o aristas. Para este caso en particular se asigna a los elementos que dentro del proceso de punzonado van fijos, es decir la matriz, y la lámina a cortar. En la figura 73, se puede visualizar las restricciones impuestas.

C:\LS-DYNA
Fixed Support
Time: 8,e-003 s
28/5/2021 9:13
Fixed Support

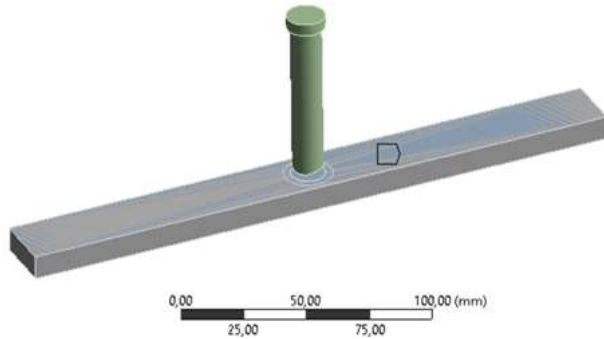


Figura 73: Aplicación de soportes en la matriz y en la placa.

3.7. Resultados preliminares de la simulación del punzón

El proceso de punzonado si es correctamente realizado como lo muestra la figura 74, los datos que se obtenga y las condiciones del agujero en el material compuesto van a estar acorde a la realidad del proceso.

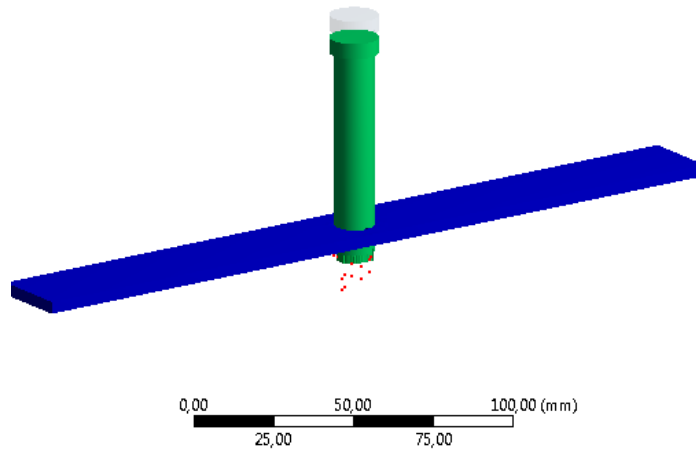


Figura 74: Vista isométrica del proceso de corte.

En la figura 75 es posible apreciar el resultado del proceso de punzonado en la placa de material compuesto además es posible visualizar el desprendimiento de material al momento del punzonado.

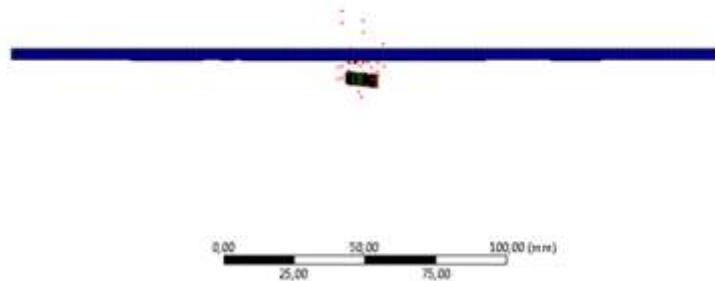


Figura 75: Vista frontal del proceso de corte.

En la figura 76 se muestra el material sobrante una vez realizado el proceso de punzonado cuya configuración o forma está dada directamente por el diseño del punzón, para el caso particular su forma es circular.

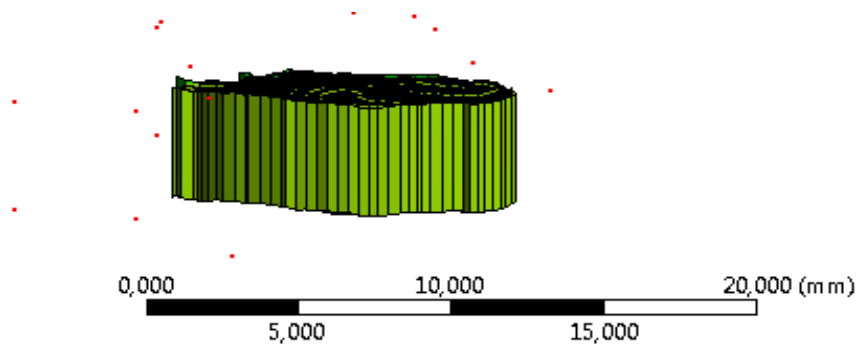


Figura 76: Retaso obtenido del proceso de corte.

Resultados y condiciones analizadas en el software

3.7.1. Deformación total en la placa de material compuesto

La deformación total que se produce en la placa de material compuesto es resultado de la intervención de todos los parámetros empleados en el proceso de punzonado, es decir que para el caso en particular la deformación elástica como la plástica son bajas en comparación con los materiales dúctiles por lo que llegan a la fractura del material al poco tiempo de aplicar una fuerza considerable. En la figura 77 se puede visualizar la deformación producida en toda la placa del material compuesto.

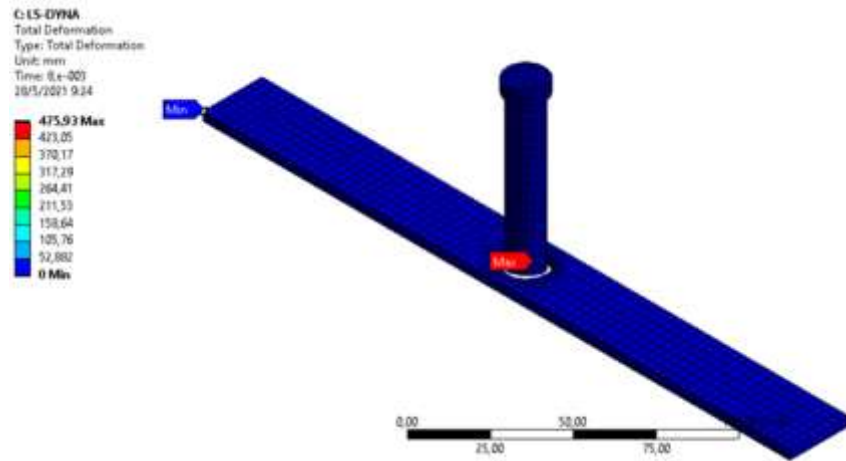


Figura 77: Deformación total de la lámina de material compuesto.

3.7.2. Esfuerzo de Von Mises o de cedencia

El esfuerzo de Von Mises del punzón se evaluó en el software como se muestra en la figura 78, de acuerdo a las condiciones de trabajo y puesto que el material que se perforó es un compuesto de resina y fibra natural no posee tanta resistencia por este motivo el esfuerzo en los 4 punzones es relativamente bajo por lo que no resulta necesario obtener un factor de seguridad porque en base a esta condición todos son aptos para el proceso.



Figura 78: Esfuerzo de Von Mises en el punzón.

3.7.3. Esfuerzo de corte

El esfuerzo de corte en un material depende únicamente de la fuerza que actúa sobre el además de esta manera se concluye que mientras el esfuerzo de corte es mayor tiende a producir fallas en el material como deformaciones e incluso falla total del mismo, en la figura 79 se muestra el esfuerzo de corte en el plano XY del material compuesto.

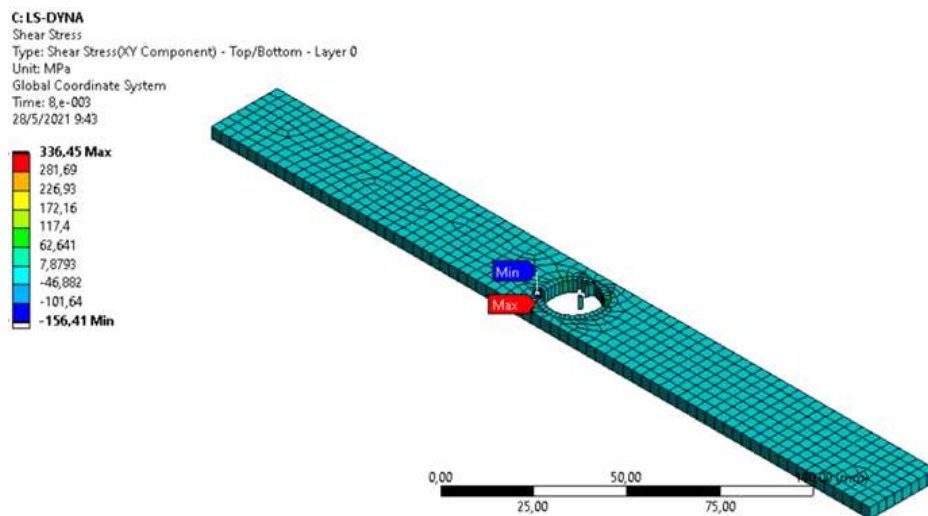


Figura 79: Máximo esfuerzo normal en la placa de material compuesto.

3.8. Análisis y discusión de los resultados

En la tabla 21, se puede visualizar los resultados obtenidos en la simulación realizada con los 4 punzones aplicado en el material compuesto de resina epoxi con fibra de abacá. En los datos obtenidos el punzón en W y el punzón en ángulo a 30° tienen los menores esfuerzos por lo que ambos resultan apropiados para el corte – troquelado de este material, pero si se toma en cuenta el esfuerzo de corte en la placa perforada con el punzón en W de 73,54 MPa que es menor este resulta apto para realizar el trabajo de corte del material compuesto de resina epoxi y fibra de abacá, puesto que mientras menor se este valor la probabilidad de que el material falle o produzca grandes deformaciones es menor.

Tabla 21. Resultados obtenidos con la resina epoxi y fibra de abacá.

Material compuesto “RESINA EPOXI CON FIBRA DE ABACA”				
Características	Punzón recto	Punzón en W	Punzón con cizalla doble a 20°	Punzón en ángulo a 30°
Deformación total en la placa (mm)	156,9	240,28	251,19	123,94
Esfuerzo en el Punzón (MPa)	0,01631	0,00799	0,02167	0,00557
Esfuerzo cortante (MPa)	191,43	73,54	398,95	226,14

En la tabla 22, se detalla los resultados que se obtiene al trabajar con los diversos punzones en el material compuesto de resina epoxi y fibra de cabuya. En los resultados se evidencia que el punzón en W y el punzón de cizalla simple a 30° poseen los menores esfuerzos es así que ambos resultan óptimos para el trabajo. Al evaluar el esfuerzo cortante la placa perforada con el punzón en W es de 151,35 MPa se considera que este punzón sería el más recomendable para el trabajo de corte – troquelado de este material.

Tabla 22. Resultados obtenidos con la resina epoxi y fibra de cabuya.

Material compuesto “RESINA EPOXI CON FIBRA DE CABUYA”				
Características	Punzón recto	Punzón en W	Punzón con cizalla doble a 20°	Punzón en ángulo a 30°
Deformación total en la placa (mm)	42,93	28,69	74,60	17,95
Esfuerzo en el Punzón (MPa)	0,01747	0,00557	0,01452	0,00405
Esfuerzo cortante (MPa)	162,27	151,35	160,7	178,11

En la tabla 23, se observa los resultados obtenidos en base al proceso realizado con los 4 punzones en el material compuesto de resina epoxi con fibra de yute. El punzón en ángulo a 30° y el punzón en W obtienen un menor esfuerzo por lo que si se considera únicamente este parámetro los dos resultan aptos para el trabajo de corte. Al evaluar el esfuerzo cortante la placa perforada con el punzón en ángulo a 30° es de 103,33 MPa de esta manera se considera que este punzón sería el más óptimo para el trabajo de corte – troquelado de este material.

Tabla 23. Resultados obtenidos con la resina epoxi y fibra de yute.

Material compuesto “RESINA EPOXI CON FIBRA DE YUTE”				
Características	Punzón recto	Punzón en W	Punzón con cizalla doble a 20°	Punzón en ángulo a 30°
Deformación total en la placa (mm)	60,343	155,92	110,98	114,94
Esfuerzo en el Punzón (MPa)	0,01717	0,00821	0,01858	0,00657
Esfuerzo cortante (MPa)	193,85	129,8	151,67	103,33

En la tabla 24, se visualiza los resultados obtenidos en los procesos de simulación entre los 4 punzones y el material compuesto de resina poliéster con fibra de abacá. Considerando el esfuerzo de corte menor de 100,15 MPa en la placa el punzón apropiado para el perforado de este material compuesto es en ángulo a 30°. Además si se evalúa el esfuerzo en los punzones los apropiados son el punzón el W y en ángulo a 30°.

Tabla 24. Resultados obtenidos con la resina poliéster y fibra de abacá.

Material compuesto “RESINA POLIESTER CON FIBRA DE ABACA”				
Características	Punzón recto	Punzón en W	Punzón con cizalla doble a 20°	Punzón en ángulo a 30°
Deformación total en la placa (mm)	81,83	105,73	124,38	135,93
Esfuerzo en el Punzón (MPa)	0,01518	0,00822	0,01549	0,00338
Esfuerzo cortante (MPa)	387,74	130,37	264,28	100,15

En la tabla 25, se muestra los resultados obtenidos al trabajar con los diversos punzones con el material compuesto de resina poliéster y fibra de cabuya. En este caso al considerar el esfuerzo en el punzón los apropiados para el corte de este material compuesto son los punzones en ángulo a 30° y en W; sin embargo la placa perforada con el punzón con doble cizalla a 20° posee un esfuerzo de corte de 87,08 MPa resultando el más confiable para el troquelado del material.

Tabla 25. Resultados obtenidos con la resina poliéster y fibra de cabuya.

Material compuesto “RESINA POLIESTER CON FIBRA DE CABUYA”				
Características	Punzón recto	Punzón en W	Punzón con cizalla doble a 20°	Punzón en ángulo a 30°
Deformación total en la placa (mm)	70,948	32,616	265,48	52,694
Esfuerzo en el Punzón (MPa)	0,01654	0,01201	0,01491	0,00422
Esfuerzo cortante (MPa)	128,88	261,96	87,08	148,49

En la tabla 26, se visualiza los resultados obtenidos en la simulación del proceso con los 4 punzones empleados en el punzonado del material compuesto de resina poliéster y fibra de yute. Los punzones que mejor comportamiento tienen considerando el esfuerzo alcanzado en el proceso son: en ángulo a 30° y en W con esfuerzos de 0,00430 MPa y 0,00949 MPa respectivamente, de esta manera se podrían utilizar los dos punzones para el trabajo en cuestión. Al analizar el esfuerzo de corte la placa perforada con el punzón en W es de 115,1 MPa por esta razón este punzón resulta ideal para el corte de este material, puesto que mientras menor sea este valor el material será menos propenso a romperse y la deformación no será alta.

Tabla 26. Resultados obtenidos con la resina poliéster y fibra de yute.

Material compuesto “RESINA POLIESTER CON FIBRA DE YUTE”				
Características	Punzón recto	Punzón en W	Punzón con cizalla doble a 20°	Punzón en ángulo a 30°
Deformación total en la placa (mm)	98,002	69,51	138,82	58,338
Esfuerzo en el Punzón (MPa)	0,01493	0,00949	0,01839	0,00430
Esfuerzo cortante (MPa)	363,58	115,1	276,54	171,98

3.9. Ensayos experimentales

3.9.1. Factor de delaminación a la entrada y salida del proceso

Tabla 27: Factor de delaminación a la entrada – Punzón recto probetas 1, 2

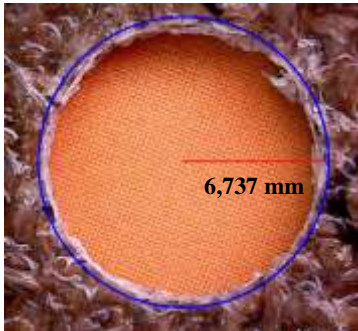
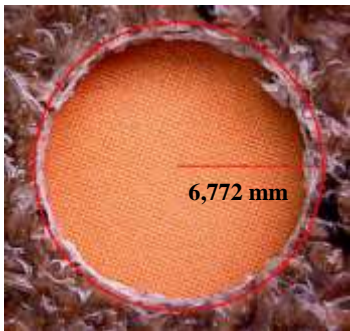
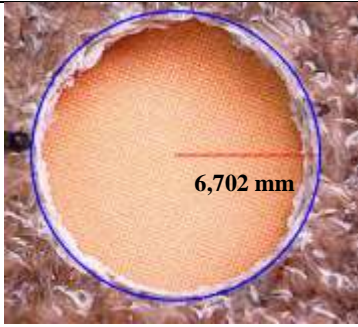
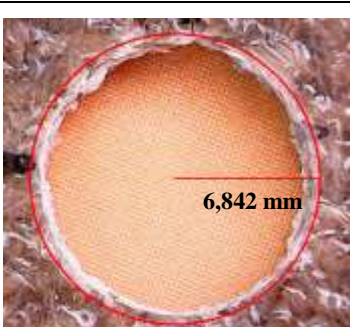
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón Recto
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,063	Probetas	
		1 E	1 E
			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,066	2 E	2 E
			

Tabla 28: Factor de delaminación a la entrada – Punzón recto probetas 3, 4

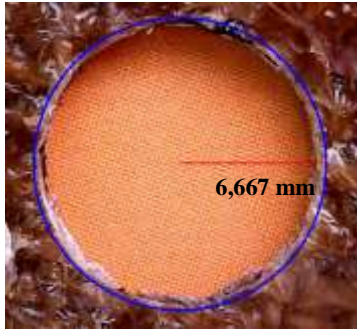
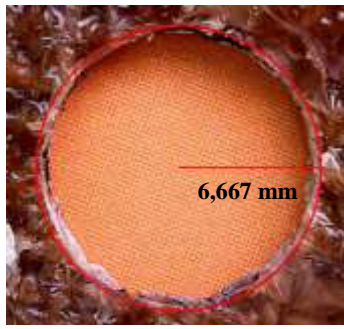
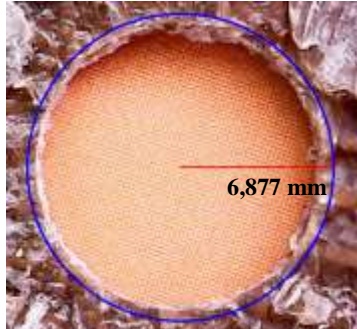
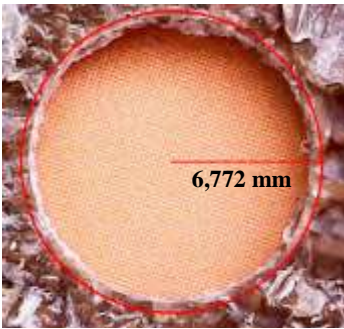
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón Recto
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,050	Probetas	
		3 E	3 E
			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,074	4 E	4 E
			

Tabla 29: Factor de delaminación a la entrada – Punzón recto probeta 5

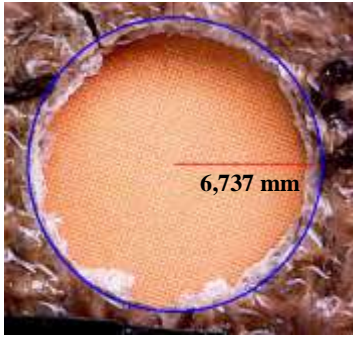
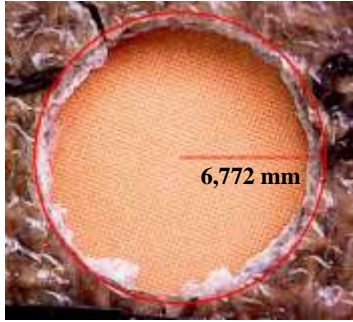
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón Recto
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,063	Probetas	
		5 E	5 E
			
PROMEDIO TOTAL: 1,063			
Observaciones: En la probeta número 5 se produjeron grietas afectando directamente la zona perforada.			

Tabla 30: Factor de delaminación a la entrada – Punzón recto probetas 1, 2

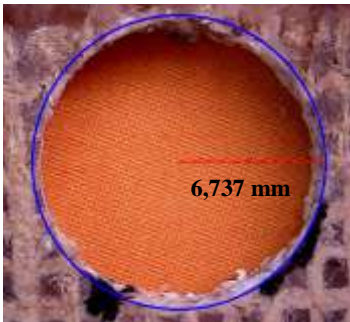
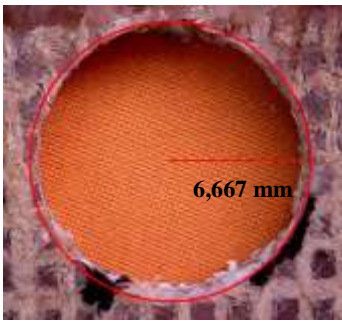
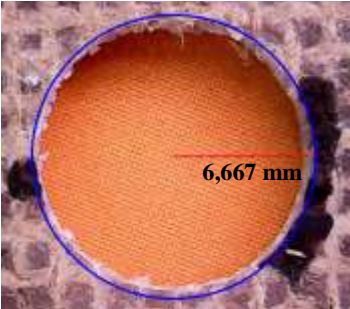
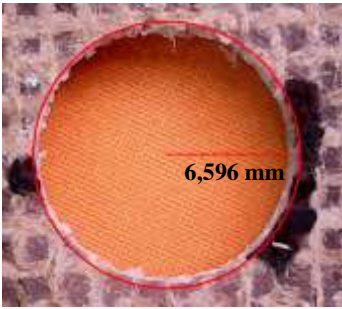
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón Recto
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,055	Probetas	
		1 E	1 E
			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,044	2 E	2 E
			

Tabla 31: Factor de delaminación a la entrada – Punzón recto probetas 3, 4


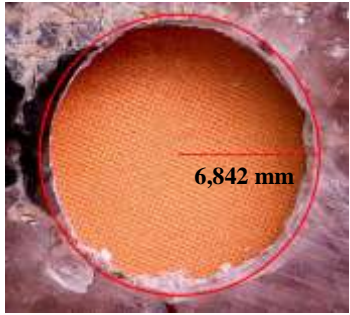
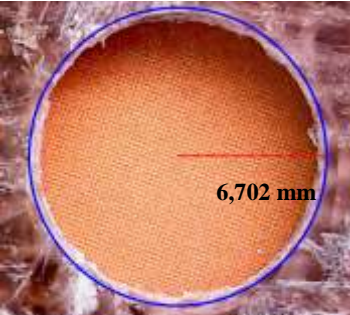

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón Recto
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,082	Probetas	
		3 E	3 E
			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,058	4 E	4 E
			

Tabla 32: Factor de delaminación a la entrada – Punzón recto probeta 5

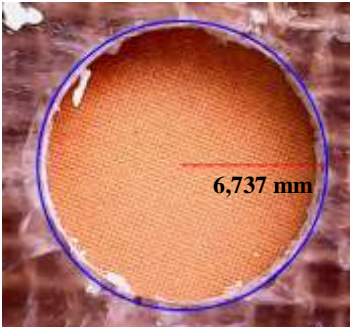
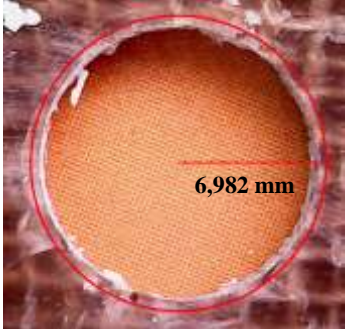
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón Recto
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1.080	Probetas	
		5 E	5 E
			
PROMEDIO TOTAL: 1,063			
Observaciones: En las 5 probetas se produjeron fisuras y grietas en el contorno de la zona perforada.			

Tabla 33: Factor de delaminación a la entrada – Punzón en W probetas 1, 2

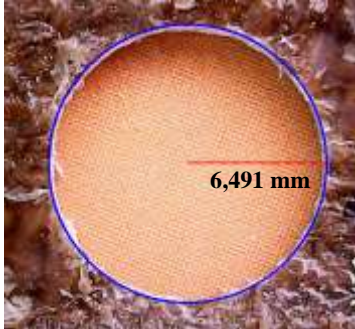
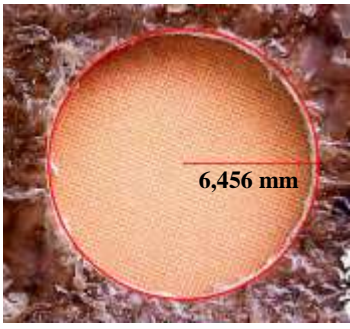
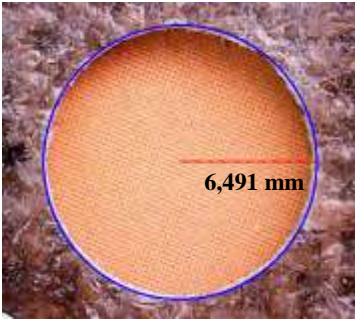
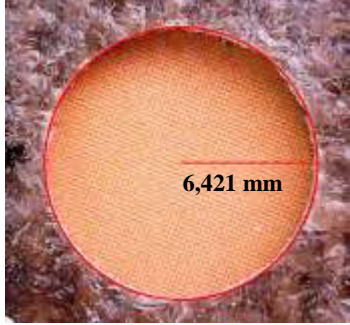
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón en W
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,019	Probetas	
		1 E	1 E
			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,016	2 E	2 E
			

Tabla 34: Factor de delaminación a la entrada – Punzón en W probetas 3, 4

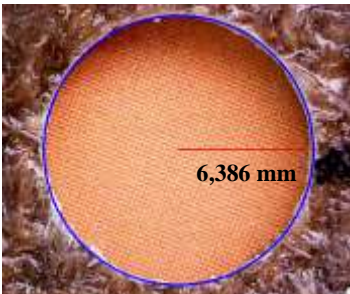
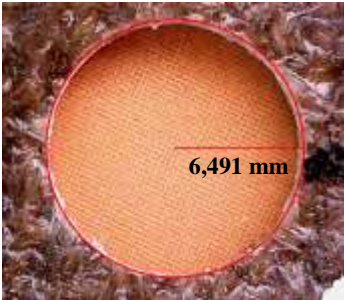
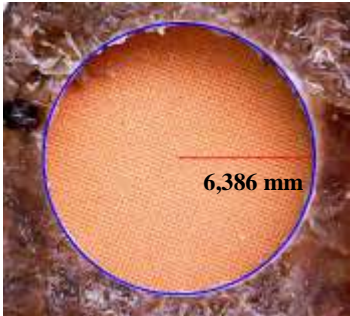
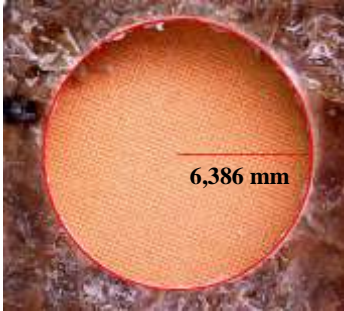
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón en W
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,013	Probetas	
		3 E	3 E
			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,005	4 E	4 E
			

Tabla 35: Factor de delaminación a la entrada – Punzón en W probeta 5

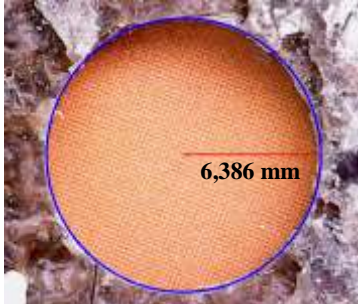
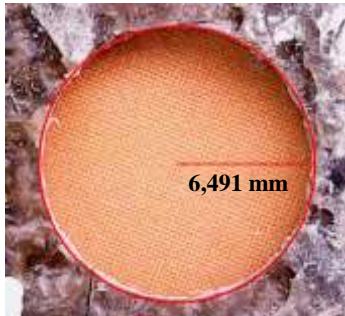
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón en W
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,013	Probetas	
		5 E	5 E
			
PROMEDIO TOTAL: 1,013			
Observaciones: La probeta número 5 tiene una fisura en el contorno de la zona perforada.			

Tabla 36: Factor de delaminación a la entrada – Punzón en W probetas 1, 2

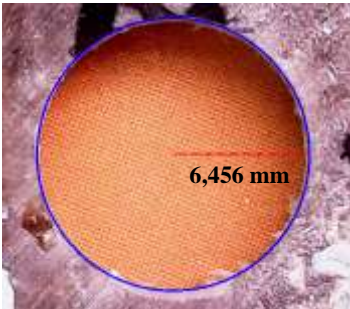
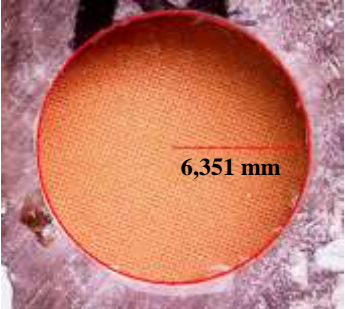
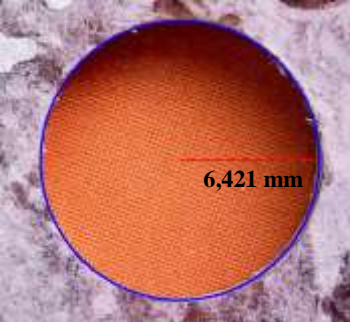
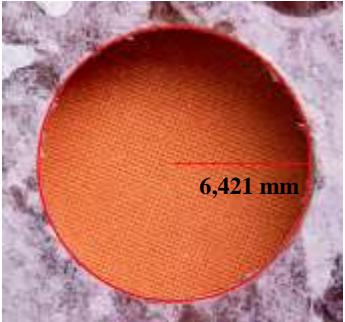
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón en W
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,008	Probetas	
		1 E	1 E
			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,011	2 E	2 E
			

Tabla 37: Factor de delaminación a la entrada – Punzón en W probetas 3, 4

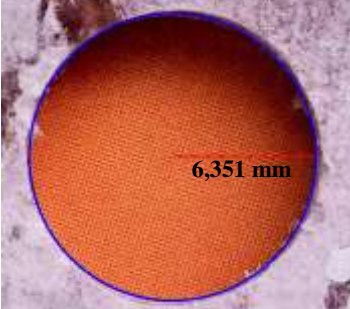
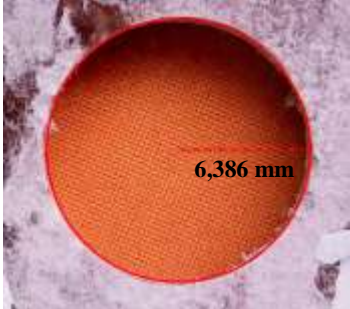
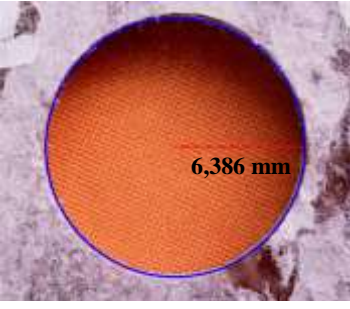
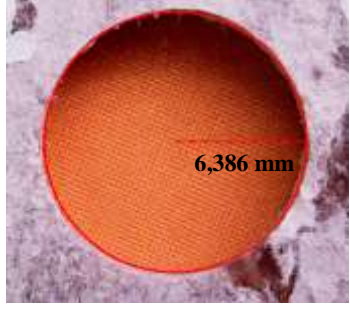
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón en W
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,002	Probetas	
		3 E	3 E
			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,005	4 E	4 E
			

Tabla 38: Factor de delaminación a la entrada – Punzón en W probeta 5

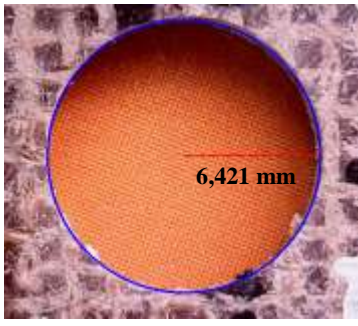
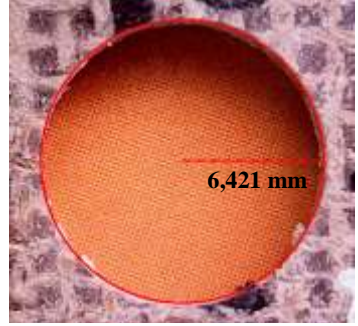
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón en W
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,011	Probetas	
		5 E	5 E
			
PROMEDIO TOTAL: 1,007			
Observaciones:			

Tabla 39: Factor de delaminación a la entrada – Punzón doble cizalla a 20° probetas 1, 2

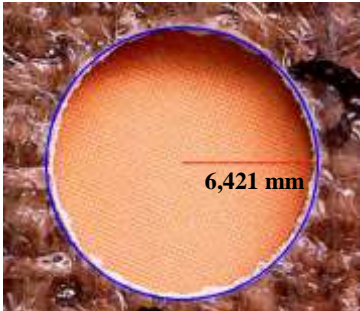
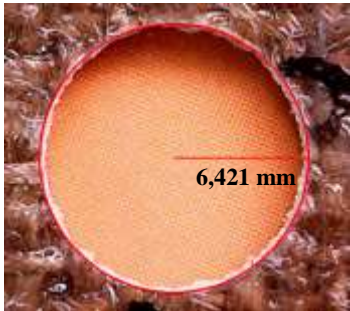
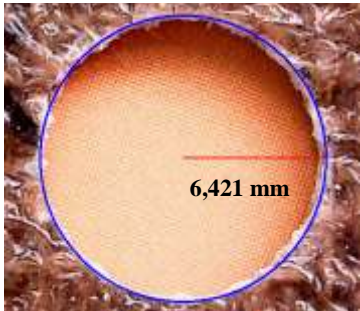
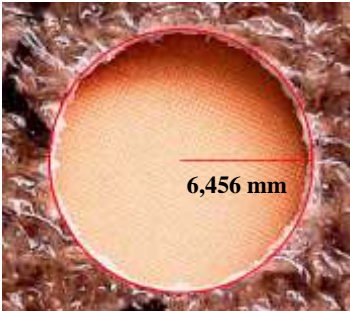
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón doble cizalla a 20°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,011	Probetas	
		1 E	1 E
			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,013	2 E	2 E
			

Tabla 40: Factor de delaminación a la entrada – Punzón doble cizalla a 20° probetas 3, 4

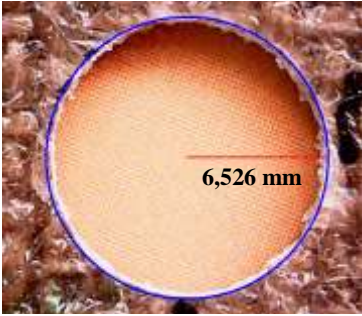
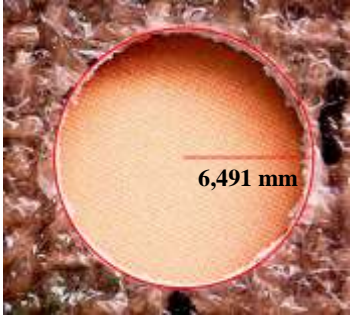
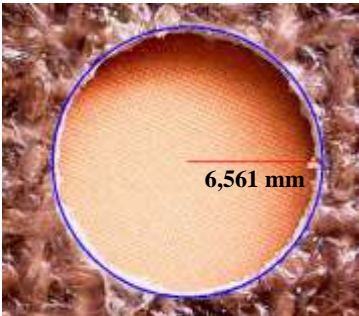
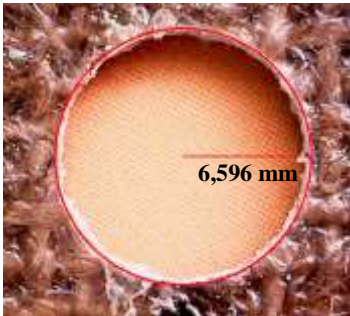
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón doble cizalla a 20°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,024	Probetas	
		3 E	3 E
			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,036	4 E	4 E
			

Tabla 41: Factor de delaminación a la entrada – Punzón doble cizalla a 20° probeta 5

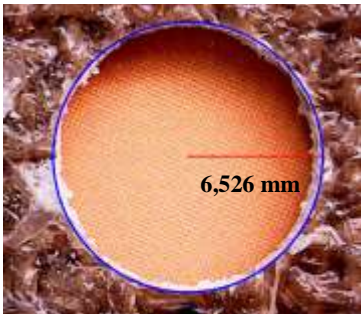
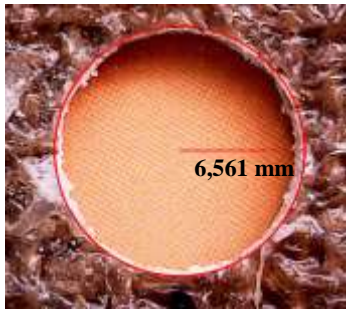
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón doble cizalla a 20°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,030	Probetas	
		5 E	5 E
			
PROMEDIO TOTAL: 1,022			
Observaciones:			

Tabla 42: Factor de delaminación a la entrada – Punzón doble cizalla a 20° probetas 1, 2

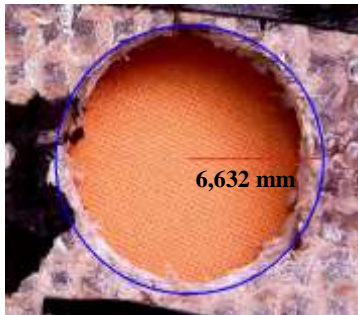
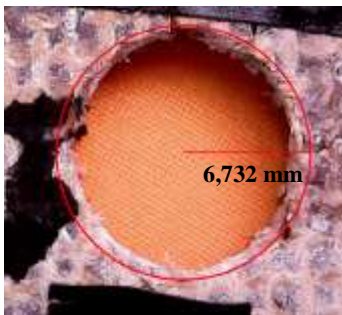
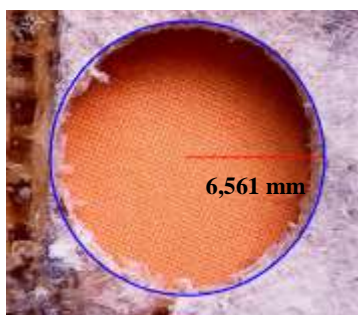
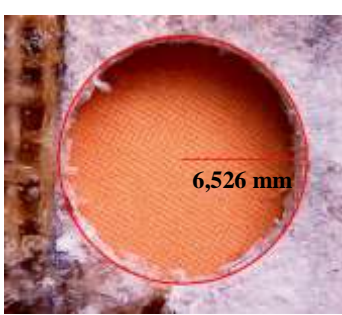
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón doble cizalla a 20°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,052	Probetas	
		1 E	1 E
			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,030	2 E	2 E
			

Tabla 43: Factor de delaminación a la entrada – Punzón doble cizalla a 20° probetas 3, 4

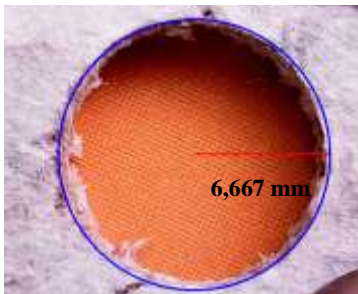
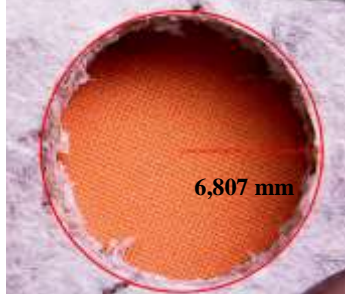
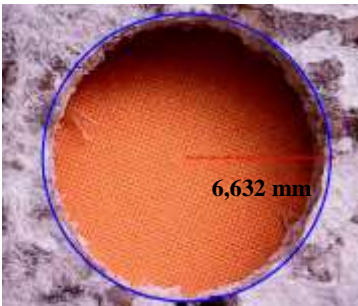
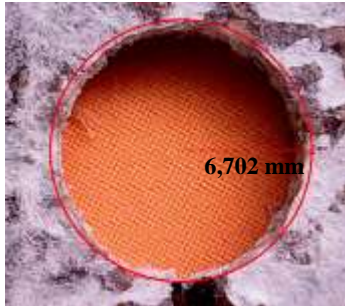
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón doble cizalla a 20°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,060	Probetas	
		3 E	3 E
			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,049	4 E	4 E
			

Tabla 44: Factor de delaminación a la entrada – Punzón doble cizalla a 20° probeta 5

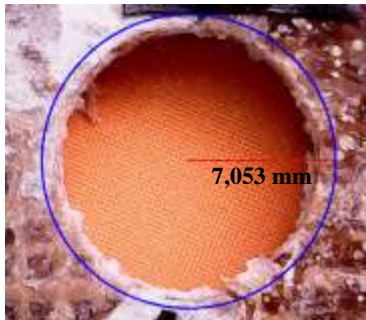
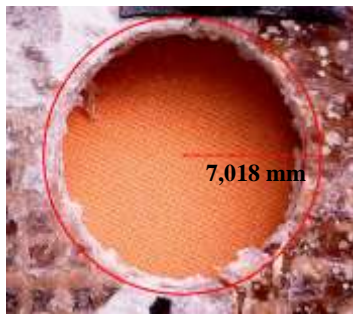
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón doble cizalla a 20°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,107	Probetas	
		5 E	5 E
			
PROMEDIO TOTAL: 1,060			
Observaciones: Las 5 probetas se encuentran con grietas y/o fisuras alrededor de la zona de corte.			

Tabla 45: Factor de delaminación a la entrada – Punzón a 30° probetas 1, 2

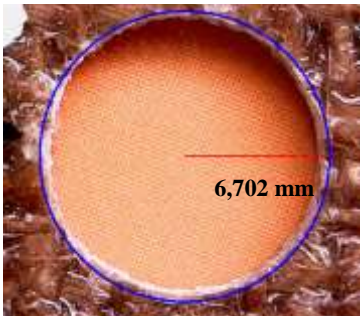
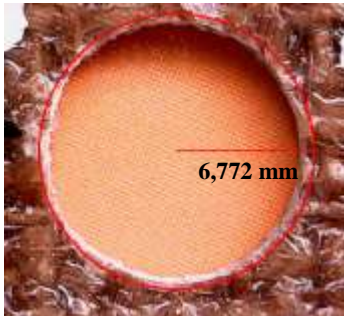
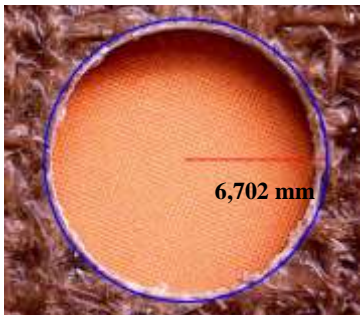
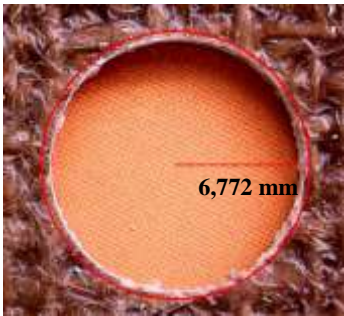
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón a 30°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,060	Probetas	
		1 E	1 E
			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,060	2 E	2 E
			

Tabla 46. Factor de delaminación a la entrada – Punzón a 30° probetas 3, 4

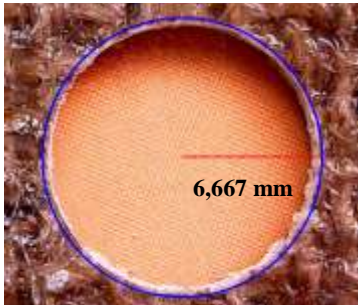
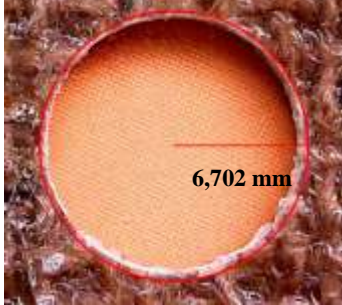
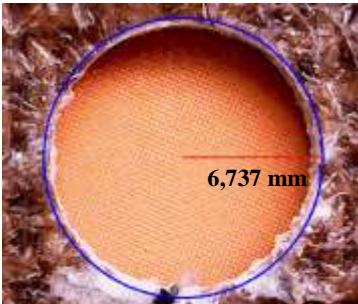
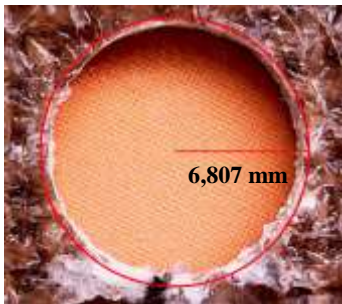
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón a 30°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,052	Probetas	
		3 E	3 E
			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,066	4 E	4 E
			

Tabla 47: Factor de delaminación a la entrada – Punzón a 30° probeta 5

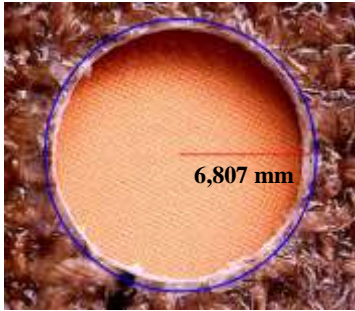
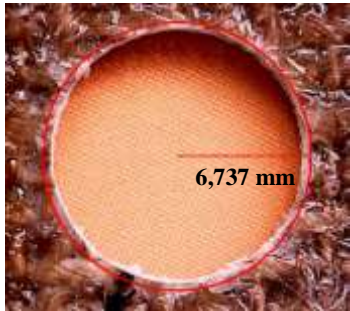
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón a 30°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,066	Probetas	
		5 E	5 E
			
PROMEDIO TOTAL: 1,060			
Observaciones: Las 5 probetas se encuentran con fisuras y/o grietas en su superficie y alrededor de la zona de corte.			

Tabla 48: Factor de delaminación a la entrada – Punzón a 30° probetas 1, 2

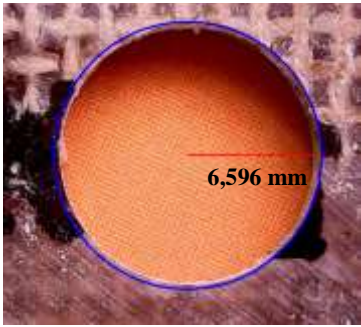
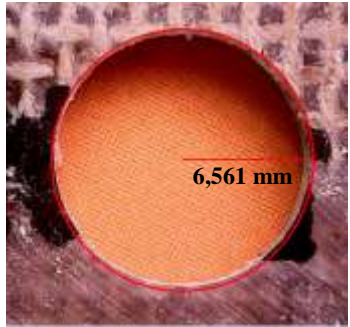
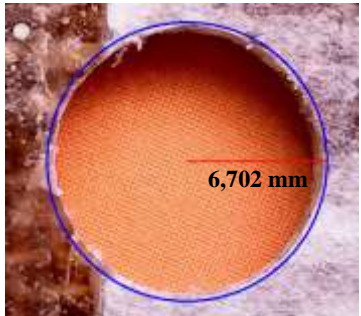
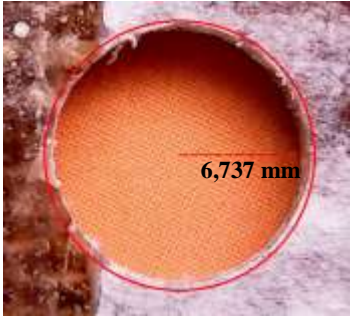
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón a 30°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,035	Probetas	
		1 E	1 E
			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,058	2 E	2 E
			

Tabla 49: Factor de delaminación a la entrada – Punzón a 30° probetas 3, 4

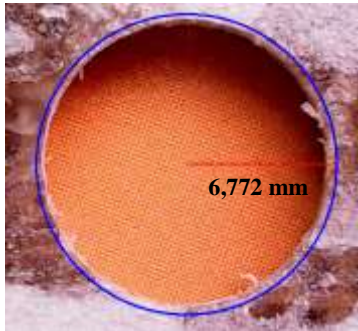
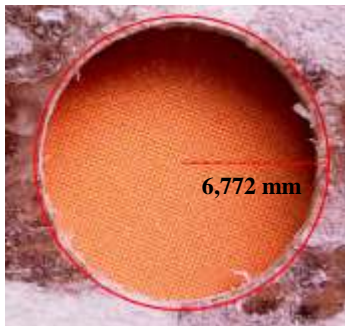
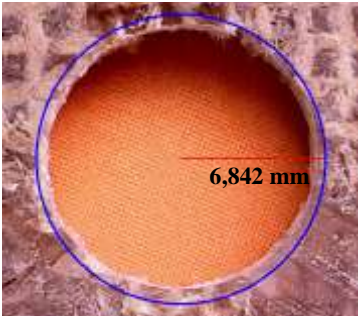
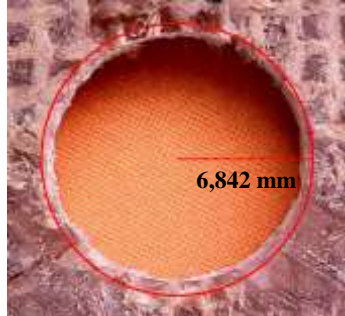
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón a 30°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,066	Probetas	
		3 E	3 E
			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,077	4 E	4 E
			

Tabla 50: Factor de delaminación a la entrada – Punzón a 30° probeta 5

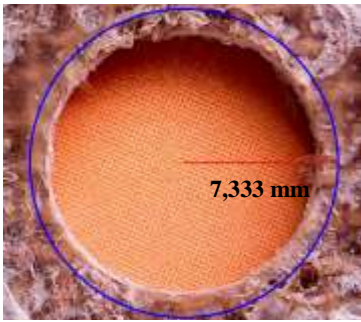
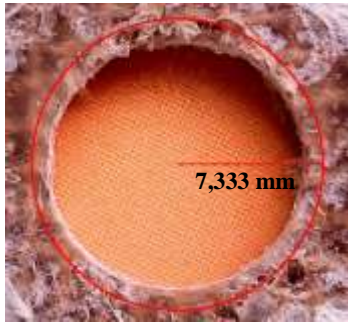
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón a 30°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Entrada (Fde)	Promedio: 1,154	Probetas	
		5 E	5 E
			
PROMEDIO TOTAL: 1,078			
Observaciones: Las 5 probetas se encuentran con fisuras y/o grietas en su superficie y alrededor de la zona de corte.			

Tabla 51: Factor de delaminación a la salida – Punzón recto probetas 1, 2

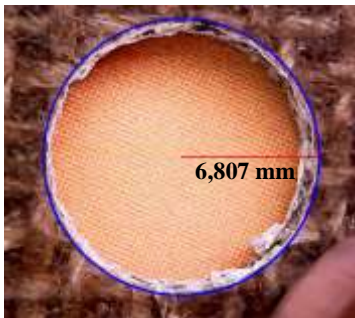
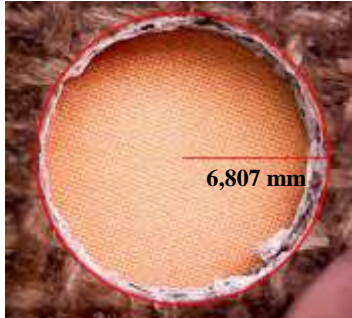
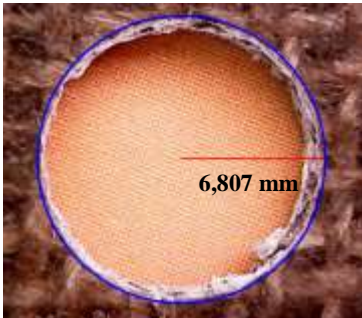
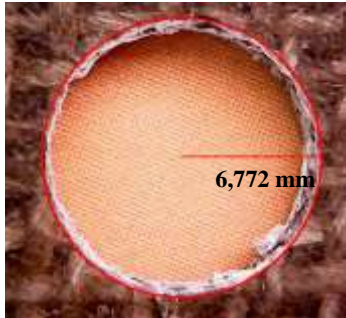
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón Recto
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,071	Probetas	
		1 S	1 S
			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,069	2 S	2 S
			

Tabla 52: Factor de delaminación a la salida – Punzón recto probetas 3, 4

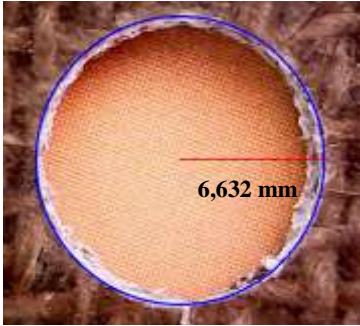
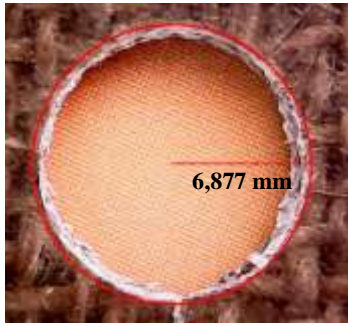
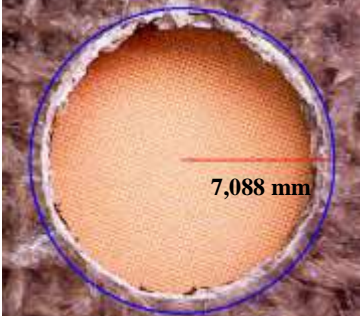
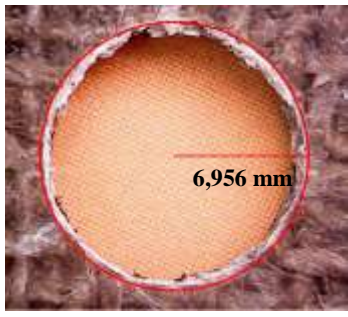
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón Recto
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,063	Probetas	
		3 S	3 S
			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,105	4 S	4 S
			

Tabla 53: Factor de delaminación a la salida – Punzón recto probeta 5

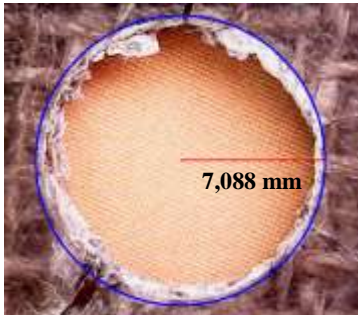
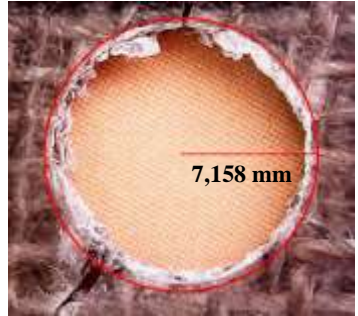
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón Recto
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,121	Probetas	
		5 S	5 S
			
PROMEDIO TOTAL: 1,085			
Observaciones: La probeta número 5 tiene una grieta en el contorno de la zona de corte.			

Tabla 54: Factor de delaminación a la salida – Punzón recto probetas 1, 2

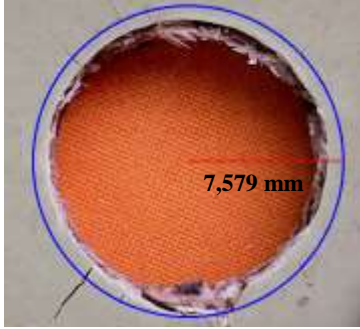
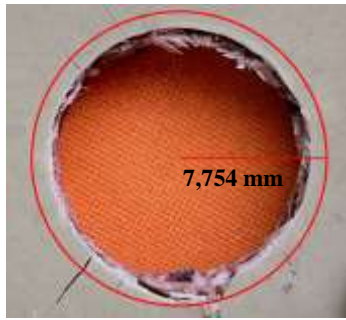
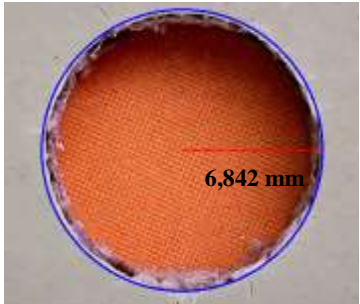
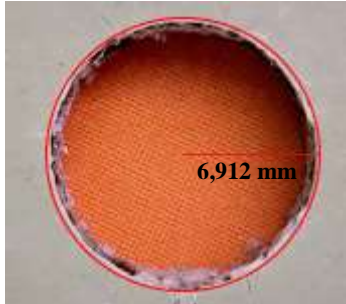
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón Recto
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,207	Probetas	
		1 S	1 S
			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,082	2 S	2 S
			

Tabla 55: Factor de delaminación a la salida – Punzón recto probetas 3, 4

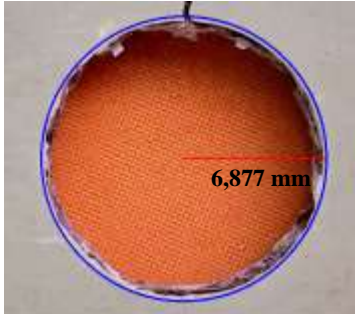

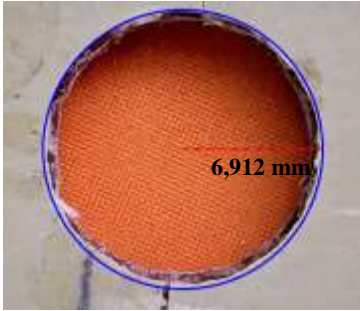

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón Recto
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,082	Probetas	
		3 S	3 S
			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,085	4 S	4 S
			

Tabla 56: Factor de delaminación a la salida – Punzón recto probeta 5

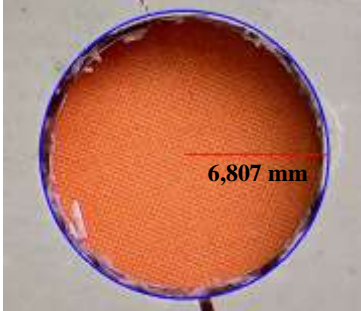
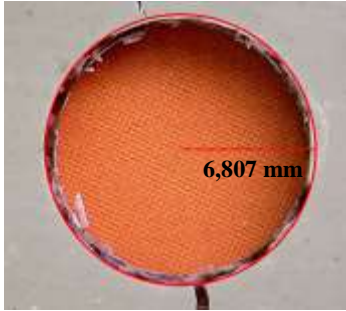
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón Recto
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,072	Probetas	
		5 S	5 S
			
PROMEDIO TOTAL: 1,105			
Observaciones: Las 5 probetas se encuentran con fisuras y/o grietas en su superficie y alrededor de la zona de corte.			

Tabla 57: Factor de delaminación a la salida – Punzón en W probetas 1, 2

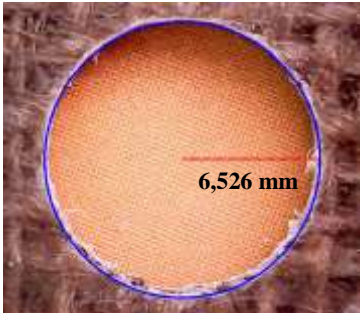
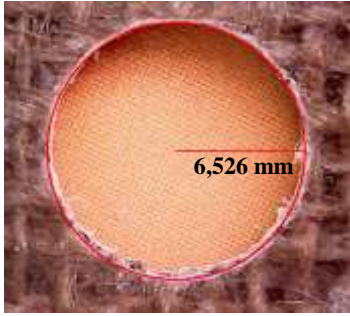
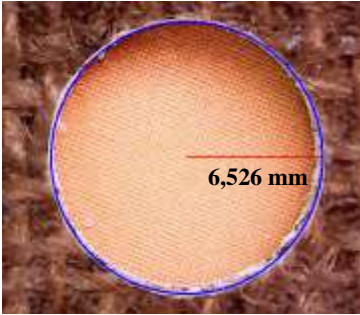
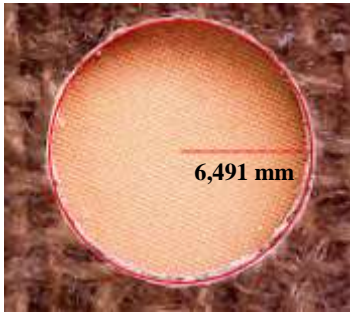
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón en W
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,027	Probetas	
		1 S	1 S
			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,024	2 S	2 S
			

Tabla 58: Factor de delaminación a la salida – Punzón en W probetas 3, 4

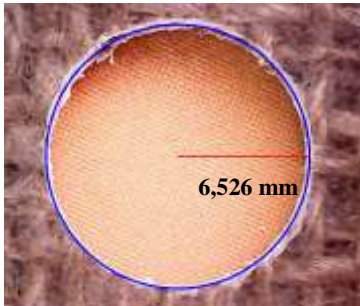
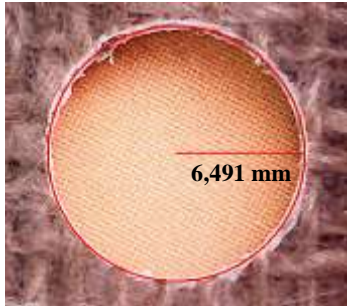
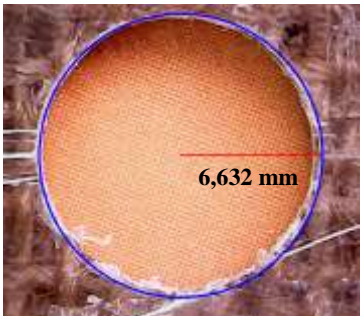
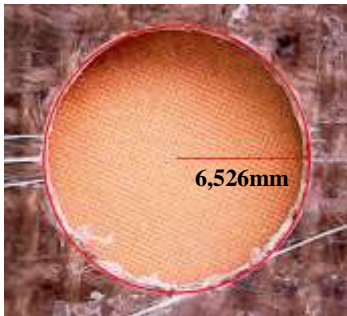
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón en W
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,024	Probetas	
		3 S	3 S
			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,036	4 S	4 S
			

Tabla 59: Factor de delaminación a la salida – Punzón en W probetas 5

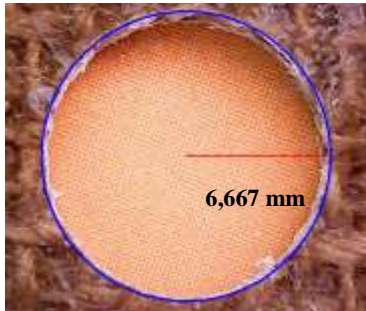
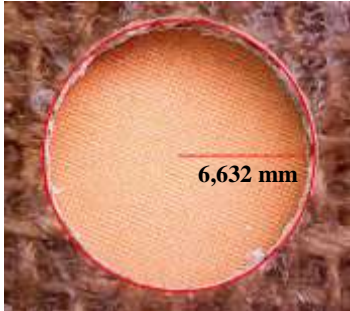
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón en W
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,047	Probetas	
		5 S	5 S
			
PROMEDIO TOTAL: 1,0316			
Observaciones:			

Tabla 60: Factor de delaminación a la salida – Punzón en W probetas 1, 2

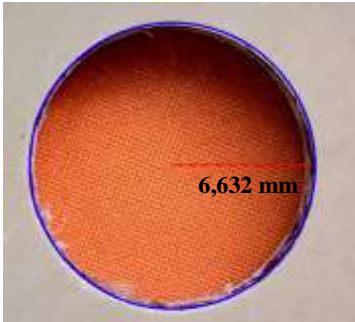
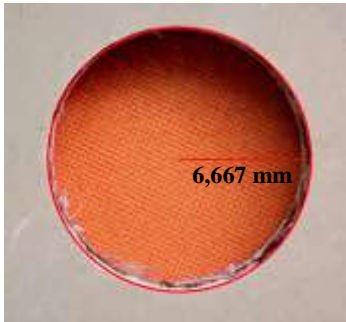
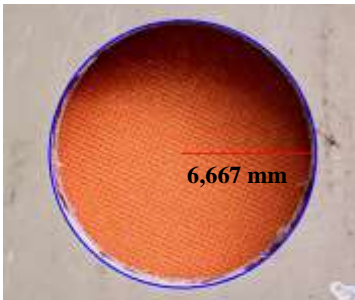
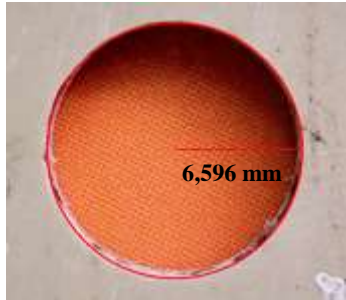
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón en W
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,047	Probetas	
		1 S	1 S
			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,044	2 S	2 S
			

Tabla 61: Factor de delaminación a la salida – Punzón en W probetas 3, 4

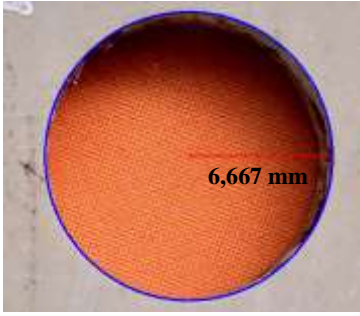
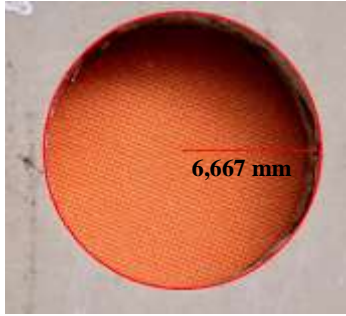
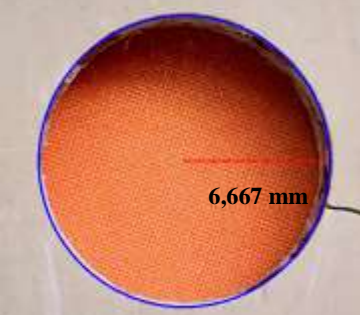
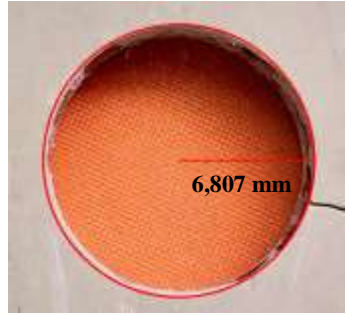
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón en W
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,049	Probetas	
		3 S	3 S
			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,060	4 S	4 S
			

Tabla 62: Factor de delaminación a la salida – Punzón en W probetas 5

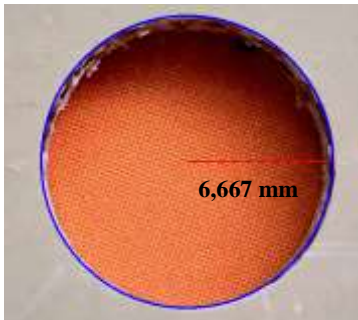
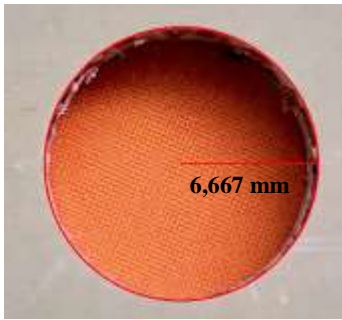
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón en W
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,049	Probetas	
		5 S	5 S
		 <p>6,667 mm</p>	 <p>6,667 mm</p>
PROMEDIO TOTAL: 1,049			
Observaciones: La probeta número 4 tiene una fisura en el contorno de la zona de corte.			

Tabla 63: Factor de delaminación a la salida – Punzón doble cizalla a 20° probetas 1, 2

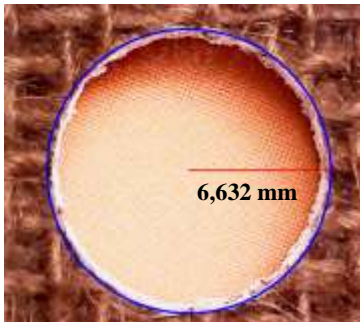
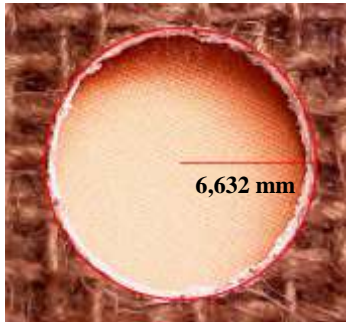
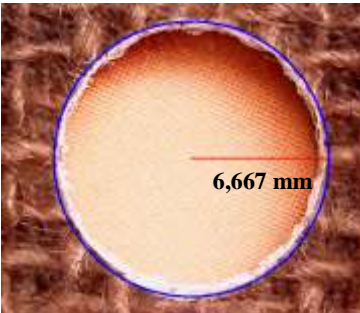
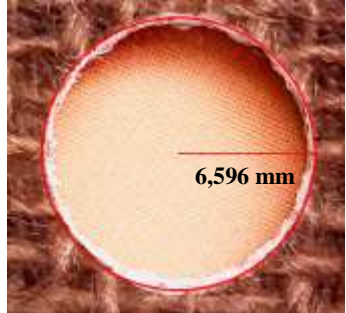
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón doble cizalla a 20°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,044	Probetas	
		1 S	1 S
			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,044	2 S	2 S
			

Tabla 64: Factor de delaminación a la salida – Punzón doble cizalla a 20° probetas 3, 4

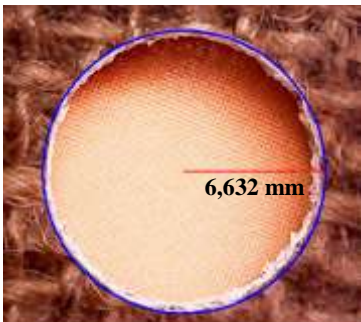
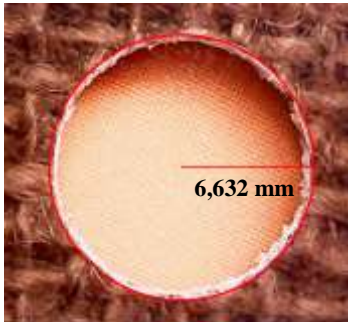
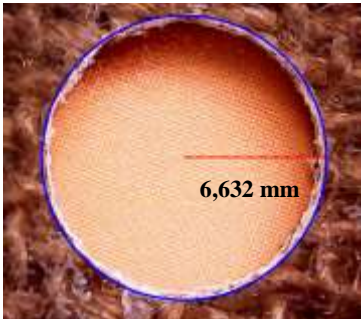
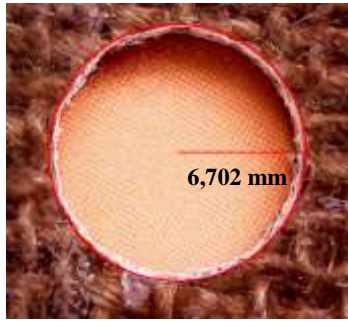
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón doble cizalla a 20°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,044	Probetas	
		3 S	3 S
			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,049	4 S	4 S
			

Tabla 65: Factor de delaminación a la salida – Punzón doble cizalla a 20° probeta 5

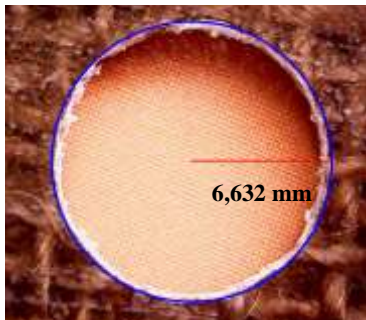
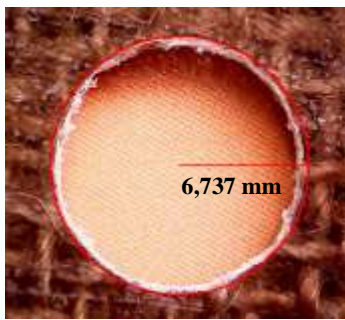
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón doble cizalla a 20°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,052	Probetas	
		5 S	5 S
			
PROMEDIO TOTAL: 1,046			
Observaciones:			

Tabla 66: Factor de delaminación a la salida – Punzón doble cizalla a 20° probetas 1, 2

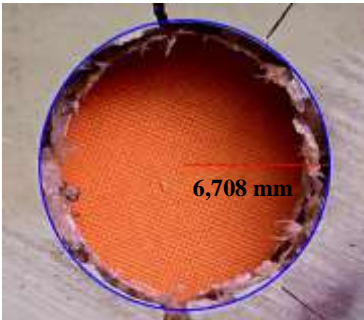
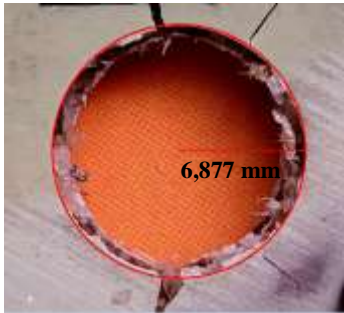
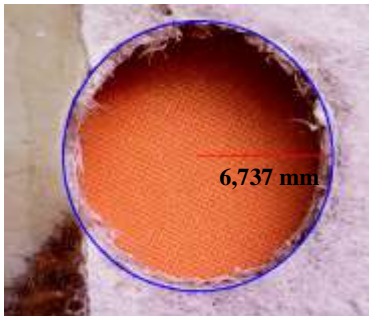
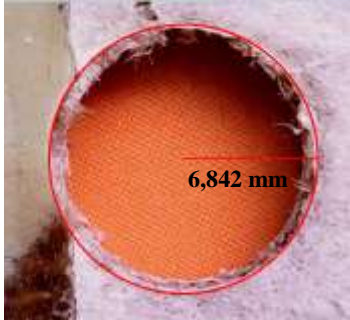
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón doble cizalla a 20°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,069	Probetas	
		1 S	1 S
			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,069	2 S	2 S
			

Tabla 67: Factor de delaminación a la salida – Punzón doble cizalla a 20° probetas 3, 4

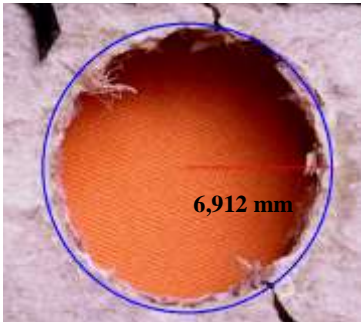
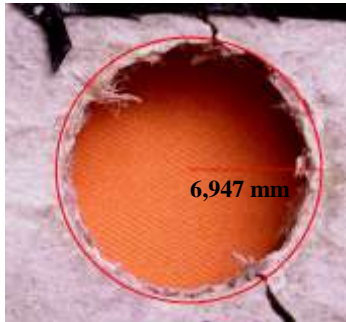
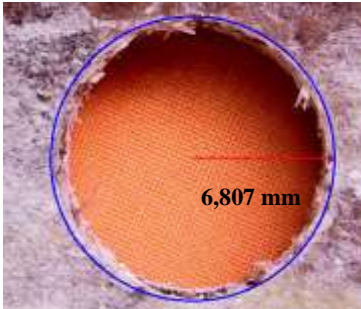
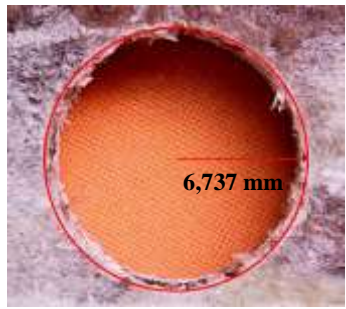
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón doble cizalla a 20°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,091	Probetas	
		3 S	3 S
			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,066	4 S	4 S
			

Tabla 68: Factor de delaminación a la salida – Punzón doble cizalla a 20° probeta 5

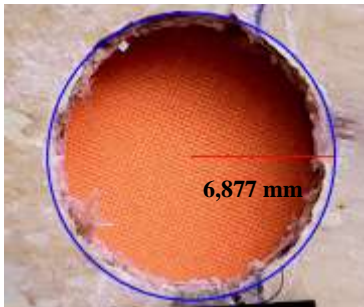
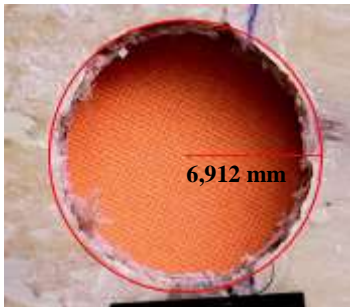
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón doble cizalla a 20°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,085	Probetas	
		5 S	5 S
			
PROMEDIO TOTAL: 1,076			
Observaciones: Las 5 probetas se encuentran con fisuras y/o grietas en su superficie y alrededor de la zona de corte.			

Tabla 69: Factor de delaminación a la salida – Punzón a 30° probetas 1, 2

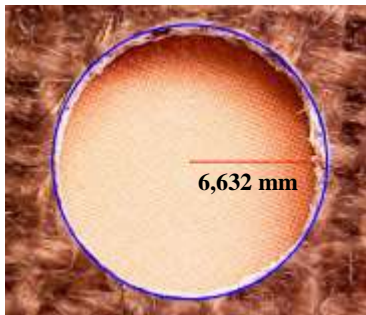
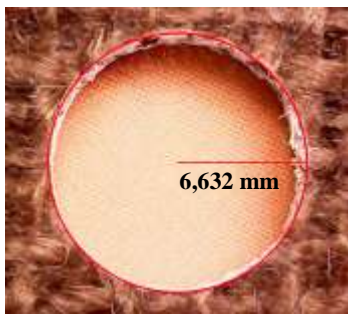
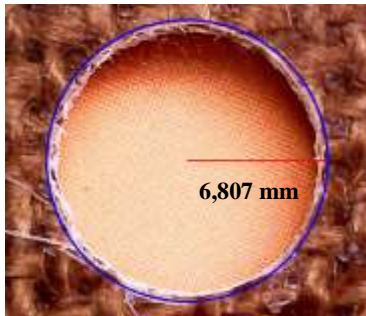
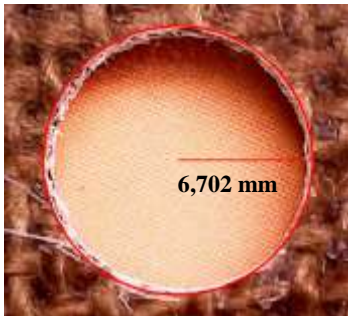
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón a 30°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,044	Probetas	
		1 S	1 S
			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,063	2 S	2 S
			

Tabla 70. Factor de delaminación a la salida – Punzón a 30° probetas 3, 4

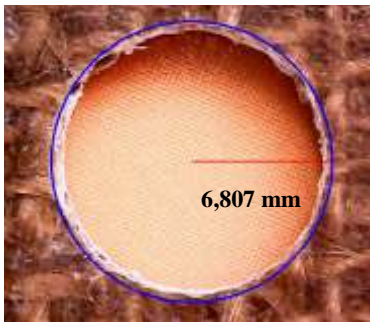
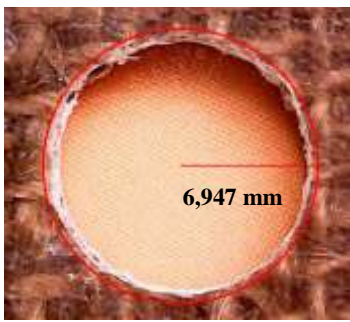
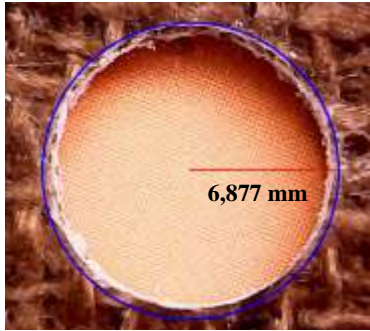
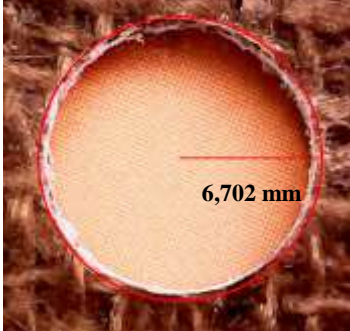
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón a 30°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,082	Probetas	
		3 S	3 S
			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,069	4 S	4 S
			

Tabla 71: Factor de delaminación a la salida – Punzón a 30° probeta 5

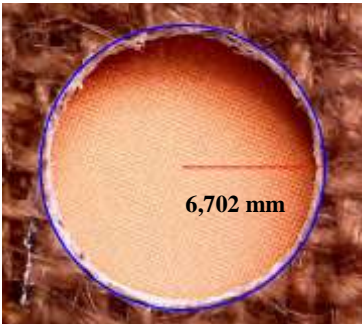
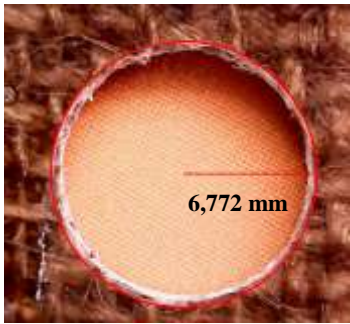
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón a 30°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Epoxi
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,060	Probetas	
		5 S	5 S
		 <p style="text-align: center;">6,702 mm</p>	 <p style="text-align: center;">6,772 mm</p>
PROMEDIO TOTAL: 1,063			
Observaciones:			

Tabla 72: Factor de delaminación a la salida – Punzón a 30° probetas 1, 2

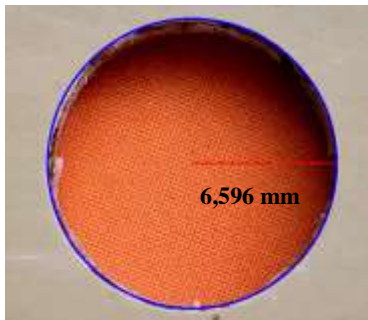
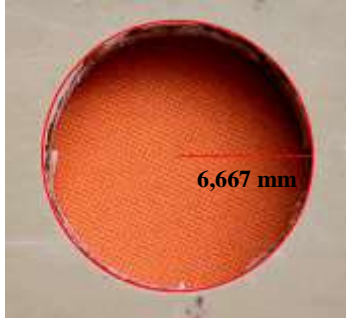
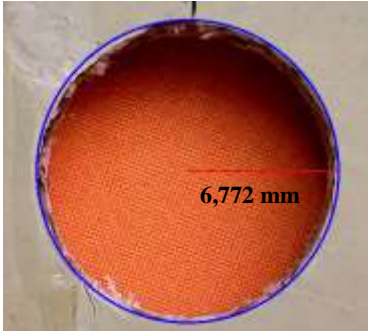
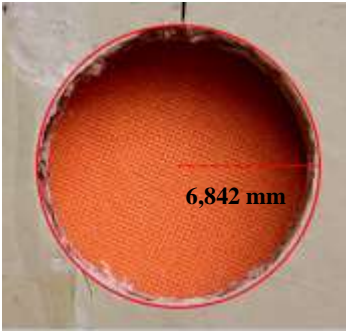
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón a 30°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,044	Probetas	
		1 S	1 S
			
		6,596 mm	6,667 mm
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,071	2 S	2 S
			
		6,772 mm	6,842 mm

Tabla 73: Factor de delaminación a la salida – Punzón a 30° probetas 3, 4

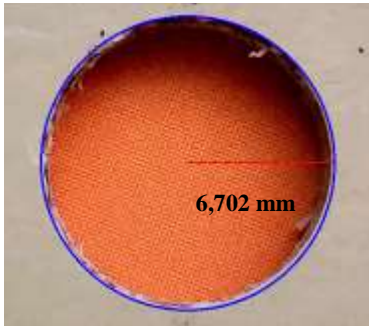
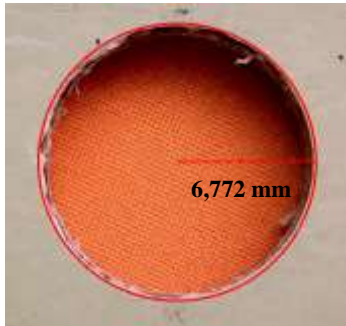
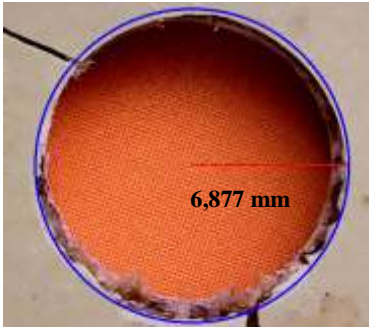
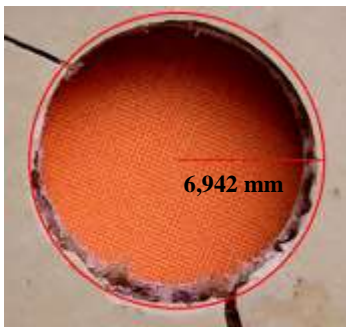
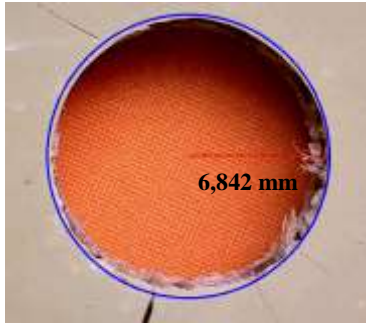
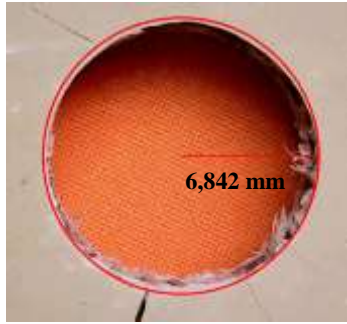
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón a 30°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,060	Probetas	
		3 S	3 S
			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,088	4 S	4 S
			

Tabla 74: Factor de delaminación a la salida – Punzón a 30° probeta 5

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Lucas Acosta	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón a 30°
Máquina troqueladora		Material compuesto	
Tonelaje :	15 tons.	Matriz :	Resina Poliéster
Velocidad :	200 mm/s	Refuerzo :	Fibra de yute
MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN			
Delaminación Salida (Fds)	Promedio: 1,077	Probetas	
		5 S	5 S
			
PROMEDIO TOTAL: 1,068			
Observaciones: Las 5 probetas se encuentran con fisuras y/o grietas en su superficie y alrededor de la zona de corte.			

3.9.2. Análisis de la zona de corte en el microscopio de barrido SEM

Tabla 75: Análisis de la zona de corte - punzón recto - probetas 1, 2

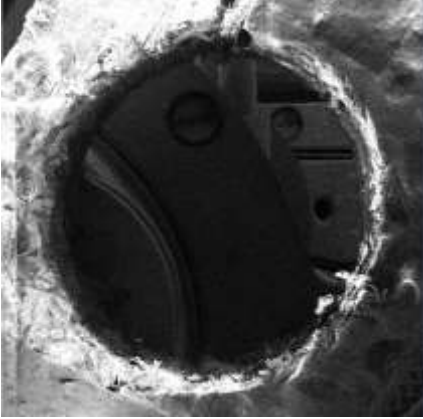

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Ing. Sebastián Villegas	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón recto
Equipo:	Microscopio de Barrido SEM	Ciudad:	Ambato
Zona de corte			
PROBETA 1 – R.E. YUTE			
PROBETA 2 – R.P. YUTE			

Tabla 76: Análisis de la zona de corte - punzón en W - probetas 1, 2

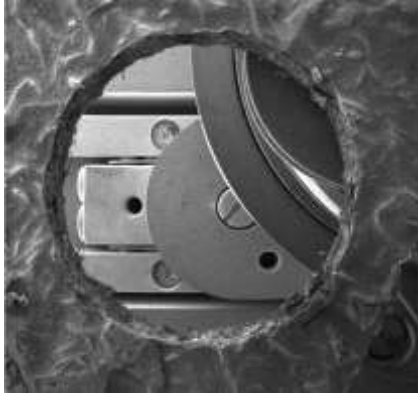
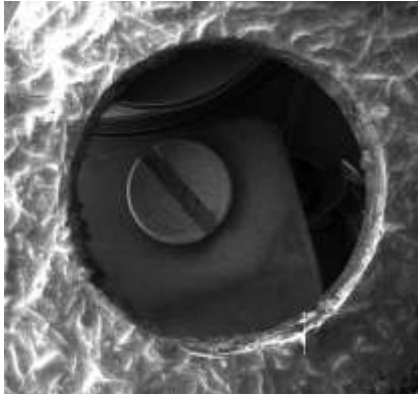
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Ing. Sebastián Villegas	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón en W
Equipo:	Microscopio de Barrido SEM	Ciudad:	Ambato
Zona de corte			
PROBETA 1 – R.E. YUTE			
PROBETA 2 – R.P. YUTE			

Tabla 77: Análisis de la zona de corte - punzón doble cizalla a 20° - probetas 1, 2

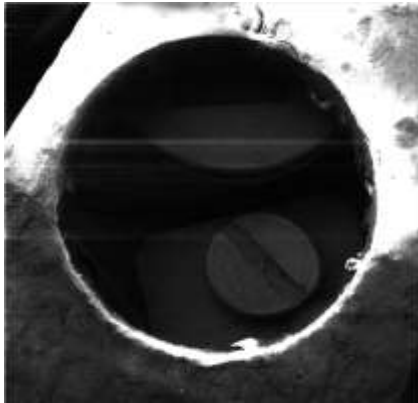

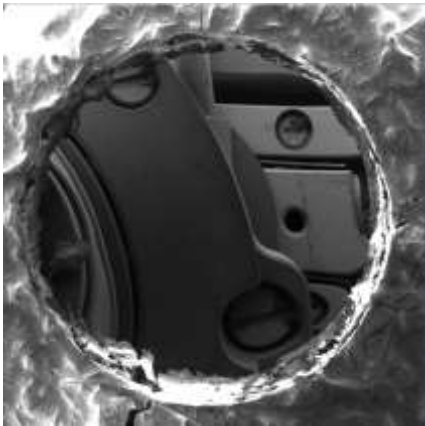
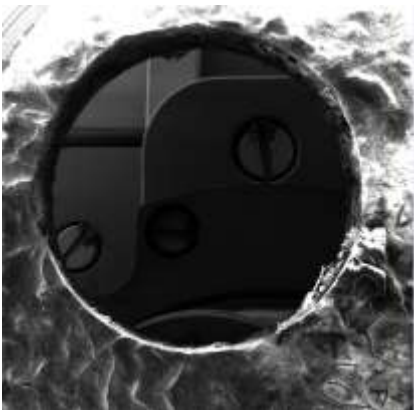
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Ing. Sebastián Villegas	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón doble cizalla a 20°
Equipo:	Microscopio de Barrido SEM	Ciudad:	Ambato
Zona de corte			
PROBETA 1 – R.E. YUTE			
PROBETA 2 – R.P. YUTE			

Tabla 78: Análisis de la zona de corte - punzón a 30° - probetas 1, 2

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
FACTOR DE DELAMINACIÓN			
Fecha:	28/01/2021	Proceso:	Punzonado
Realizado por:	Ing. Sebastián Villegas	Diámetro:	12,7 mm
Revisado por:	Ing. Cristian Pérez	Tipo de herramienta:	Punzón a 30°
Equipo:	Microscopio de Barrido SEM	Ciudad:	Ambato
Zona de corte			
PROBETA 1 – R.E. YUTE			
PROBETA 2 – R.P. YUTE			

En la tabla 75, es posible visualizar que en las dos probetas perforadas con el punzón recto la zona de corte tiene una calidad superficial baja debido a que presenta fisuras

y desprendimiento de fibras alrededor de la perforación. En la tabla 76, se muestra las perforaciones realizadas con el punzón en W, en donde la calidad del agujero es relativamente buena además de que no presenta ninguna anomalía o discontinuidad alrededor de la zona de corte.

En la tabla 77, y 78, se aprecia que los agujeros o perforaciones realizadas con los punzones de doble cizalla a 20° y cizalla simple a 30° respectivamente desprendimiento de las fibras de refuerzo, fisuras alrededor de la perforación y una calidad superficial baja.

3.10. Factor de Delaminación

3.10.1. Análisis del factor de Delaminación Entrada

Aplicación del método de Factorial Completo

Con el propósito de evaluar los factores y niveles que intervienen en este proyecto técnico se modificó la tabla de diseño como lo muestra la tabla 79, debido a que en el ensayo experimental intervinieron solo un material para el punzón (DIN 1.2510) y una fibra natural (Yute).

Tabla 79. Factores y niveles modificados para los ensayos experimentales.

FACTORES	NIVELES			
	1	2	3	4
Forma del punzón	Recto	W	Doble cizalla a 20°	Cizalla a 30°
Matriz	Epoxi	Poliéster	-	-

En base a la tabla 79, de factores y niveles se obtuvo el resumen de diseño el cual se detalla en la tabla 80.

Tabla 80. Resumen del diseño.

Factores:	2	Réplicas:	5
Corridas base:	8	Total de corridas:	40
Bloques base:	1	Total de bloques:	1

El método estadístico se aplica con el fin de analizar la influencia que tienen los

factores y niveles en el proceso de punzonado, por tal razón el estudio se orienta en la influencia de todos los términos como las posibles interacciones que existen entre ellos, en la tabla 81 se explica claramente que el o los factores que intervienen en el proceso afectan significativamente en la delaminación del material compuesto.

Tabla 81. Resultados de análisis de factorial completo - factor de delaminación a la entrada.

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor p
Modelo	7	0,025723	0,003675	8,63	0,000
Lineal	4	0,023001	0,005750	13,51	0,000
Forma del punzón	3	0,021513	0,007171	16,84	0,000
Tipo de matriz	1	0,001488	0,001488	3,50	0,071
Interacciones de 2 términos	3	0,002722	0,000907	2,13	0,116
Forma del punzón*Tipo de matriz	3	0,002722	0,000907	2,13	0,116
Error	32	0,013624	0,000426		
Total	39	0,039348			

En la figura 80 se especifica que el termino de primer orden en este caso la forma de punzón influye o genera mayor efecto sobre la delaminación del material a la entrada; aunque el factor B tipo de matriz está a poco de llegar a ser significativo en el estudio estadístico.

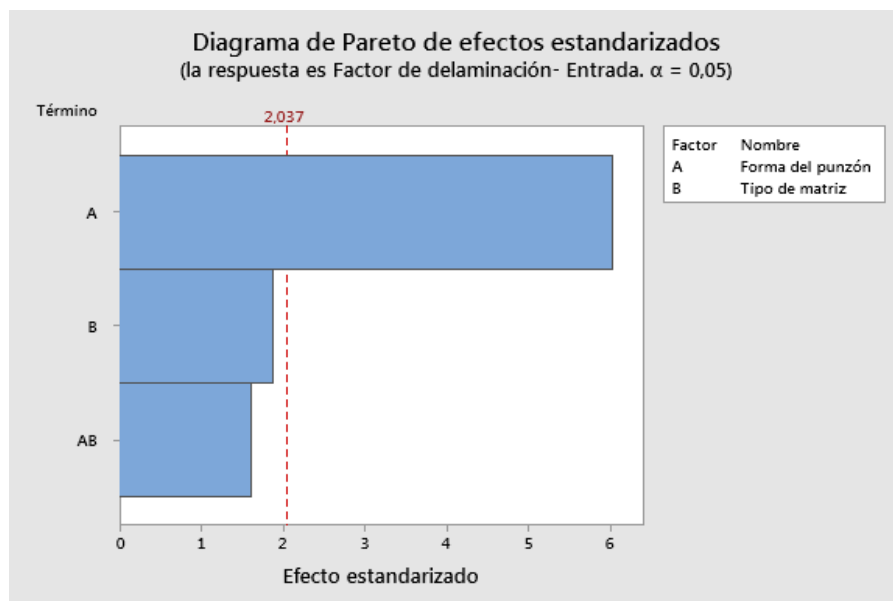


Figura 80: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del factor de delaminación a la entrada.

En la gráfica de probabilidad de Factor de delaminación – entrada con un nivel de significancia del 95% figura 81 se detalla en comportamiento de los datos, además describe el valor ideal que debería tener el factor de delaminación con una media de 1,046 es decir todos los datos obtenidos que estén en este valor o por debajo son los ideales o aceptables; por otro lado la desviación estándar calculada con los datos ingresados nos relata que tienen una desviación de 0,03176 es decir aproximadamente un 3,17 %, con lo que se deduce que los datos no están mayormente dispersos. El estadístico de Anderson Darling tiene un valor de 0,860 lo que se obedece al comportamiento de los datos es decir mientras mejor se ajuste la distribución el AD será menor.

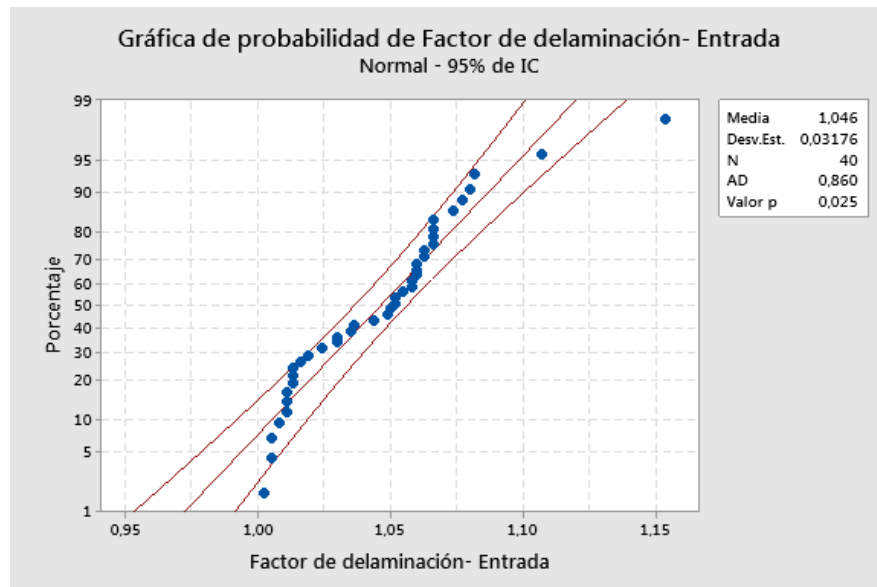


Figura 81: Gráfica de probabilidad normal de los datos del factor de delaminación a la entrada.

En la figura 82 se detalla la gráfica de efectos principales en donde se analiza detalladamente cuales términos están por debajo de la media de 1,046 de esta manera en la gráfica de forma del punzón vs el factor de delaminación se puede observar que el punzón en W genera la menor media del factor de delaminación en el material de 1,0103 seguido del punzón con doble cizalla a 20°; no así los punzones recto y el punzón a 30° cuya media del factor de delaminación es el mayor aproximadamente de 1,0694 que se encuentran por encima de la media estándar. Así mismo en la gráfica sobre el tipo de matriz vs el factor de delaminación se puede inferir que en el material cuya matriz sea la resina epoxi genera una menor media del

factor de delaminación de 1,04; no así cuando el material compuesto tenga una matriz de resina poliéster con una media del factor de delaminación de 1,0522 que se encuentra por encima de la media estándar.

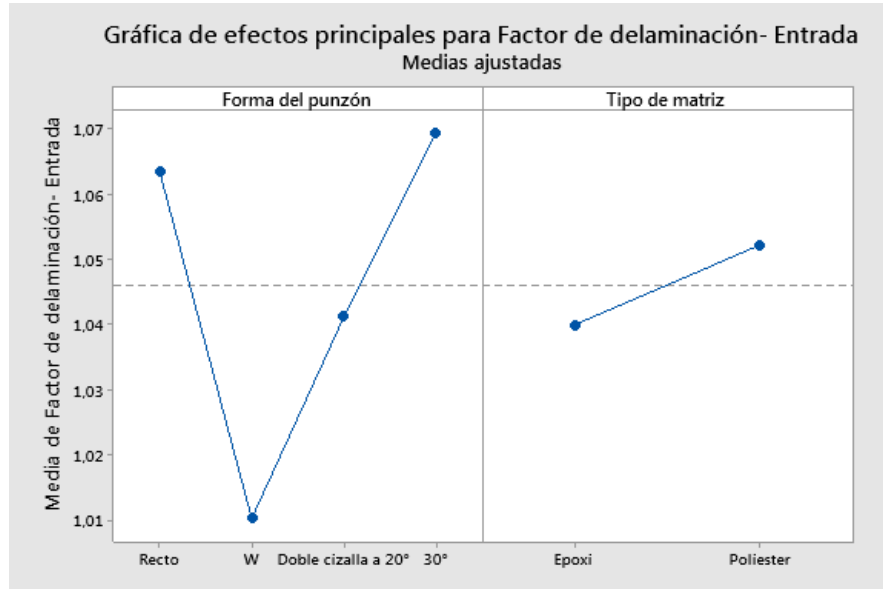


Figura 82: Gráfica de efectos principales del factor de delaminación a la entrada.

En la figura 83 se muestra las interacciones entre los términos como la forma del punzón y el tipo de matriz, mediante el análisis de la gráfica se comprueba que el punzón en W genera un menor factor de delaminación sea que se esté utilizando en materiales compuesto cuya matriz sea de resina epoxi o poliéster así mismo el punzón de doble cizalla a 20° empleado en materiales compuestos cuya matriz sea resina epoxi el factor de delaminación es aceptable es decir está por debajo del valor medio. Por otro lado las combinaciones restantes generan medias del factor de delaminación por encima de lo ideal es decir por encima de 1,046.

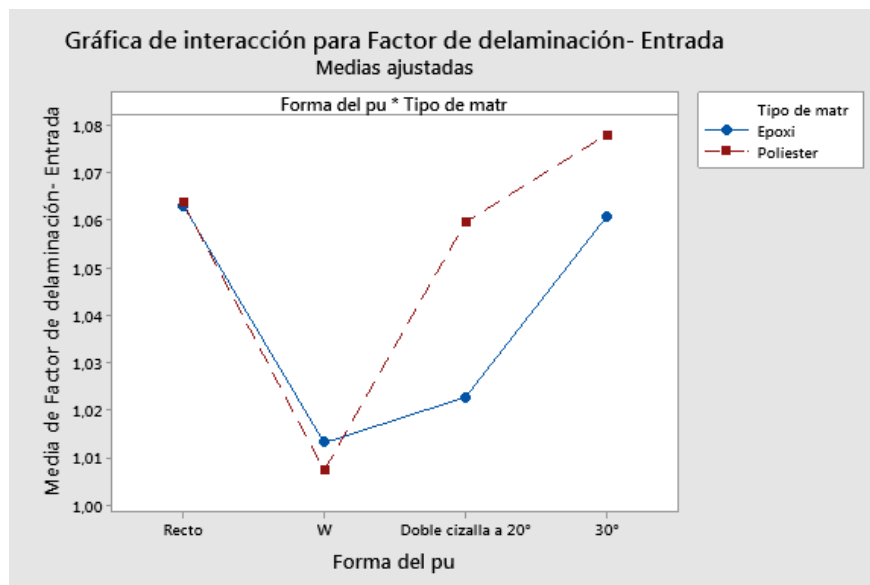


Figura 83: Gráfica de interacción entre los factores el tipo de matriz y la forma del punzón.

Los factores tratados en el estudio estadístico son la forma del punzón y el tipo de matriz; las combinaciones y valores óptimos se detallan en la tabla 82.

Tabla 82. Resultados obtenidos en el estudio estadístico del factor de delaminación a la entrada.

Factores	
Forma del punzón	Tipo de matriz
Punzón en W	Resina epoxi y poliéster
Punzón doble cizalla a 20°	Resina epoxi
Respuesta	
Factor de delaminación de entrada	1,046

3.10.2. Análisis del factor de Delaminación Salida

En base a la tabla 79, de factores y niveles se obtuvo el resumen de diseño el cual se detalla en la tabla 83.

Tabla 83. Resumen del diseño del factor de delaminación a la salida.

Factores:	2	Réplicas:	5
Corridas base:	8	Total de corridas:	40
Bloques base:	1	Total de bloques:	1

El método estadístico se aplica con el fin de analizar la influencia que tienen los factores y niveles en el proceso de punzonado, por tal razón el estudio se orienta en la influencia de todos los términos como las posibles interacciones que existen entre ellos, en la tabla 84 se explica claramente que el o los factores que intervienen en el proceso afectan significativamente en la delaminación del material compuesto a la salida.

Tabla 84. Resultados de análisis de factorial completo - factor de delaminación a la salida.

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor p
Modelo	7	0,019460	0,002780	4,79	0,001
Lineal	4	0,018665	0,004666	8,04	0,000
Forma del punzón	3	0,015442	0,005147	8,87	0,000
Tipo de matriz	1	0,003222	0,003222	5,55	0,025
Interacciones de 2 términos	3	0,000795	0,000265	0,46	0,714
Forma del punzón*Tipo de matriz	3	0,000795	0,000265	0,46	0,714
Error	32	0,018572	0,000580		
Total	39	0,038032			

En la figura 84 se especifica que el termino de primer orden en este caso la forma de punzón influye o genera mayor efecto sobre la delaminación del material a la salida, aunque el factor B tipo de matriz influye de igual manera pero en un porcentaje menor.

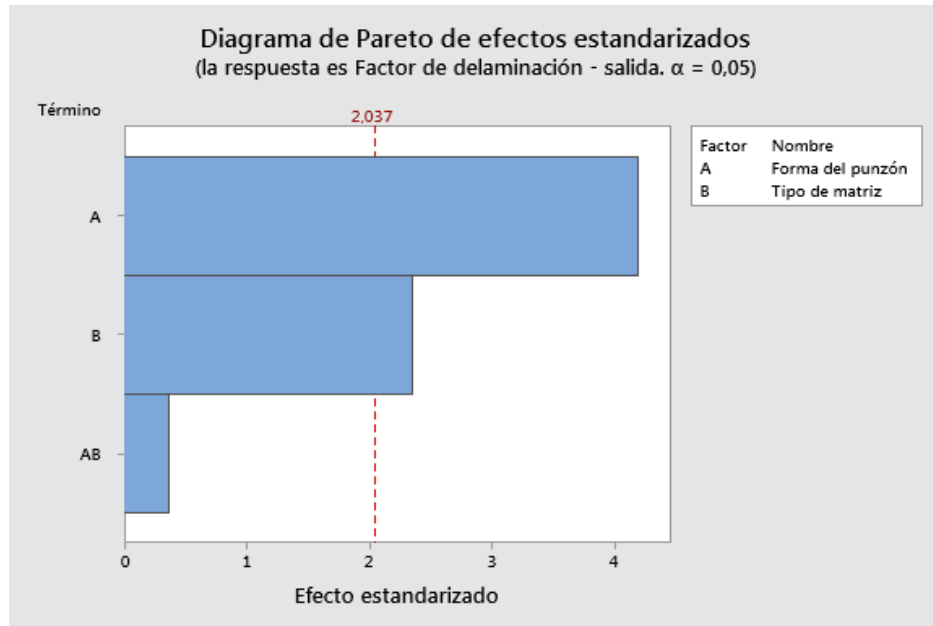


Figura 84: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el factor de delaminación a la salida.

En la gráfica de probabilidad de Factor de delaminación – entrada con un nivel de significancia del 95% figura 85 se detalla en comportamiento de los datos, además describe el valor ideal que debería tener el factor de delaminación con una media de 1,066 es decir todos los datos obtenidos que estén en este valor o por debajo son los ideales o aceptables; por otro lado la desviación estándar calculada con los datos ingresados nos relata que tienen una desviación de 0,03123 es decir aproximadamente un 3,123 %, con lo que se deduce que los datos no están mayormente dispersos. El estadístico de Anderson Darling tiene un valor de 1,580 lo que se obedece al comportamiento de los datos es decir mientras mejor se ajuste la distribución el AD será menor.

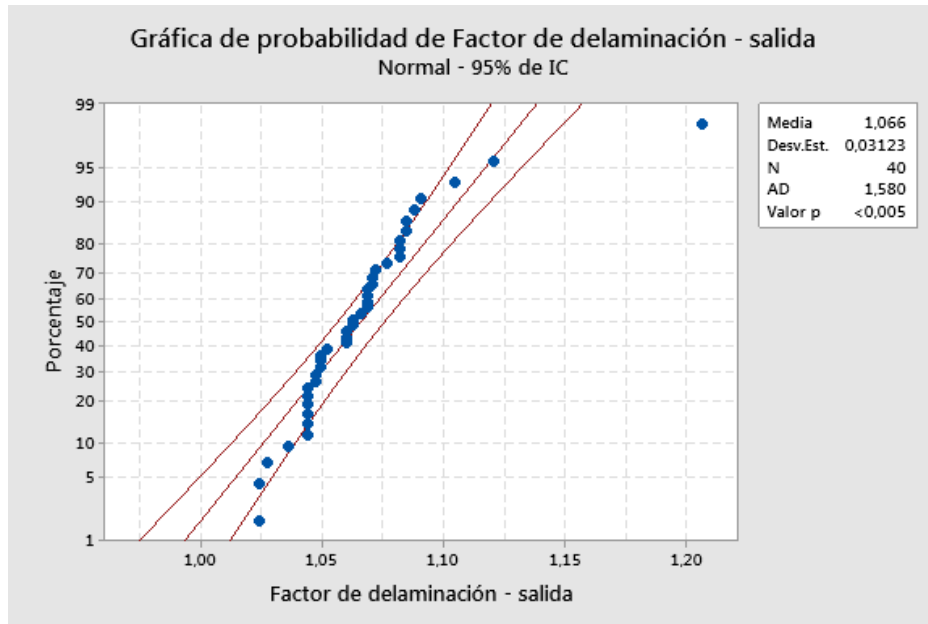


Figura 85: Gráfica de probabilidad del factor de delaminación a la salida.

En la figura 86 se detalla la gráfica de efectos principales en donde se analiza detalladamente cuales términos están por debajo de la media de 1,066 de esta manera en la gráfica de forma del punzón vs el factor de delaminación se puede observar que el punzón en W genera la menor media de 1,0407 seguido del punzón con doble cizalla a 20° y el punzón a 30°; no así el punzón recto cuya media del factor de delaminación es el mayor aproximadamente de 1,0957 que se encuentran por encima de la media. Así mismo en la gráfica sobre el tipo de matriz vs el factor de delaminación se puede inferir que en el material cuya matriz sea la resina epoxi genera una media de 1,0569; no así cuando el material compuesto tenga una matriz de resina poliéster con una media del factor de delaminación de 1,0748 que se encuentra por encima de la media estándar.

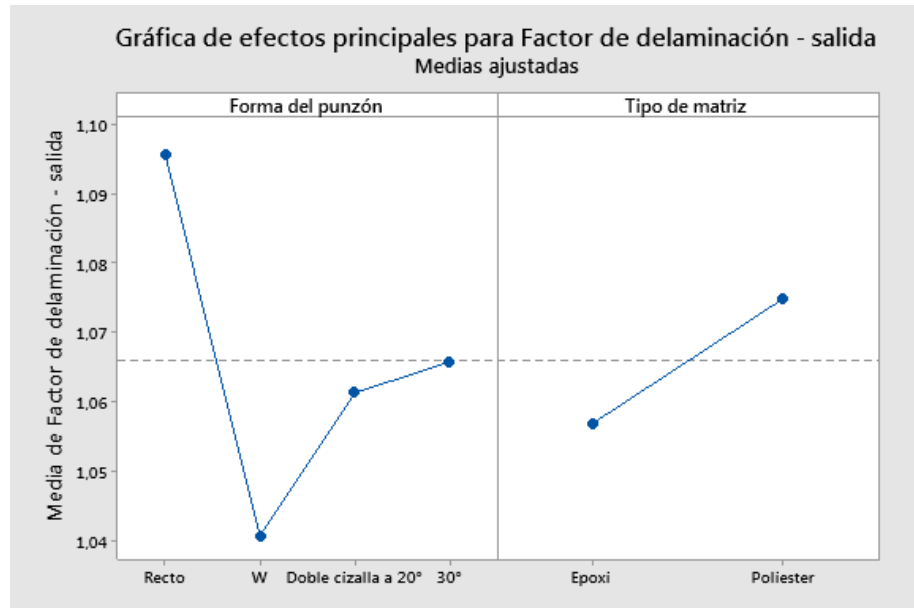


Figura 86: Gráfica de efectos principales del factor de delaminación a la salida.

En la figura 87 se muestra las interacciones entre los términos como la forma del punzón y el tipo de matriz, mediante el análisis de la gráfica se comprueba que el punzón en W genera un menor factor de delaminación sea que se esté utilizando en materiales compuesto cuya matriz sea de resina epoxi o poliéster así mismo el punzón de doble cizalla a 20° empleado en materiales compuestos cuya matriz sea resina epoxi el factor de delaminación es aceptable es decir está por debajo del valor medio. Por otro lado las combinaciones restantes generan un factor de delaminación por encima de lo ideal es decir por encima de la media estándar de 1,066.

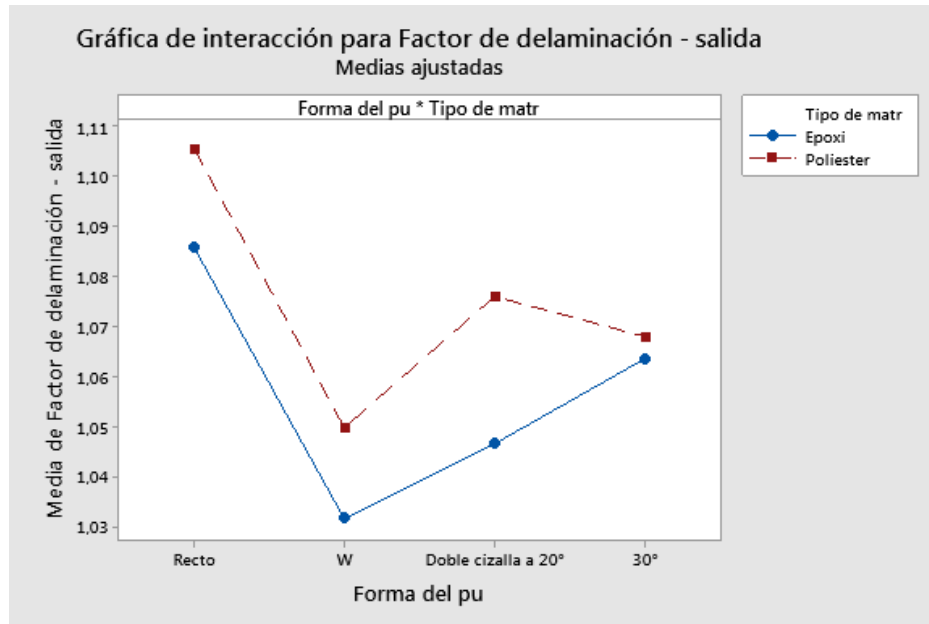


Figura 87: Representación gráfica de las interacciones entre los factores tipo de matriz y forma del punzón.

Los factores tratados en el estudio estadístico son la forma del punzón y el tipo de matriz; las combinaciones y valores óptimos se detallan en la tabla 85.

Tabla 85. Resultados obtenidos en el estudio estadístico del factor de delaminación a la salida.

Factores	
Forma del punzón	Tipo de matriz
Punzón en W	Resina epoxi y poliéster
Punzón doble cizalla a 20°	Resina epoxi
Punzón a 30°	Resina epoxi y poliéster
Respuesta	
Factor de delaminación de salida	1,066

3.11. Verificación de hipótesis

Ho: La configuración del punzón es decir el tipo de afilado o de cizalla no influye en el proceso del corte del material compuesto.

Ha: La configuración del punzón es decir el tipo de afilado o de cizalla influye en el proceso del corte del material compuesto.

Según el análisis estadístico por medio del método de factorial completo se determina que los factores como la forma del punzón y el tipo de resina influyen y/o afecta significativamente en el proceso de punzonado del material compuesto.

El análisis estadístico que respecta al factor de delaminación a la entrada y a la salida se consigue un p – valor de significancia de 0,000. Dando como resultado que el p – valor < 5%.

Por tal motivo en el estudio estadístico del factor de delaminación a la entrada el factor con mayor influencia es el de la forma del punzón con un p – valor de 0,000 lo cual resulta en una influencia con mayor porcentaje en el proceso de punzonado.

En el estudio del factor de delaminación los dos factores estudiados como es la forma del punzón y el tipo de matriz influyen en el proceso de punzonado con un p – valor de 0,000 y de 0,025; por el contrario la interacción entre ambos factores no es influyente en el proceso.

De tal forma se verifica que los dos factores influyen en el proceso de punzonado pero el factor que mayor porcentaje de influencia tiene es el de la forma o configuración de los punzones.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- El material por el cual se optó para el diseño y la construcción de los punzones fue el acero DF2 – DIN 1.2510, los parámetros que más sobresalen en el diseño del punzón son el diámetro que se planteó de 12,7 mm o ½”, además de su altura total de 70 mm.
- En el diseño CAD de los punzones se consideró 4 formas o configuraciones en lo que se refiere a la zona de corte que son: recto, en W, doble cizalla a 20° y cizalla simple a 30°.
- Para la simulación del proceso de punzonado se tomó en cuenta la configuración del material como es el espesor de aproximadamente de 4 mm, las dimensiones de 200 x 25 mm, además de sus propiedades mecánicas para que los resultados obtenidos estén acorde a la realidad del proceso.
- Los resultados obtenidos en la simulación muestran que el punzón en W, el punzón de doble cizalla a 20° y el punzón en ángulo a 30° en promedio poseen menores esfuerzos debido al trabajo de corte – troquelado de los materiales compuestos y además generan en las placas un menor esfuerzo de corte.
- El proceso de punzonado en la fase experimental fue realizado en dos materiales compuestos como son: uno está conformado por una matriz polimérica (resina epoxi), con fibras naturales (fibra de yute) y el segundo conformado por una matriz polimérica (resina poliéster), con fibras naturales (fibra de yute).
- En base al análisis de los resultados del factor de delaminación aplicando el método estadístico de factorial completo, se establece la condición óptima en la

que el material compuesto no se ve mayormente afectado y con una mejor calidad superficial; el mismo que se consigue al trabajar con el tipo de punzón en W aplicado tanto en materiales compuestos que estén conformados por una matriz de resina epoxi y poliéster.

- La media del factor de delaminación a la entrada es de 1,046, de esta manera se pudo evidenciar que el punzón en W genera el promedio de menor factor de delaminación con 1,0103, no así el punzón a 30° que genera un promedio de factor de delaminación de 1,0694 mucho mayor a la media estándar.
- La media del factor de delaminación a la salida es de 1,066, de esta manera se pudo evidenciar que el punzón en W genera el promedio de menor factor de delaminación con 1,0407, no así en punzón recto que genera un promedio de factor de delaminación de 1,0957, muy por encima del valor de la media estándar.
- En el análisis estadístico se consideró que los factores como el tipo de punzón y el tipo de resina son significativos en el proceso de punzonado debido a que afectan la calidad del agujero así como de la superficie del material compuesto.
- Tanto en el análisis CAE como en la fase experimental se comprobó que para los materiales compuestos: el uno conformado por una matriz polimérica (resina epoxi), con fibras naturales (fibra de yute) y el segundo conformado por una matriz polimérica (resina poliéster), con fibras naturales (fibra de yute); los punzones en W, doble cizalla a 20° y en ángulo a 30° son ideales para el proceso de perforación.

4.2. RECOMENDACIONES

- En las simulaciones es necesario contar con los parámetros y/o características principales de todos los elementos que intervienen en el proceso en cuestión.
- El material manufacturado en este caso el material compuesto debe tener similares características del ingresado en el software para que los resultados obtenidos tengan un grado de significancia alto o aceptable.
- Para el ensayo de punzonado es necesario que todos los elementos se encuentren alineados y perfectamente ajustados para evitar cualquier daño en el equipo o en el operario.
- En estudios posteriores se podría utilizar otras configuraciones de punzones con el fin de obtener mejores resultados.
- Para investigaciones posteriores utilizar una troqueladora de menor tonelaje o a su vez que se permita variar el tonelaje para ingresar los datos exactos de la fuerza requerida para el corte.

Bibliografía

- [1] E. F. B. Velasco, *Análisis del coeficiente de fricción e índice de inflamabilidad de un material compuesto a partir de matriz elastomérica de látex reforzado con gránulo de caucho reciclado*, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, Ingeniería Mecánica , 2020.
- [2] H. Y. C. M. S. M. Z. N. I. Z. S. A. B. Abdullah, «Hole - Making and Drilling Technology for Composites,» de *Precision punching: A new method in hole - making on composite panels*, Malaysia, Nibong Tebal: Universiti Sains Malaysia, School of Mechanical Engineering, 2019, pp. 115-133.
- [3] A. B. A. Z. S. N. Ishak, «Burr assessment of punched holes on Al/CFRP/Al - stacked panel by profile measurement technique,» de *Hole - Making and Drilling Technology for Composites*, Malaysia, Nibong Tebal: Universiti Sains Malaysia, School of Mechanical Engineering, 2019, pp. 181-192.
- [4] W. A. Marcillo, *Diseño y construcción de una matriz para fabricar material didáctico en goma E.V.A. (Etil Vinil Acetato)*, Quito:Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería Mecánica, 2008.
- [5] A. G. Hernández, *Materiales Compuestos y Selección de Materiales*, Mexicali, B.C. : Universidad Autónoma de Baja California , 2017.
- [6] S. G. V. G. P. P. N. R. V. S. y. V. J. Dávila, *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales e Industriales*, Quito: Primera Edición , 2011.
- [7] F. Stupenengo, *Materiales y materias primas*, Buenos Aires , 2011.
- [8] J. Peinado, *Estimacion numérica de propiedades mecánicas del material compuesto reforzado por partículas mediante elementos finitos*, Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2015.
- [9] M. Gonzales, *Optimización de las propiedades mecánicas de composites de resina poliéster reforzados con fibras de vidrio y cargas de carbonato de calcio*, San Nicolás de los Garza: Universidad Autónoma de Nueva León , 2014.
- [10] M. C., «Troqueles y Troquelado,» *Metal Actual*, vol. 16, p. 8.
- [11] O. D. A., *Diseño de un troquel progresivo como material didáctico para un curso de procesos de manufactura*, Universitaria Rodrigo Facio: Universidad

de Costa Rica, 2018.

- [12] E. C. C. R. G. V. S. Mateos, «Aspectos analíticos y tecnológicos del proceso de punzonado de chapa,» *MetalUnivers*, vol. 5, nº 32-45, p. 23, 2002.
- [13] J. S. Yépez, *Análisis y mejoramiento del proceso de corte de chapa metálica en matricería con prensas mecánicas mediante simulación en software ANSYS.*, Quito: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, 2017.
- [14] D. C. Carrera, *Determinación de parámetros óptimos en el corte de chapa metálica en punzones circulares, mediante simulación en software especializado*, Quito: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Ingeniería Mecánica , 2019.
- [15] D. V. H. P.A. Mier Mier, *Diseño y construcción de una troqueladora para el corte de placas de aluminio, a ser empleadas en la bodega del laboratorio de máquinas herramientas de la Universidad Politécnica Salesiana*, Quito: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Ingeniería Mecánica, 2018.
- [16] M. M. T. R.A. Loza Dueñas, *Diseño y construcción de dos matrices de corte y embutición rectangular para ser utilizada en la prensa hidráulica de 60 toneladas del DECEM - LMH*, Sangolqui: Escuela Politécnica del Ejército, Ingeniería Mecánica , 2009.
- [17] R. J. C. E. V. G. Mateos S., «Canales Sectoriales - Interempresas,» 15 03 2002. [En línea]. Available: [https://www.interempresas.net/Medicion/Articulos/1825-Aspectos-analiticos-y-tecnologicos-del-proceso-de-punzonado-de-chapa-\(1-parte\).html](https://www.interempresas.net/Medicion/Articulos/1825-Aspectos-analiticos-y-tecnologicos-del-proceso-de-punzonado-de-chapa-(1-parte).html). [Último acceso: 28 10 2020].
- [18] J. Castro, *Optimización de troqueles para punzonado AISI 316 mediante ajuste macho - matriz*, Leganés, 2015.
- [19] D. P. Martinez, *Modelo simplificado de neumático de automóvil en elementos finitos para análisis transitorio de las estructuras de los vehículos*, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Ingeniería en Tecnologías Industriales , 2016.
- [20] M. G. J., *Desarrollo y Optimización de un Generador de Mallas Superficiales y/o Volumétricas para Aplicaciones de Simulación Electromagnética*, Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá, 2013.
- [21] J. H. R. C. S. L. C. T. L. L. J. H. Z. y. V. M. C. M. d. l. L. Perez Rea, «Modelo híbrido de percolación y elemento finito para el análisis

- micromecánico de suelos,» *Revista mexicana de ciencias geológicas* , vol. 26, n° 2, pp. 335-346, 2009.
- [22] G. A. J., *Estudio de chorros turbulentos con modelos CFD: aplicación en el diseño de emisarios submarinos*, Santander: Universidad de Cantabria , 2012.
- [23] G. C. R. O. D. E. Napoles Padrón E., *Una introducción al análisis por elementos finitos: aplicaciones y ejemplos*, 2017.
- [24] F. A. S. Pezzotti, *Introducción a la Teoría de Elementos Finitos*, La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2007.
- [25] N. V. G., *Análisis por elementos finitos para el diseño de un tornillo de ojo*, Veracruz, 2011.
- [26] E. Vergara, *Determinación de factores de seguridad en 2D y 3D para materiales ductile en plataforma android*, México, 2018.
- [27] P. J., *Análisis de Taladrado de Fibras de Carbono. Fuerzas de Corte y Delaminación*, Valladolid, 2016.
- [28] K. U. A., «Delamination in Drilling GFR-thermoset composites,» vol. 63, pp. 313-327, 2004.
- [29] D. P., *Machinability of Fiber-Reinforced Plastics*, Primera Ed., DE GRUYTER , 2015.
- [30] P. U. A. V. R. y. P. K. K. B. R. Sankar, «Drilling of composite Lmainates-A Review,» vol. 1, pp. 19-24, 2014.
- [31] R. J., *Modelización numérica del comportamiento de un material compuesto de tejido de fibra de cabrono y matriz epoxi ante cargas dinámicas*, Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2012.
- [32] S. B. C. Limited, *Crystic- Composites Handbook*, 2002.
- [33] U. d. Barcelona, «Materials,» [En línea]. Available: <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/epoxi>. [Último acceso: 25 11 2020].
- [34] B. A. A., *Comparación de las propiedades mecánicas entre una resina reforzada con friba de cabuya y una resina reforzada con fibra de vidrio*, San José: Universidad de Costa Rica , 2013.

- [35] «Gazechim Composites Ibérica,» [En línea]. Available: <https://www.gazechim.es/noticias/actualidad/resina-poliester1/>. [Último acceso: 28 11 2020].
- [36] T. D. N., *Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación*, Quito: Escuela Politécnica Nacional , 2012.
- [37] P. M. J., *Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión*, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2007.
- [38] U. G. A. P. d. J. M. Aceves, *Yute*, Ciudad de México: Instituto Politécnico Nacional - Escuela Superior de Ingeniería Textil Fibras Naturales y Artificiales , 2018.
- [39] «PROMETAL,» Proveedores Industriales, [En línea]. Available: <http://catalogo.prometal.com.ec/files/mobile/index.html#1>. [Último acceso: 14 09 2020].
- [40] Horwitz, *El mundo de la soldadura*, Peru: Heur, 2010, pp. 1-27.
- [41] C. S. J. O., *Estudio de la soldabilidad entre un acero inoxidable y un acero al carbono mediante el proceso de soldadura por fricción*, Quito: Universidad Politécnica Nacional , 2017.
- [42] «MatWeb Material Property Data,» [En línea]. Available: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=7573afc5e06c4a518c01efba4690182c> . [Último acceso: 20 11 2020].
- [43] T. M. V. E. Y. A. M. I. Laura, «El diseño de experimentos como herramienta para la mejora de los procesos,» *Tecnura*, vol. 10, n° 20, pp. 127-138, 2007.
- [44] M. D. C., *Design and Analysis of Experiments*, Arizona: Jhon Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [45] D. E. T. Mesias, *Optimización (DOE-MEZCLAS) del material híbrido con refuerzos de fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio de matriz de resina epóxica y su incidencia sobre las propiedades mecánicas a flexión, tracción en impacto*, Ambato: : Ambato: Universidad Técnica de Ambato, Ingeniería Mecánica, 2020.
- [46] W. P. C. Toapanta, *Optimización (DOE-MEZCLAS) del material híbrido con refuerzos de fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio de matriz de resina poliéster y su incidencia sobre las propiedades mecánicas a flexión,*

tracción en impacto, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, Ingeniería Mecánica, 2020.

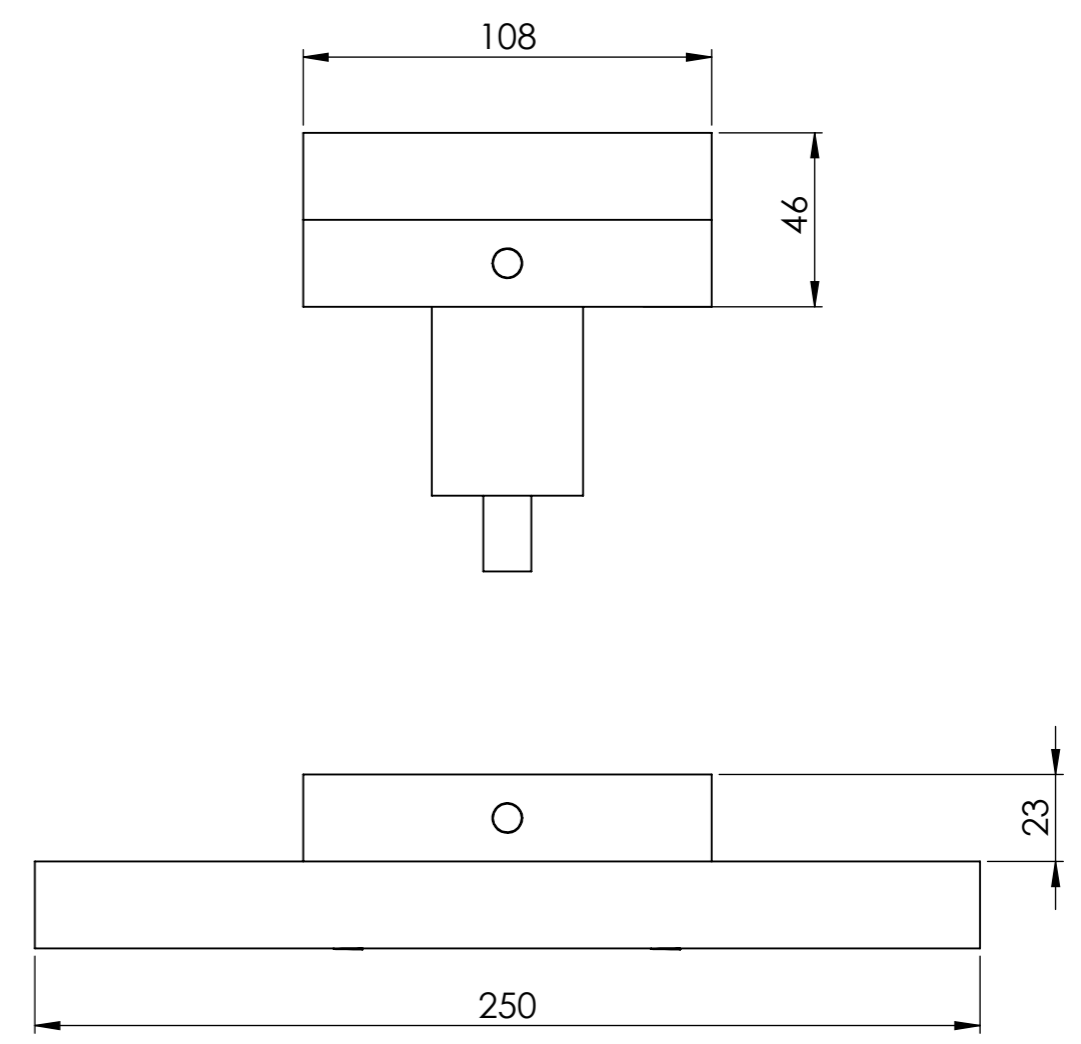
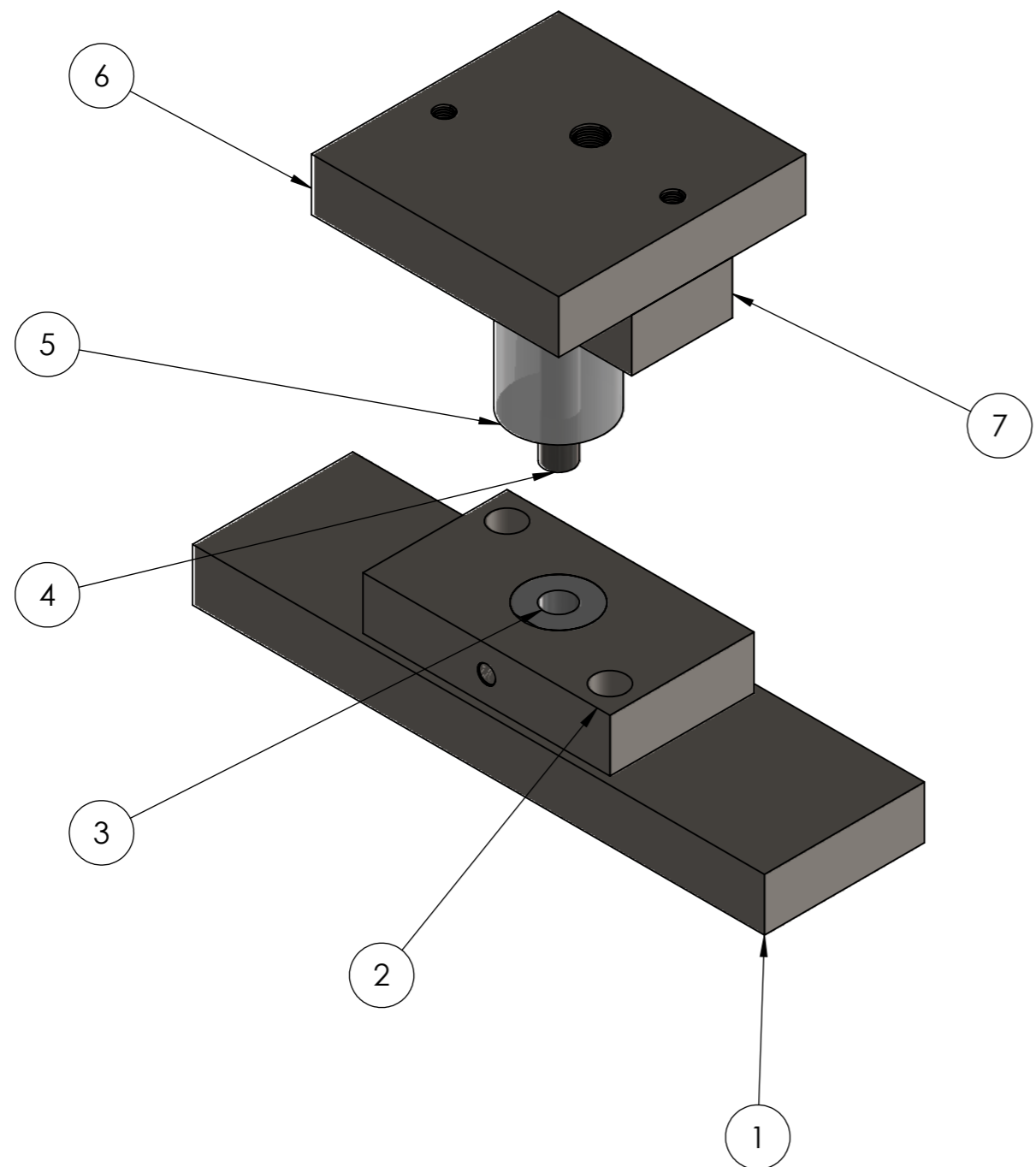
- [47] N. Ishak, *Burr assessment of punched holes on ACI/CFRP/AI - stacked panel by profile measurement technique*, Malaysia: Elsevier, 2019.
- [48] A. Abdullah, *Precision punching: A new method in hole - making on composite panels*, Malaysia: Elsevier , 2019.

ANEXOS

ANEXO 1 - PLANOS DE LOS PUNZONES Y ELEMENTOS SECUNDARIOS

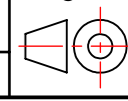
1 2 3 4 5 6 7 8

A B C D E F

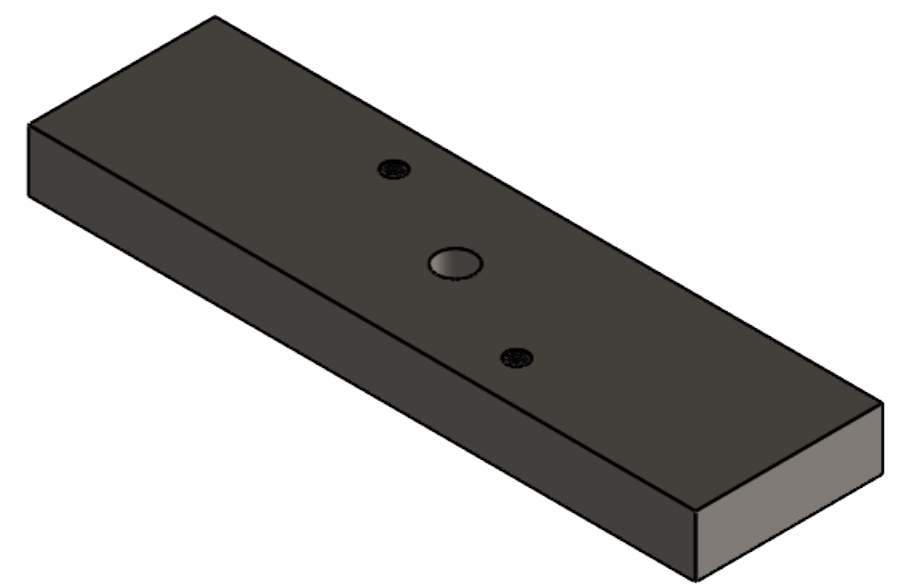
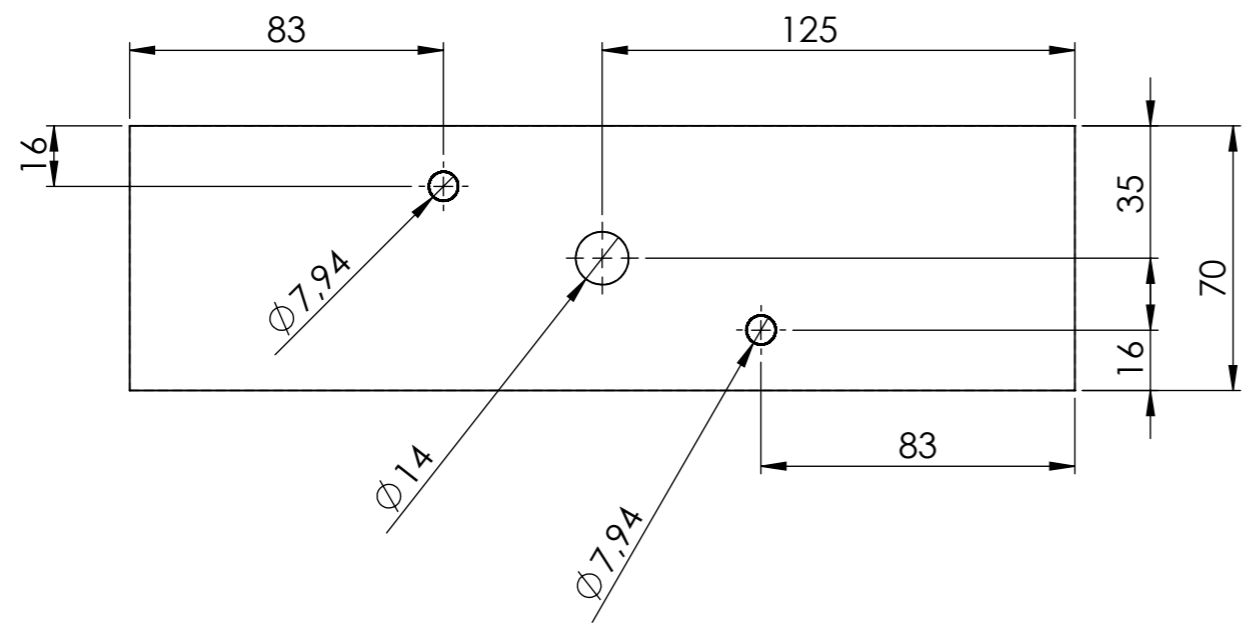
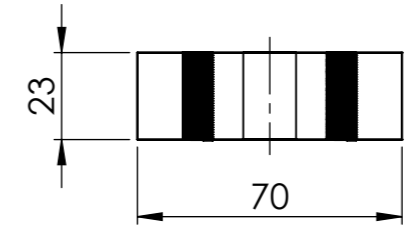
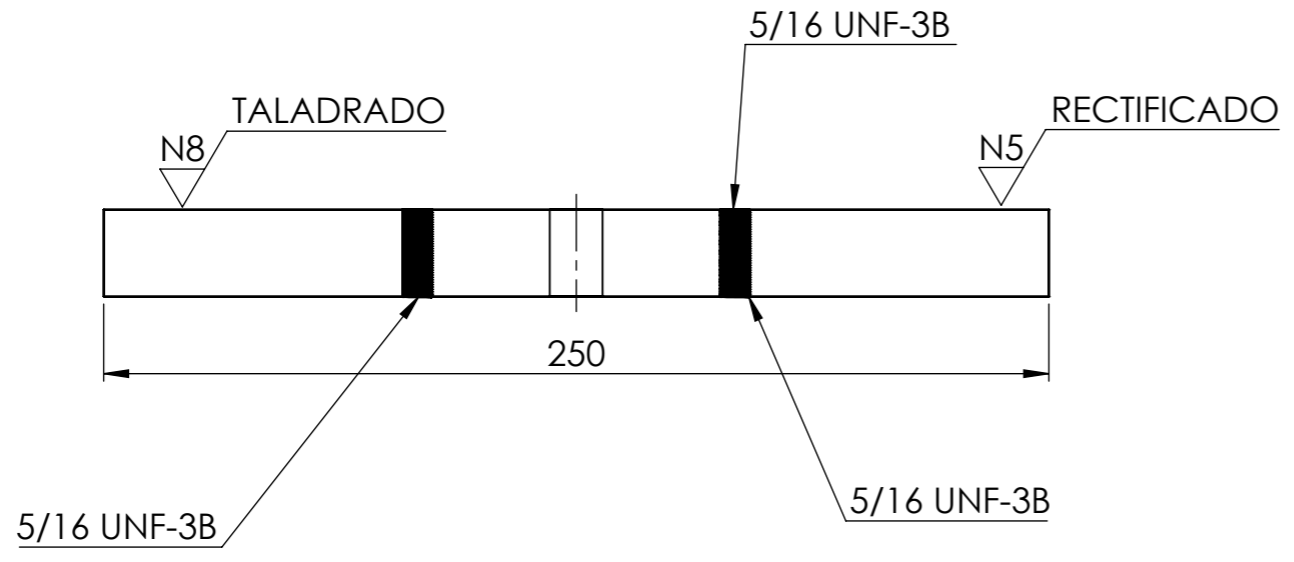


1	Porta punzón		AISI 1010	7	Plancha	0,795	Adquirido
1	Placa superior		AISI 1010	6	Plancha	2,075	Adquirido
1	Anillo botador		Poliuretano	5	Bloque		Adquirido
1	Punzón recto		DIN1.2-510	4	Eje	0,686	Adquirido
1	Matriz		DIN1.2-510	3	Plancha	0,102	Adquirido
1	Porta matriz		AISI 1010	2	Plancha	1,061	Adquirido
1	Placa inferior		AISI 1010	1	Plancha	3,122	Adquirido
Nº de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibuj	Material	Nº de orden	Nº de modelo/semiproducto	Peso kg/pieza	Observación
			Tolerancia: ± 0.05	Peso: 7294.7 gr.	Material: Varios		
			Fecha: 6/1/2021	Nombre: Lucas Acosta	Denominación: Sistema de punzonado o troquelado		Escala: 1:2
			Revisó: 14/6/2021	Ing. Cristian Perez			
			Aprobó: 14/6/2021	Ing. Cristian Perez			
			U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 01 DE 11		Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución)			

1 2 3 4



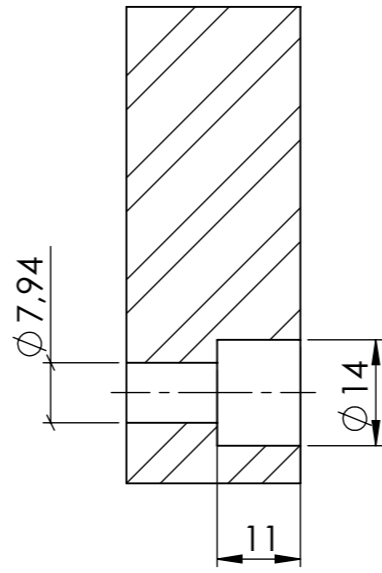
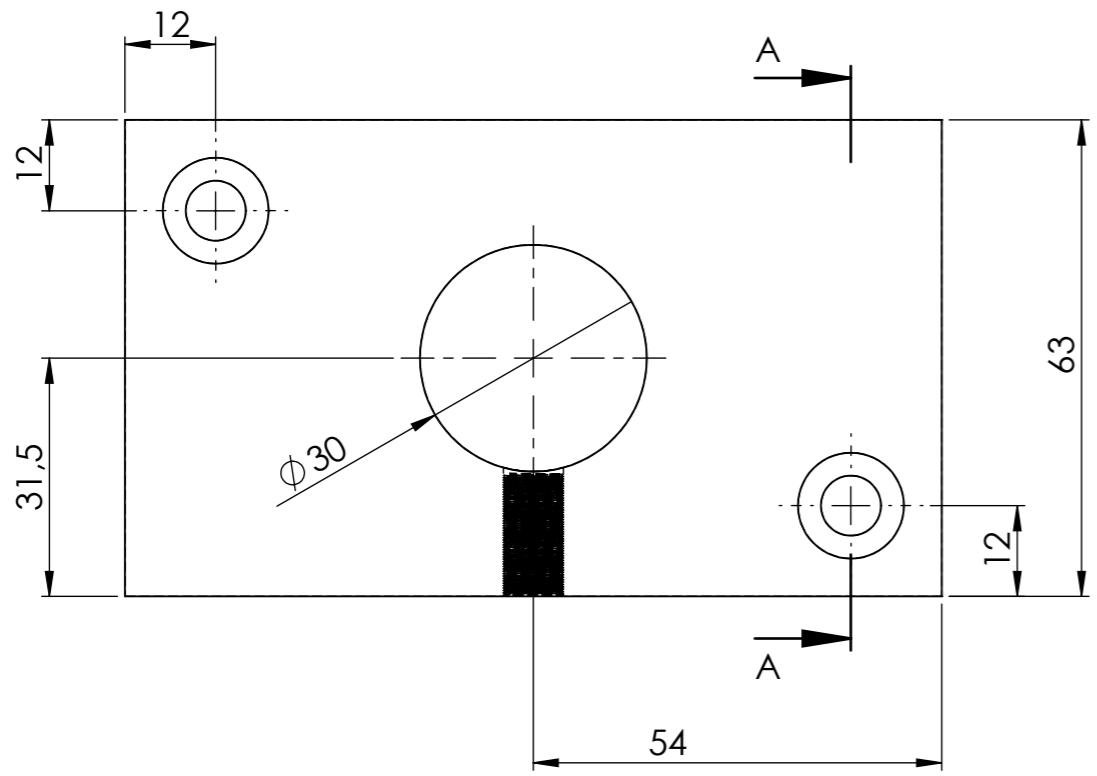
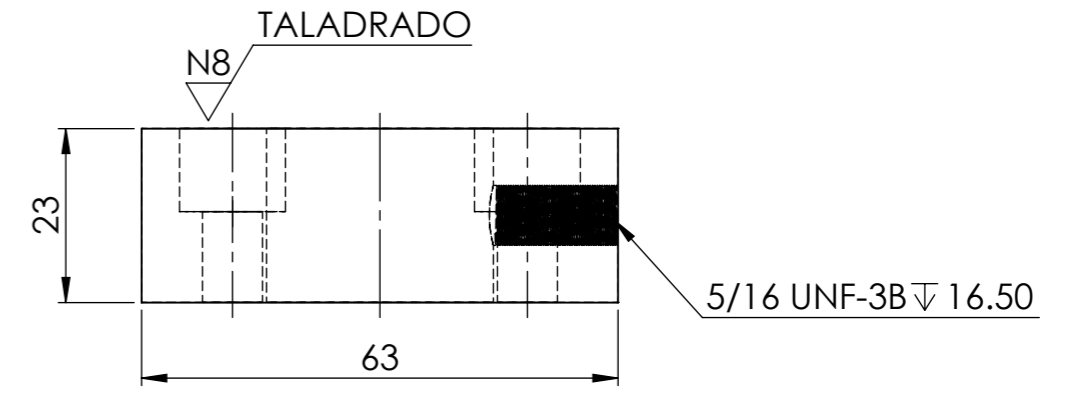
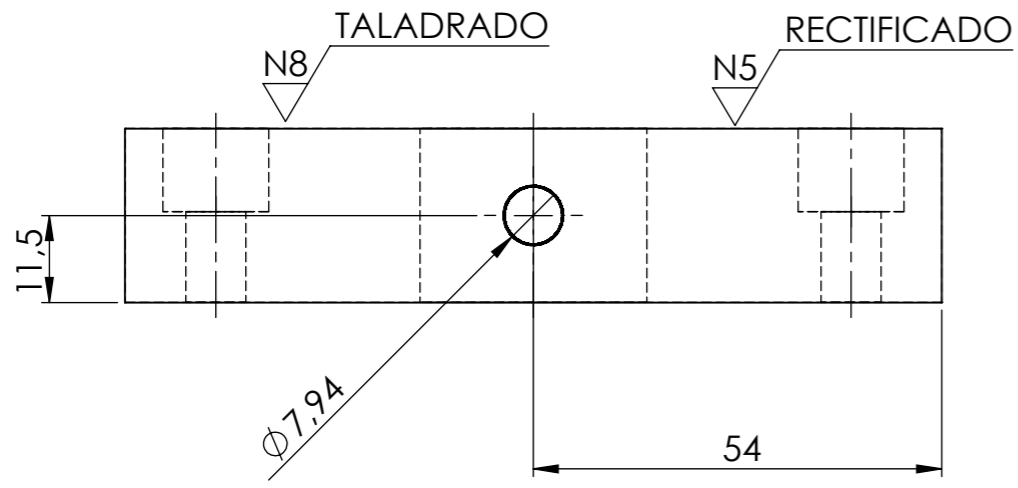
N9



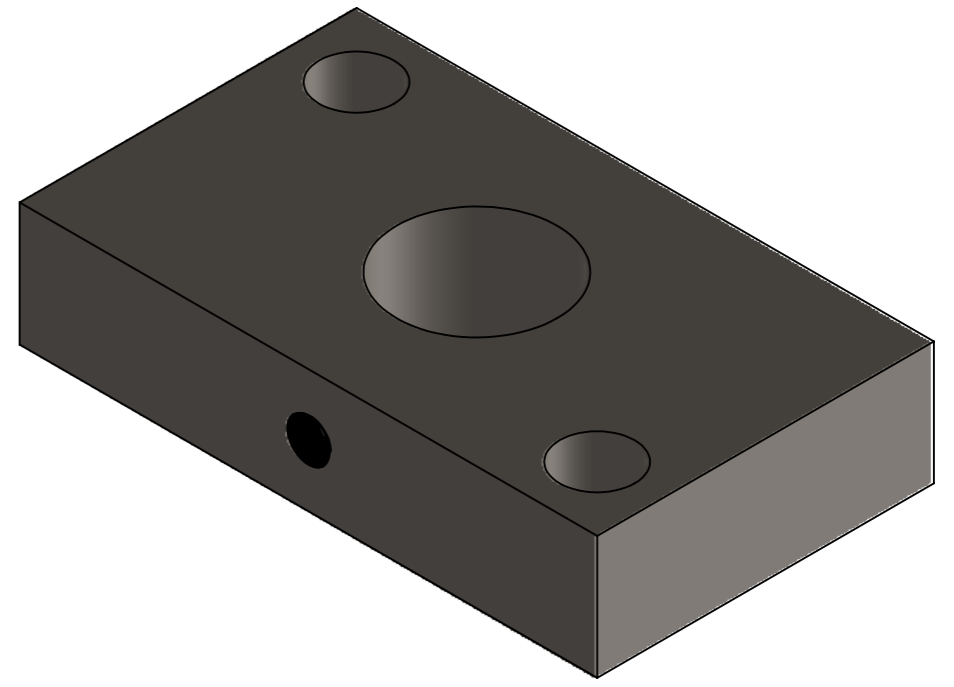
VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:2

				Tolerancia: ± 0.05	Peso: 3122.53 gr	Material: AISI 1010	
				Dibujó: 6/1/2021	Nombre: Lucas Acosta	Denominación: Placa Inferior	Escala: 1:1
				Revisó: 14/6/2021	Ing. Cristian Perez		
				Aprobó: 14/6/2021	Ing. Cristian Perez		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 02 DE 11	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

N9



SECCIÓN A-A



VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:2

				Tolerancia: ± 0.05	Peso: 1061.46 gr	Material: AISI 1010	
				Dibujó: 6/1/2021	Nombre: Lucas Acosta	Denominación: Porta Matriz	Escala: 1:1
				Revisó: 14/6/2021	Ing. Cristian Perez		
				Aprobó: 14/6/2021	Ing. Cristian Perez		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 03 DE 11	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución)			

1

2

3

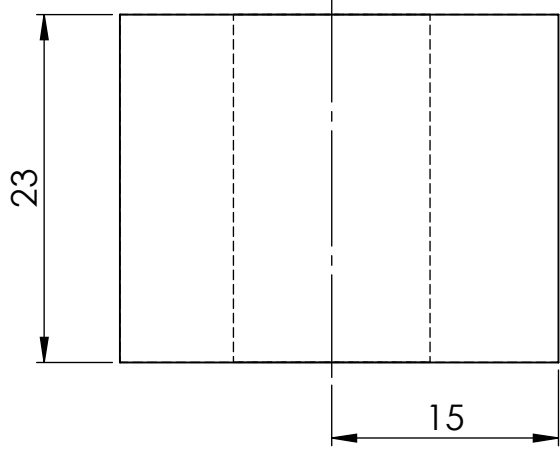
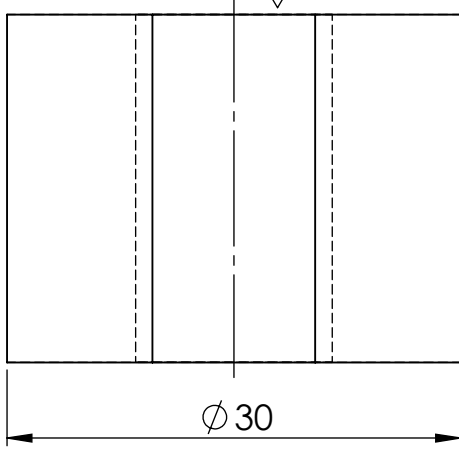
4

A

N9

TALADRADO

N8



B

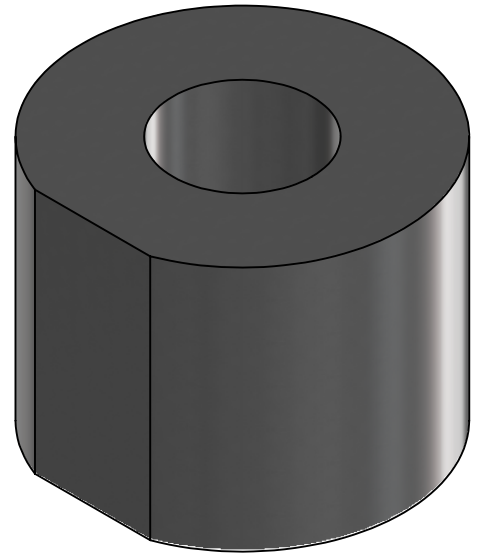
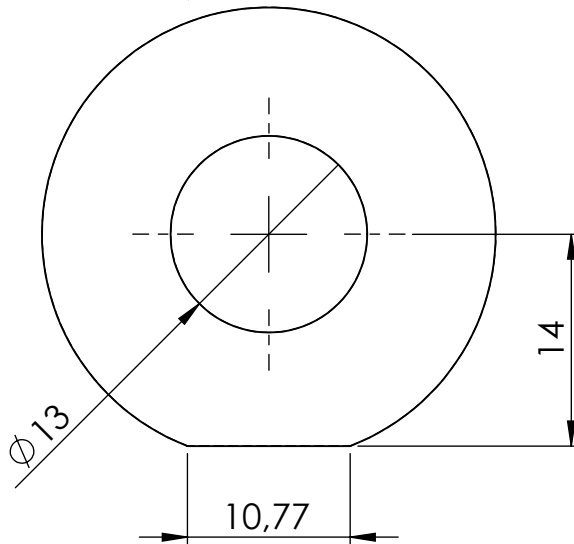
C

D

E

RECTIFICADO

N5



VISTA ISOMETRICA
ESCALA 2:1

				Tolerancia: ± 0.05	Peso: 102.35 gr.	Material: DIN 1.2510 - DF2	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	
				Dibujó: 6/1/2021	Lucas Acosta	Matriz	
				Revisó: 14/6/2021	Ing. Cristian Perez		Escala: 2:1
				Aprobó: 14/6/2021	Ing. Cristian Perez		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de Lámina: 04 DE 11	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(sustitución)	Registro:

1

2

3

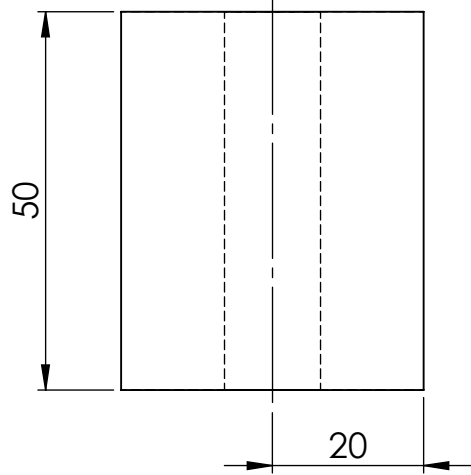
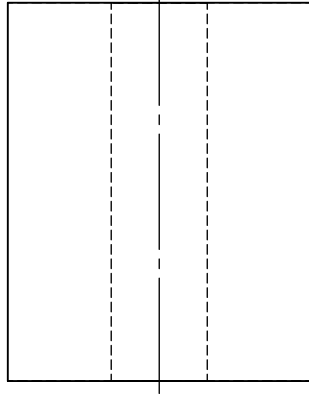
4

N9

A

TALADRADO

N8

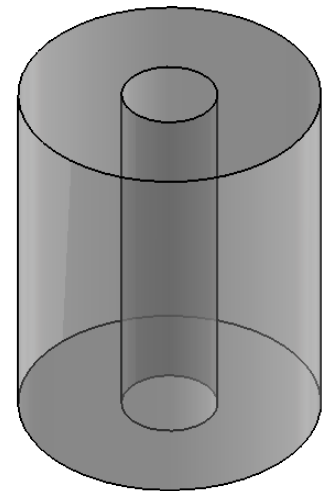
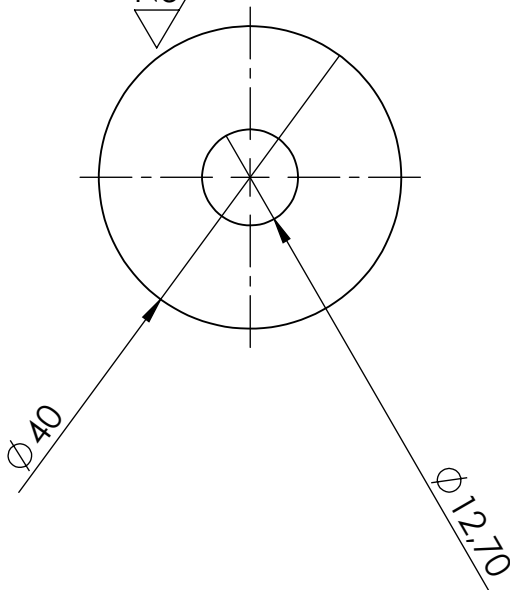


B

C

RECTIFICADO

N5



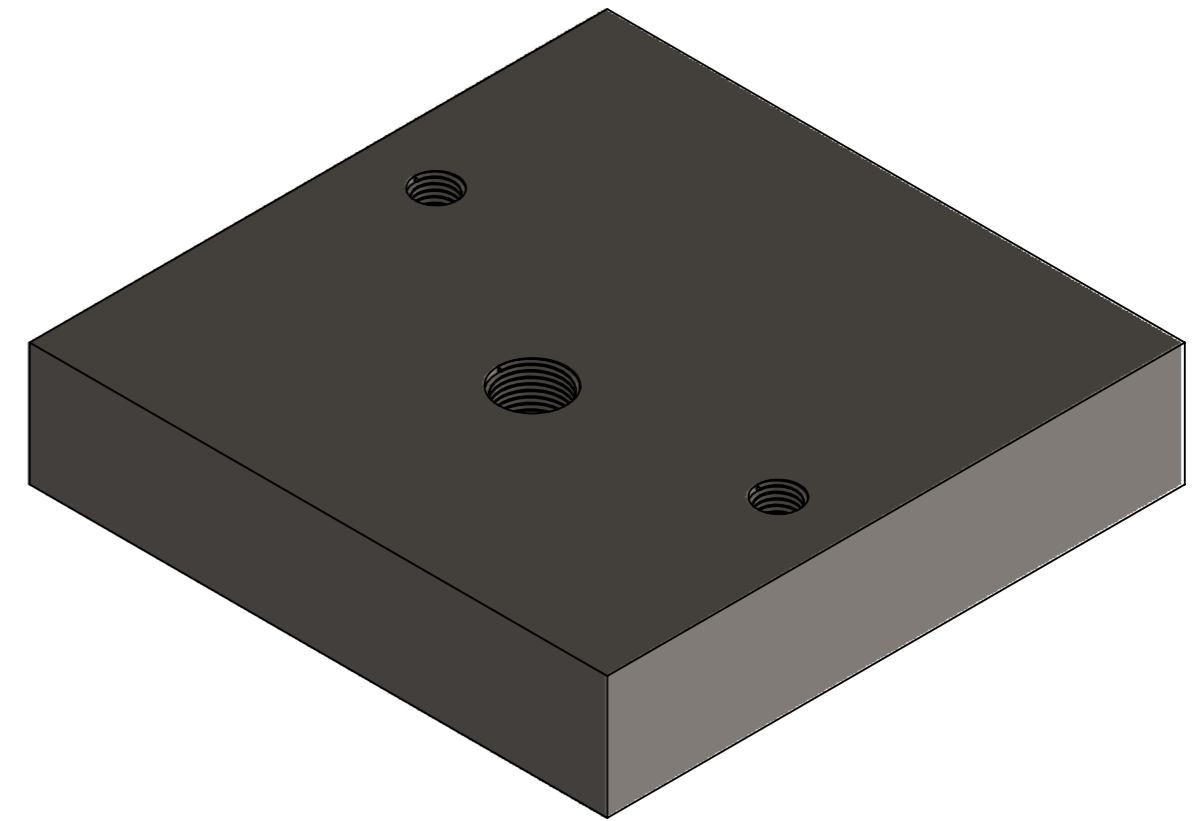
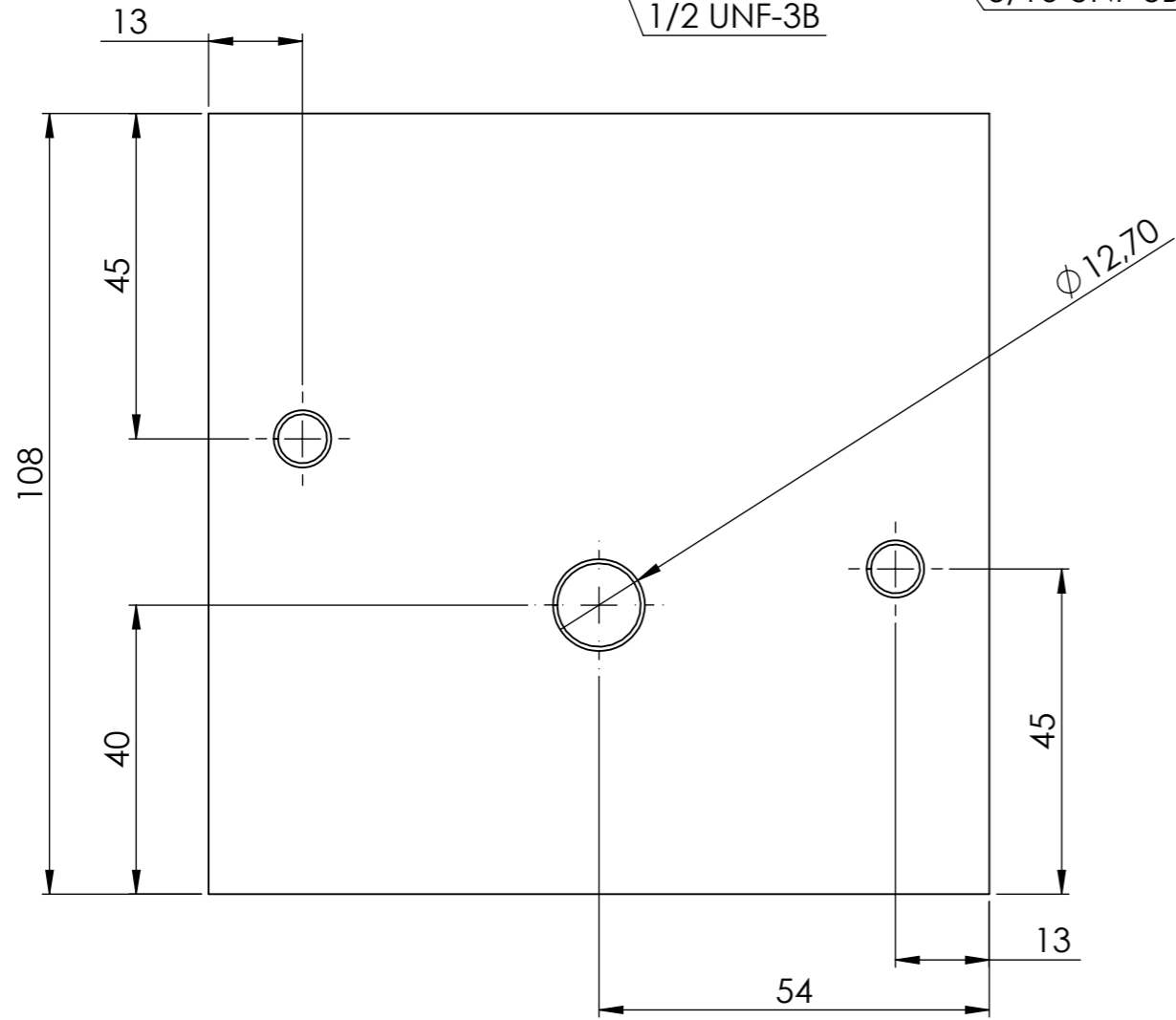
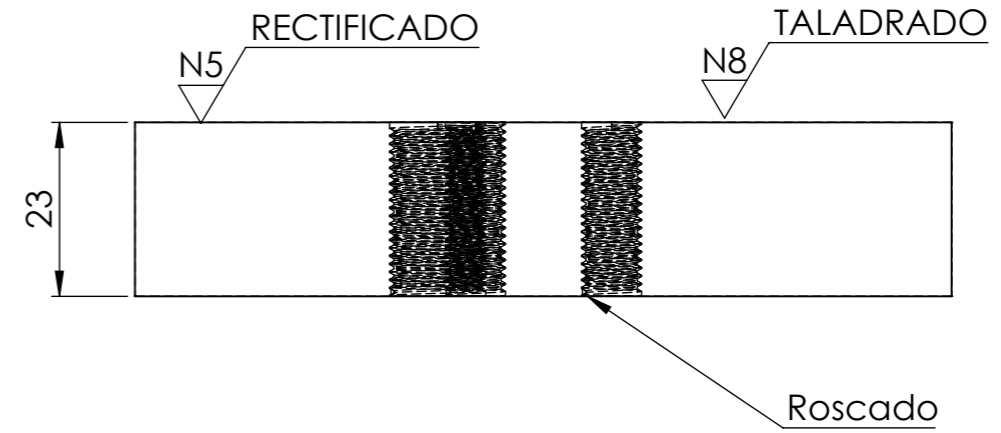
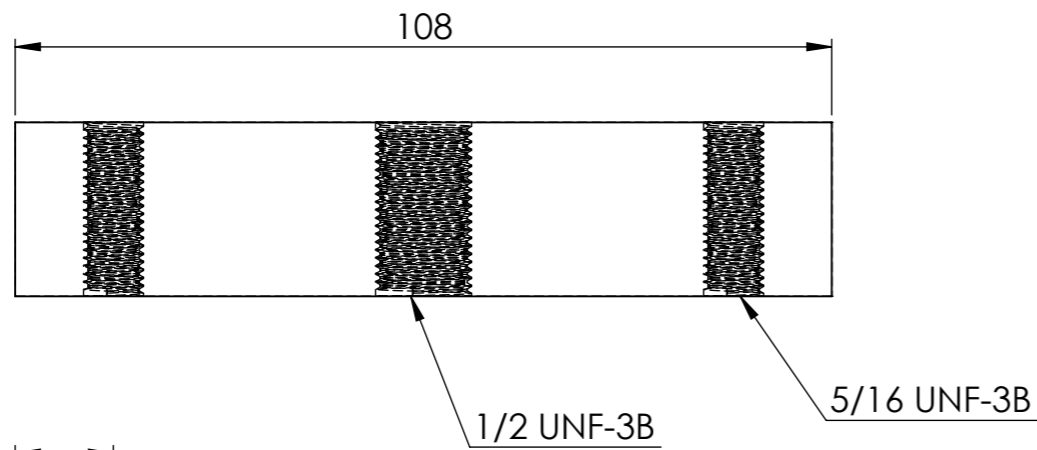
**VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:1**

D

E

				Tolerancia: ± 0.05	Peso: 69.22 gr.	Material: Poliuretano	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 6/1/2021	Lucas Acosta	Anillo Botador	1:1
				Revisó: 14/6/2021	Ing. Cristian Perez		
				Aprobó: 14/6/2021	Ing. Cristian Perez		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de Lámina: 05 DE 11	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(sustitución)	

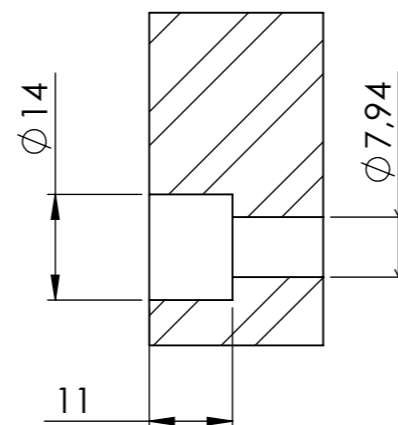
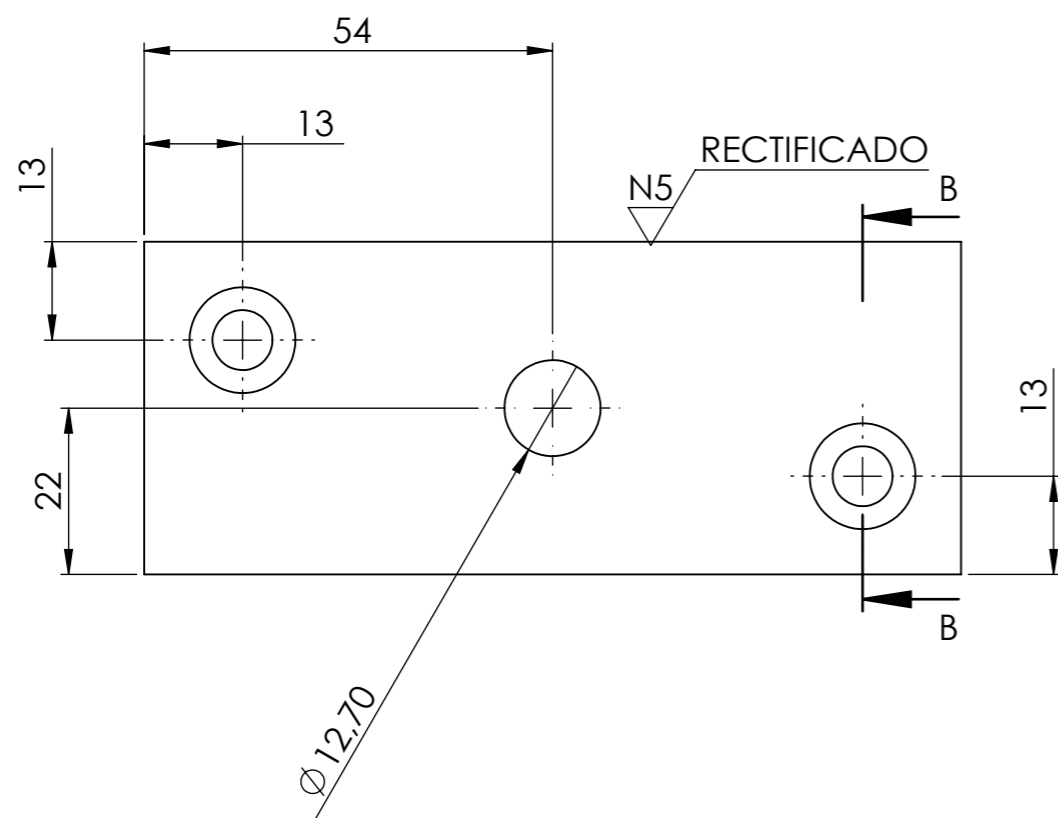
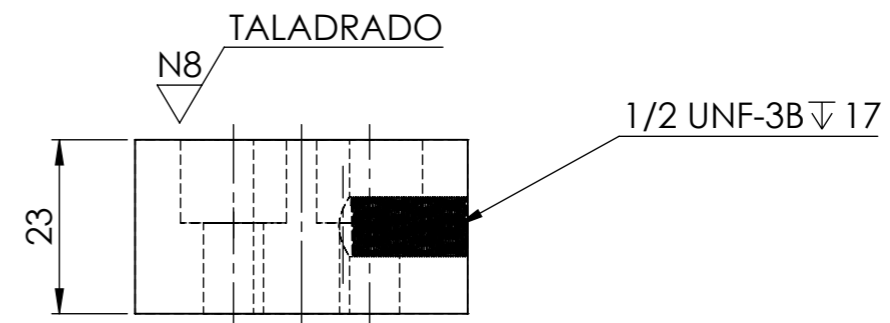
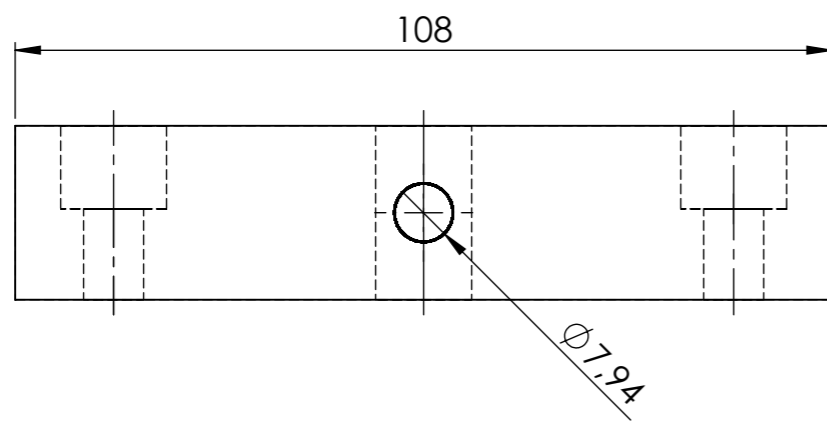
N9



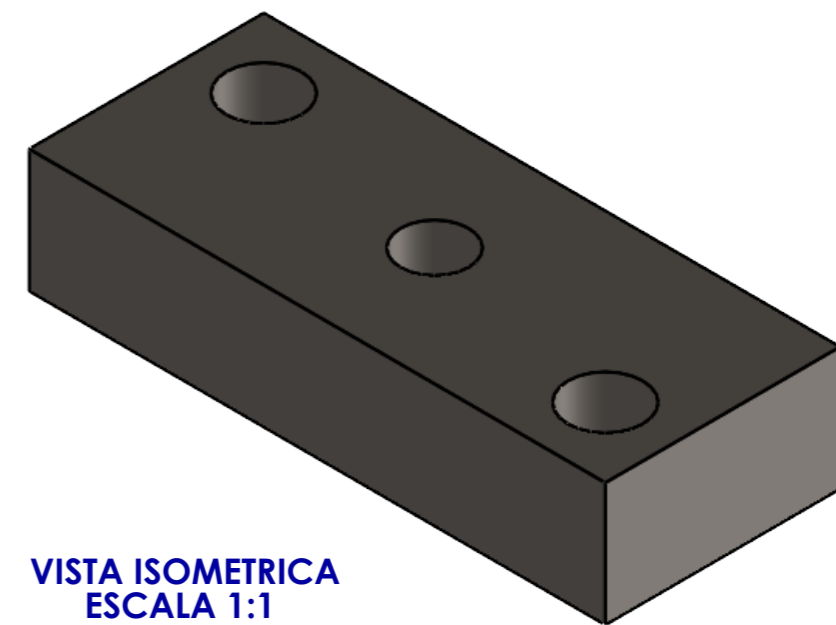
VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:1

				Tolerancia: ± 0.05	Peso: 2075.22 gr.	Material: AISI 1010	
				Dibujó: 6/1/2021	Nombre: Lucas Acosta	Denominación: Placa Superior	
				Revisó: 14/6/2021	Ing. Cristian Perez	Escala: 1:1	
				Aprobó: 14/6/2021	Ing. Cristian Perez	Registro: [Symbol]	
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 06 DE 11	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

N9



SECCIÓN B-B



VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:1

				Tolerancia: ± 0.05	Peso: 795.29 gr	Material: AISI 1010	
				Dibujó: 6/1/2021	Nombre: Lucas Acosta	Denominación: Porta Punzón	
				Revisó: 14/6/2021	Ing. Cristian Perez	Escala: 1:1	
				Aprobó: 14/6/2021	Ing. Cristian Perez	Registro: [Symbol]	
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 07 DE 11	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

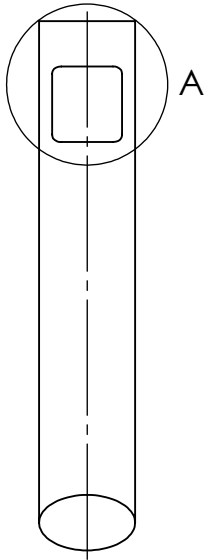
1

2

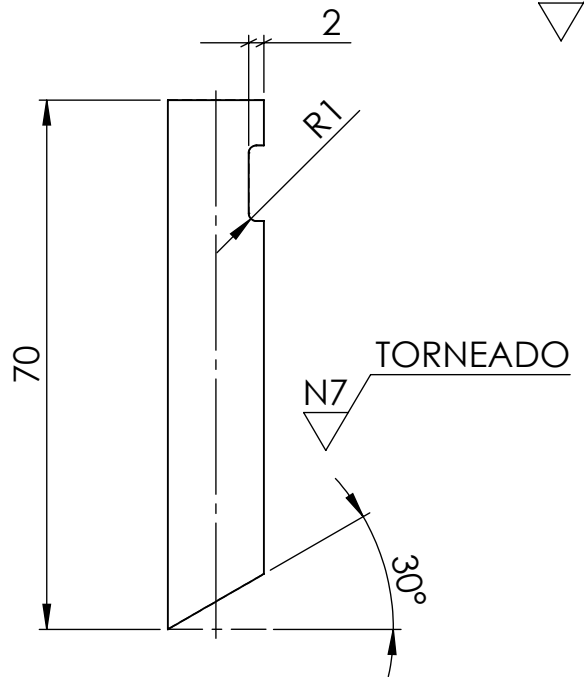
3

4

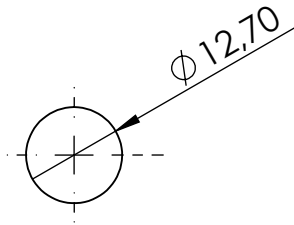
A



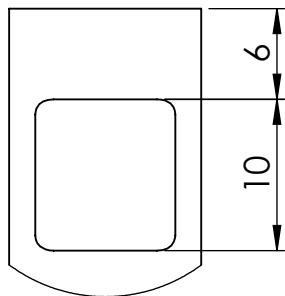
B



C



D



DETALLE A
ESCALA 2 : 1



VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:1

E

				Tolerancia: ± 0.05	Peso: 65 gr.	Material: DIN 1.2510 - DF2	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 10/9/2020	Lucas Acosta	PUNZÓN A 30°	1:1
				Revisó: 18/1/2021	Ing. Cristian Perez		
				Aprobó: 18/1/2021	Ing. Cristian Perez		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de Lámina: 08 DE 11	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(sustitución)	

N9

1

2

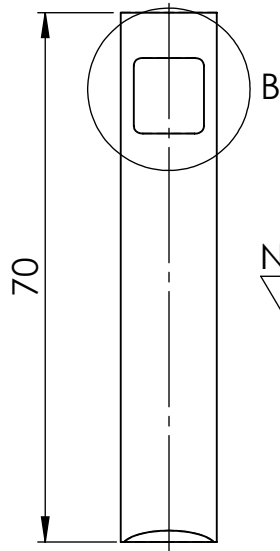
3

4

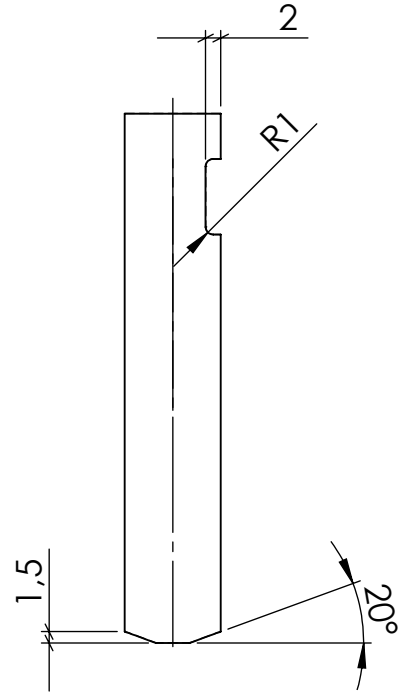
A

N9

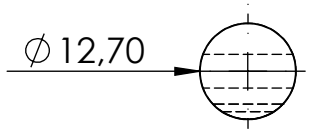
B



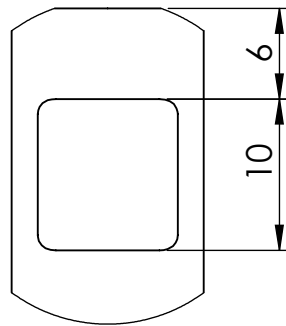
TORNEADO
N7



C



D



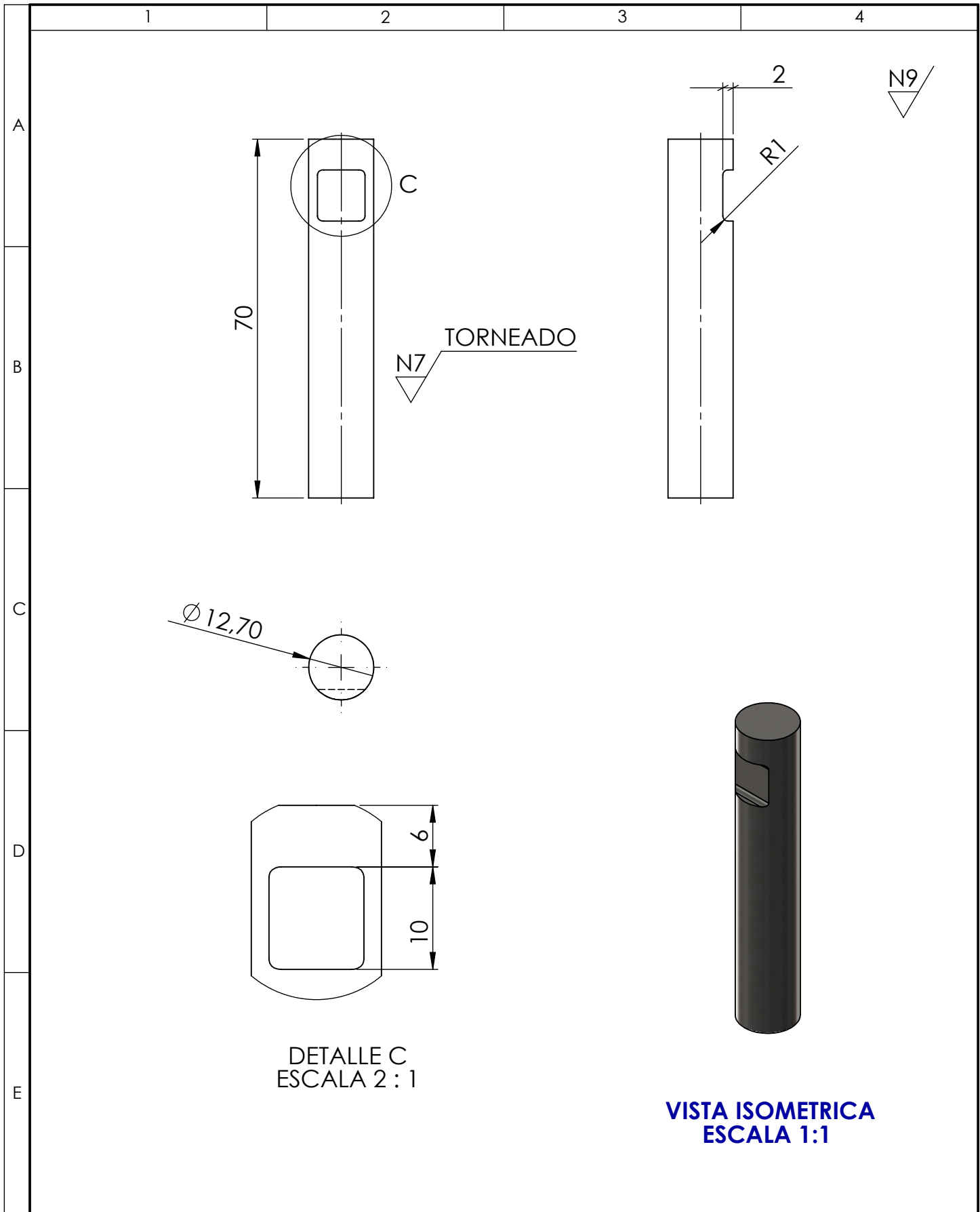
DETALLE B
ESCALA 2 : 1



VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:1

E

				Tolerancia:	Peso: 68.29 gr.	Material: DIN 1.2510 - DF2
				Fecha:	Nombre:	Denominación: PUNZÓN DOBEL CIZALLA A 20°
				Dibujó: 10/9/2020	Lucas Acosta	Escala: 1:1
				Revisó: 18/1/2021	Ing. Cristian Perez	
				Aprobó: 18/1/2021	Ing. Cristian Perez	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de Lámina: 09 DE 11
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(sustitución)



DETALLE C
ESCALA 2 : 1

VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:1

				Tolerancia: ±0.05	Peso: 68.63 gr.	Material: DIN 1.2510 - DF2	
				Fecha:	Nombre:	Denominación: PUNZÓN RECTO	Escala: 1:1
				Dibujó: 10/9/2020	Lucas Acosta		
				Revisó: 18/1/2021	Ing. Cristian Perez		
				Aprobó: 18/1/2021	Ing. Cristian Perez		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de Lámina: 10 DE 11	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(sustitución)	

1

2

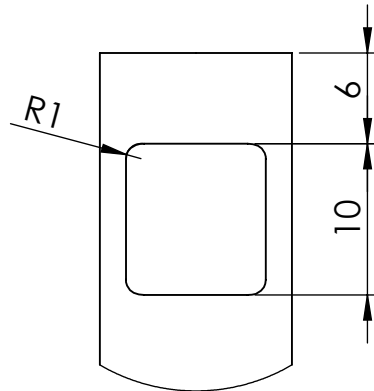
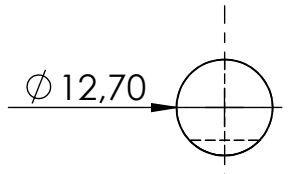
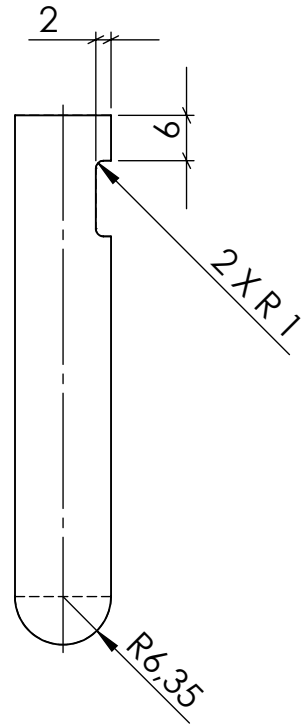
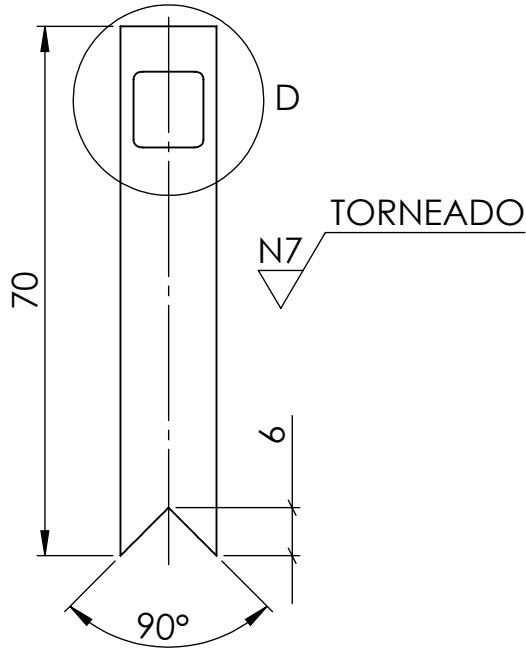
3

4

A

N9

B



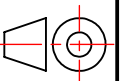
DETALLE D
ESCALA 2 : 1

VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:1

D

E

				Tolerancia: ±0.05	Peso: 65 gr.	Material: DIN 1.2510 - DF2	
				Fecha: Dibujó: 10/9/2020 Revisó: 18/1/2021 Aprobó: 18/1/2021	Nombre: Lucas Acosta Ing. Cristian Perez Ing. Cristian Perez	Denominación: PUNZÓN EN W	Escala: 1:1
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de Lámina: 11 DE 11	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(sustitución)	



**ANEXO 2 – TABLAS DE ENSAYO DE TRACCIÓN DE LOS MATERIALES
COMPUESTOS**



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



Datos Técnicos

Fecha:	14/01/2020	Ciudad:	Quito
Lugar:	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
Máquina:	Máquina de Universal INSTRON 8801		
Realizado por:	David Torres	Revisado por :	Ing. Juan Paredes

Parámetros de Ensayo

Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D3039
Configuración:	Fibras cortas	Estratificación	Compresión
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción volumétrica	70%
Refuerzo:	FV+FA+FC (0%-30%-0%)	Fracción volumétrica	30%
Dimensiones:	250 x 25 x 4	Orientación:	Aleatorio
Espesor Promedio:	4 mm	Número de probetas:	5
Curado:	Ambiente	Velocidad del ensayo	10mm/min

Resultado

Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
8.1	3423,7	34,2	2252,8	1,5	LGM
8.2	3657,6	36,6	2121,9	1,7	AGM
8.3	3276,2	32,8	2186,0	1,5	LGM
8.4	3180,6	31,8	2304,8	1,4	AGM
8.5	3853,2	38,5	2367,1	1,6	AGM
Promedio	3478,3	34,8	2246,5	-	-
Desv. Est	276,2	2,8	96,4	-	-



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



Datos Técnicos

Fecha:	14/01/2020	Ciudad:	Quito
Lugar:	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
Máquina:	Máquina de Universal INSTRON 8801		
Realizado por:	David Torres	Revisado por :	Ing. Juan Paredes

Parámetros de Ensayo

Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D3039
Configuración:	Fibras cortas	Estratificación	Compresión
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción volumétrica	70%
Refuerzo:	FV+FA+FC (0%-0%-30%)	Fracción volumétrica	30%
Dimensiones:	250 x 25 x 4	Orientación:	Aleatorio
Espesor Promedio:	4 mm	Número de probetas:	5
Curado:	Ambiente	Velocidad del ensayo	10mm/min

Resultado

Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de la ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
2.1	2337,8	23,4	1100,56	2,1	LAT
2.2	1905,6	19,1	772,24	2,5	LAT
2.3	1973,1	19,7	1004,61	2,0	LGM
2.4	2458,3	24,6	987,58	2,5	LGM
2.5	2337,0	23,4	820,32	2,8	LGT
Promedio	2202,4	22,0	937,1	-	-
Desv. Est	246,3	2,5	136,6	-	-



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



Datos Técnicos

Fecha:	14/1/2020	Ciudad:	Quito
Lugar:	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
Máquina:	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
Realizado por:	William Chihuiza	Revisado por:	Ing. Juan Paredes

Parámetros de Ensayo

Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM-D7264
Configuración:	Fibras cortas	Estratificación	Compresión
Matriz:	Resina Poliéster	Orientación:	Aleatorio
Refuerzo:	FV+FA+FC (0%-30%-0%)	Curado:	Ambiente
Dimensiones:	250x25 mm	Número de probetas:	5
Espesor Promedio:	4 mm	Masa del dardo:	0,232 Kg
Fracción Volun.	Res(70%) y Fibras (30%)	Velocidad del ensayo	10mm/min

Resultado

Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
PF 6.1	1142,87	576,93	3237,10	3,71	OAB
PF 6.2	1198,78	605,15	2746,90	4,59	OAB
PF 6.3	1334,16	673,49	2907,45	4,82	OAB
PF 6.4	1220,36	616,05	2241,48	5,72	OAB
PF 6.5	1309,64	661,11	3309,08	4,16	OAB
Prom.	1241,16	626,55	2888,40	4,599	-
Desv Stan	79,42	40,09	429,38	0,757	-



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



Datos Técnicos

Fecha:	14/1/2020	Ciudad:	Quito
Lugar:	Laboratorio de Resistencia de Materiales ESPE		
Máquina:	Maquina Universal Instron 8801 (100kN)		
Realizado por:	William Chiluita	Revisado por:	Ing. Juan Paredes

Parámetros de Ensayo

Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D3039
Configuración:	Fibras cortas	Estratificación	Compresión
Matriz:	Resina Poliéster	Orientación:	Aleatorio
Refuerzo:	FV+FA+FC (0%-0%-30%)	Curado:	Ambiente
Dimensiones:	250x25 mm	Número de probetas:	5
Espesor Promedio:	4 mm	Masa del dardo:	0,232 Kg
Fracción Volum.	Res(70%) y Fibras (30%)	Velocidad del ensayo	10mm/min

Resultado

Probeta	Fuerza Máx (N)	Esfuerzo de Ruptura en (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación a la ruptura (%)	Tipo de Falla
PT 8.1	2640,2	26,4	2323,964	2,324	LGM
PT 8.2	2540,6	25,4	2415,803	2,416	LIT
PT 8.3	2705,0	27,0	2474,068	2,474	LIT
PT 8.4	2228,2	22,3	2420,125	2,420	LIT
PT 8.5	2392,5	23,9	2248,897	2,249	AGT
Prom.	2501,3	25,0	2376,571	2,377	-
Desv Stan	192,8	1,9	89,457	0,089	-

ANEXO 3 – LICENCIA DEL SOFTWARE MINITAB

Factura del pedido: 100707257940

OnTheHub <noreply@kivuto.com>

Mié 10/03/2021 11:46

Para: Acosta Castro Lucas David <lacosta1057@uta.edu.ec>

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



Estimado Lucas Acosta:

Gracias por el pedido.

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

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

Resumen de pedido**Información del pedido**

Número de pedido: 100707257940
Fecha del pedido: 2021-03-10 11:45
Hora estándar del Este

Nombre: Lucas Acosta
Correo electrónico: lacosta1057@uta.edu.ec
Tarjeta de crédito: MasterCard
*****0016
Esta transacción puede reflejarse como "estore.onthehub.com" en su estado de su cuenta.

Dirección de facturación

Lucas Acosta
JUAN BENIGNO VELA
SANTA ROSA
AMBATO 180165
Ecuador

Ítems (Todos los precios están en Dólares estadounidenses)

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

	Cantidad	Precio unitario	Importe
1. Minitab 19 for Windows and Mac (Multilanguage) (06-Mo Rental) - Descargar	1	\$29.99	\$29.99
2. Extended Access Guarantee (24 months)	1	\$5.95	\$5.95
		Subtotal:	\$35.94
		Impuestos:	--
		Total:	\$35.94

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

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

Gracias,
[OnTheHub](#)