



Universidad  
de La Laguna

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

**SECCIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

# **TRABAJO DE FIN DE GRADO**

**TRITURADORA DE PLÁSTICOS MEDIANTE  
ELEMENTOS REPLICADOS EN IMPRESORA 3D**

**Titulación**

Grado en Ingeniería Mecánica

**Autor**

Pablo Armas Correa

**Tutoras**

María M. Laz Pavón

Rosa E. Navarro Trujillo

Septiembre 2015



# ÍNDICE GENERAL

<b>HOJA DE IDENTIFICACIÓN</b> .....	18
<b>MEMORIA</b> .....	20
<b>1.PETICIONARIO</b> .....	25
<b>2.OBJETO</b> .....	25
<b>3.ALCANCE</b> .....	25
<b>4.RESUMEN</b> .....	27
<b>5.ABSTRACT</b> .....	28
<b>6.DEFINICIONES Y ABREVIATURAS</b> .....	29
<b>7. NORMAS Y REFERENCIAS</b> .....	36
7.1 Disposiciones legales y normas .....	36
7.2 Programas de cálculo .....	36
7.3 Bibliografía .....	36
<b>8. ANTECEDENTES</b> .....	40
8.1 Impresión 3D. ....	41
8.2 Estudios sobre Impresión 3 .....	46
8.3 Fallos en impresión 3D .....	49
8.4 Piezas a triturar .....	51
8.5 Tipos de materiales utilizados en impresoras 3D .....	56
8.6 El proceso de Reciclaje .....	63
8.7 El reciclaje en Tenerife .....	66
8.8 Trituradoras de plástico utilizadas en el reciclaje. ....	69
8.9 Reciclaje en impresión 3D. ....	71
8.9.1 Extrusoras de plástico.....	73
8.9.2 Trituradora para impresión 3D: FilaMaker. ....	75

8.9.2.1 La ausencia de motor eléctrico. ....	78
8.9.2.2 Montaje de los rodamientos. ....	79
8.9.2.3 Herramienta de corte. ....	80
8.9.2.4 Rejilla de corte. ....	81
<b>9. REQUISITOS DE DISEÑO</b> .....	<b>83</b>
9.1 Montaje y desmontaje sencillo.....	83
9.2 Modificable y con posibilidad de ser replicada. ....	84
9.3 Sencillo y Compacto .....	84
9.4 Costo razonable.....	84
9.5 Dimensiones adaptadas al entorno de trabajo del laboratorio .....	85
9.6 Segura y fiable .....	86
<b>10. ALTERNATIVAS ESTUDIADAS</b> .....	<b>87</b>
<b>11. RESULTADOS FINALES</b> .....	<b>90</b>
11.1 Diseño .....	90
11.2 Elementos estructurales .....	97
11.2.1 Estructura lateral de plástico .....	97
11.2.2 Estructura frontal de plástico.....	101
11.2.3 Estructura superior plástico .....	103
11.2.4 Estructura lateral de aluminio .....	105
11.2.5 Estructura frontal de aluminio.....	106
11.2.6 Rejilla de corte. ....	107
11.2.7 Eje de transmisión .....	107
11.2.7.1 Conexión al motor eléctrico .....	108
11.2.8 Fresa de corte lateral con agujero.....	108
<b>ANEXOS</b> .....	<b>111</b>
<b>ANEXO I: ALTERNATIVAS ESTUDIADAS</b> .....	<b>113</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>117</b>

<b>2. ANÁLISIS DE SOLUCIONES</b> .....	118
2.1 Alternativas de diseño en los modelos.....	118
2.1.1. Modelo 1 .....	118
2.1.2. Modelo 2 .....	121
2.1.3 Modelo 3 .....	123
2.1.4. Modelo 4 .....	126
2.1.5. Modelo 5 .....	128
2.2 Selección de herramienta de corte.....	131
2.2.1 Brocas.....	131
2.2.2. Fresas.....	132
2.3 Dimensionado general.....	134
2.3.1 modificaciones estructurales .....	134
<b>ANEXO II: CÁLCULOS</b> .....	138
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	142
<b>2. FUERZAS DE CORTE</b> .....	142
2.1 La fuerza tangencial.....	142
2.2 La fuerza radial. ....	144
2.3 La fuerza axial. ....	145
2.4. Resultados.....	146
<b>3. DIAGRAMAS DE MOMENTO FLECTOR</b> .....	151
<b>4. DIÁMETRO MÍNIMO DEL EJE</b> .....	157
4.1 Comprobación frente a momento Torsor.....	157
4.2 Comprobación frente a momento Flector. ....	159
4.3 Comprobación Momento Torsor y flector combinados.....	160
4.4 Resultados.....	162
<b>5. OPERACIONES DE MECANIZADO</b> .....	164
5.1 Introducción a los parámetros de corte .....	164

5.2 Mecanizado con materiales plásticos.....	165
5.3 Método de fresado .....	166
5.3.1 Movimientos característicos del fresado. ....	168
5.3.2 Tipos de fresado según la relación entre el giro y el avance.....	173
5.3.3 Espesor medio de viruta hm.....	177
5.3.4 Sección media de la viruta.(Am).....	178
5.3.5. Potencia de corte (Pc).....	180
5.3.4 Volumen medio de viruta (Q) .....	183
<b>ANEXO III: ESTUDIOS CON SOLIDWORKS.....</b>	<b>186</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>190</b>
<b>2. MODIFICACIONES ESTRUCTURALES AUTOMÁTICAS.....</b>	<b>190</b>
<b>3. SIMULACIÓN DE PIEZAS.....</b>	<b>195</b>
3.1 Estructuras de aluminio .....	195
3.1.1 Estructura Lateral de Aluminio.....	198
3.1.2 Estructura Frontal de Aluminio.....	200
3.2 Rejilla de corte .....	201
3.3 Fresa.....	206
3.4 Estructuras de plástico .....	213
3.4.1 Estructuras laterales y frontales de plástico .....	215
3.4.2 Estructura superior de plástico .....	222
<b>4. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO.....</b>	<b>225</b>
<b>ANEXO IV: SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.....</b>	<b>227</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>231</b>
<b>2. CLASE DE RODAMIENTO ESCOGIDO.....</b>	<b>232</b>
<b>3. DIMENSIONES DEL RODAMIENTO.....</b>	<b>234</b>
<b>4. TOLERANCIAS DEL RODAMIENTO.....</b>	<b>235</b>
<b>5. TIPO DE AJUSTE RECOMENDADO.....</b>	<b>238</b>

<b>ANEXO V: CATÁLOGOS Y OTROS DOCUMENTOS</b> .....	243
<b>PLANOS</b> .....	254
<b>1. CONJUNTO</b> .....	258
<b>2. REJILLA DE CORTE</b> .....	259
<b>3. EJE DE TRANSMISIÓN</b> .....	260
<b>4. ESTRUCTURA FRONTAL DE ALUMINIO</b> .....	261
<b>5. ESTRUCTURA LATERAL DE ALUMINIO</b> .....	262
<b>6. ESTRUCTURA LATERAL DE PLASTICO</b> .....	263
<b>7. ESTRUCTURA SUPERIOR DE PLÁSTICO</b> .....	264
<b>8. ESTRUCTURA FRONTAL DE PLÁSTICO</b> .....	265
<b>9. PERSPECTIVA EXPLOSIONADA</b> .....	266
<b>PRESUPUESTO</b> .....	268
<b>1. PIEZAS REPLICADAS</b> .....	272
<b>2. PIEZAS MECANIZADAS</b> .....	273
<b>3. ELEMENTOS COMERCIALES</b> .....	274
<b>4. RESUMEN DEL PRESUPUESTO</b> .....	275





# ÍNDICE FIGURAS

Figura 1: Impresora 3D RepRap Pro Huxley [31].....	29
Figura 2: Evolución de la Impresión 3D (Hype Cycle for 3D Printing) [25].....	41
Figura 3: Método de impresión por adición [29].....	43
Figura 4: Proceso de impresión por FDM [29].....	44
Figura 5: Piezas impresas con Objet Connex [33] .....	45
Figura 6: Impresoras utilizadas, Estudio 2012 [36].....	46
Figura 7: Impresoras utilizadas, Estudio 2013 [36].....	47
Figura 8: Materiales utilizados en la impresión 3D, 2012 [36].....	47
Figura 9: Materiales utilizados en la impresión 3D, 2013 [36].....	48
Figura 10: Nivel de estudios de los encuestados, 2012 [36] .....	48
Figura 11: Nivel de estudios de los encuestados, 2013 [36] .....	49
Figura 12: Probeta impresión 3D (PLA) tras el ensayo de tracción [Fuente propia] .....	54
Figura 13: Probeta impresión 3D (PLA) tras ensayo de flexión [Fuente propia].....	54
Figura 14: Probeta impresión 3D (PLA) tras ensayo de compresión [Fuente propia] ...	55
Figura 15: Presión vs alargamiento de los cubos ensayados a compresión [Fuente propia].....	55
Figura 16: PLA triturado procedente de los cubos para ensayos compresión [Fuente propia].....	56
Figura 17: proceso de obtención de piezas impresas 3D en papel [27].....	57
Figura 18: Extrusora de plásticos Filabot Original™[34] .....	73
Figura 19: ProtoCycler [35].....	75
Figura 20: Mini Shredder and Mini Shredder XL [17] .....	76
Figura 21: Mini Shredder FilaMaker [17] .....	77
Figura 22: FilaMaker con elementos replicados en impresora 3D [18] .....	78
Figura 23: Prohibiciones FilaMaker [17] .....	78

Figura 24: Montaje de los rodamientos Mini-trituradora FilaMaker [17].....	79
Figura 25: Croquis Trituradora FilaMaker, detalle discos de corte [17].....	80
Figura 26: Fabricación de los discos de corte y las guías del material [18].....	80
Figura 27: Rejilla de corte utilizada por las Mini trituradoras de FilaMaker [18] .....	81
Figura 28: Patrón de conformado de la rejilla de corte [18].....	81
Figura 29: Modelo Final Trituradora [Fuente propia].....	91
Figura 30: Cortes en diferentes elementos de la trituradora [fuente propia].....	93
Figura 31: Corte frontal trituradora [fuente propia] .....	93
Figura 32: Proceso de triturado [fuente propia] .....	94
Figura 33: Simulación del triturado en la zona de recuperación [fuente propia] .....	95
Figura 34: Vista explosionada [fuente propia] .....	96
Figura 35: Trituradoras con plásticos de diferentes colores [fuente propia] .....	97
Figura 36: Estructura lateral plástico [fuente propia].....	97
Figura 37: Estructura lateral de plástico en Repetier-Host [fuente propia].....	99
Figura 38: Parámetros de interés del Repetier-Host [fuente propia].....	99
Figura 39: Estructura lateral de plástico simulada en Repetier-Host [fuente propia] ..	100
Figura 40: Estructura frontal de plástico [fuente propia] .....	101
Figura 41: Estructura frontal de plástico en Repetier-Host [fuente propia] .....	102
Figura 42: Estructura frontal de plástico simulada en Repetier-Host [fuente propia]..	102
Figura 43: Estructura superior de plástico [fuente propia] .....	103
Figura 44: Estructura superior plástico en Repetier-Host [fuente propia].....	104
Figura 45: Estructura superior plástico simulada en Repetier-Host [fuente propia]....	104
Figura 46: Estructura lateral de aluminio [fuente propia] .....	105
Figura 47: Estructura frontal de aluminio [fuente propia].....	106
Figura 48: Rejilla de corte [fuente propia] .....	107
Figura 49: Eje de transmisión [fuente propia].....	107
Figura 50: Herramienta de corte [Fuente propia] [19] .....	108

Figura 51: Modelo 1 [Fuente propia] .....	119
Figura 52: Modelo 2 [Fuente propia] .....	121
Figura 53: Trituradora modelo 3 [Fuente propia].....	124
Figura 54: Modelo 4 [Fuente propia] .....	126
Figura 55: Modelo 5 [Fuente propia] .....	129
Figura 56: Modelo 5 con rejilla de corte [Fuente propia].....	130
Figura 57: Brocas (diseñada (Blanco) y disponible (negro)) [Fuente propia].....	132
Figura 58: Fresa para desbaste medio de Acero HSSE 5% Co, corte lateral [19].....	133
Figura 59: Rejillas de corte [Fuente propia] .....	135
Figura 60: Estructuras superiores de plástico [Fuente propia] .....	136
Figura 61: Perspectiva de las fuerzas en un engranaje helicoidal [8].....	143
Figura 62: Dimensiones y ángulos representativos de las fresas con agujero [1] .....	144
Figura 63: Referencias de la fresa [19].....	145
Figura 64: Fuerzas presentes en la fresa [Fuente propia] .....	146
Figura 65: Características generales del motor eléctrico [43] .....	149
Figura 66: Fuerza resultante de corte [Fuente propia].....	149
Figura 67: Diagrama de sólido libre del eje de transmisión [Fuente propia] .....	151
Figura 68: Diagrama de sólido libre del eje de transmisión (Plano XZ) [Fuente propia] .....	152
Figura 69: Diagrama de sólido libre del eje de transmisión (Plano XY) [Fuente propia] .....	153
Figura 70: Diagrama de sólido libre eje transmisión (Plano XY con fuerzas calculadas) [Fuente propia] .....	154
Figura 71: Diagrama de momento flector del eje de transmisión (Plano XZ) [Fuente propia].....	155
Figura 72: Diagrama de sólido libre del eje de transmisión (Plano XY con fuerzas calculadas) [Fuente propia] .....	155

Figura 73: Diagrama de momento flector del eje de transmisión (Plano XY) [Fuente propia].....	156
Figura 74: Fresado frontal [22].....	167
Figura 75: Fresado periférico [22].....	168
Figura 76: Movimiento de corte en el fresado [22].....	168
Figura 77: Movimiento de avance en el fresado [22].....	171
Figura 78: Parámetros que definen el movimiento de avance [22].....	171
Figura 79: Avance por vuelta en el fresado en concordancia [20].....	173
Figura 80: Fresado en concordancia [22].....	174
Figura 81: Fresado en oposición [22].....	174
Figura 82: Profundidad de corte en el fresado frontal y el periférico [21].....	176
Figura 83: Espesor de viruta variable a lo largo del corte [20].....	177
Figura 84: Valores característicos de la fuerza específica de corte [23].....	181
Figura 85: Estructura lateral de plástico [Fuente propia].....	191
Figura 86: Cotas de la estructura lateral de plástico [Fuente propia].....	192
Figura 87: Ecuaciones de SolidWorks (Estructura lateral plástico) [Fuente propia] ...	192
Figura 88: Valores de las ecuaciones asociadas a la Estructura lateral de plástico (real y modificada) [Fuente propia].....	193
Figura 89: Estructura lateral plástico (dimensiones modificadas) [Fuente propia].....	193
Figura 90: Cotas Estructura lateral de plástico (modificada) [Fuente propia].....	194
Figura 91: Conjunto explosionado (detalle Estructuras plástico) [Fuente propia].....	195
Figura 92: Aluminios predefinidos por SolidWorks (Propiedades Aluminio 6060 T1) [Fuente propia].....	196
Figura 93: Cargas aplicadas sobre la estructuras de aluminio [Fuente propia].....	197
Figura 94: Estructura Lateral de aluminio SolidWorks [Fuente propia].....	198
Figura 95: Tensiones automática y real de la Estructura Lateral de Aluminio [Fuente propia].....	198

Figura 96: Desplazamientos automáticos y reales de la Estructura Lateral de Aluminio [Fuente propia] .....	199
Figura 97: Estructural frontal Aluminio [fuente propia] .....	200
Figura 98: Tensiones automática y real de las Estructuras Frontales de Aluminio [Fuente propia] .....	200
Figura 99: Desplazamientos automáticos y reales de las Estructuras Frontales de Aluminio [Fuente propia] .....	201
Figura 100: Conjunto explosionado (detalle rejilla de corte) [Fuente propia] .....	202
Figura 101: Aceros predefinidos por SolidWorks (Propiedades del Acero inoxidable forjado) [Fuente propia].....	203
Figura 102: Rejilla de corte con origen de coordenadas [Fuente propia].....	204
Figura 103: Fuerzas en la rejilla de corte [Fuente propia].....	204
Figura 104: Tensiones automática y real de la Rejilla de corte [Fuente propia] .....	205
Figura 105: Deformaciones automática y real de la Rejilla de corte [Fuente propia]..	205
Figura 106: Conjunto explosionado (Detalle Fresa) [Fuente propia].....	206
Figura 107: Características generales de la herramienta de corte [19].....	207
Figura 108: Dimensiones del chavetero en la fresa [2] .....	207
Figura 109: Dimensiones y tolerancias del chavetero en la fresa [2] .....	208
Figura 110: Aluminios predefinidos por SolidWorks (propiedades del Acero aleado SS) [Fuente propia] .....	209
Figura 111: Tensiones de Von Mises en la Fresa (cargas distribuidas en todos los dientes) [Fuente propia].....	210
Figura 112: Desplazamientos Fresa (Carga distribuida en todos los dientes) [Fuente propia].....	211
Figura 113: Tensiones de Von Mises en la Fresa (Carga distribuida en un diente) [Fuente propia] .....	212
Figura 114: Desplazamientos en la Fresa (Carga distribuida en un diente) [Fuente propia].....	212
Figura 115: Materiales personalizados en SolidWorks (PLA) [Fuente propia] .....	214

Figura 116: Conjunto explosionado (Detalle estructuras plástico) [Fuente propia].....	216
Figura 117: Tensiones de Von Mises (Estructura lateral de aluminio) [Fuente propia] .....	217
Figura 118: Desplazamientos (Estructuras laterales de plástico) [Fuente propia] .....	218
Figura 119: Tensiones de Von Mises (Estructura Frontal Plástico, carga puntual) [Fuente propia] .....	219
Figura 120: Desplazamientos (Estructura Frontal de plástico, carga puntual) [Fuente propia].....	220
Figura 121: Tensiones de Von Mises (Estructura Frontal Plástico, carga distribuida) [Fuente propia] .....	220
Figura 122: Desplazamientos (Estructura Frontal de plástico, carga distribuida) [Fuente propia].....	221
Figura 123: Conjunto explosionado (Detalle E. superior plástico) [Fuente propia] ....	222
Figura 124: Tensiones de Von Mises (Estructura Superior de Plástico) [Fuente propia] .....	223
Figura 125: Desplazamientos (Estructura Superior Plástico) [Fuente propia] .....	224
Figura 126: Características comunes de los rodamientos [42].....	232
Figura 127: Rodamiento de bolas de ranura profunda [42].....	233
Figura 128: Tipo de rodamientos de ranura profunda [42] .....	233
Figura 129: Dimensiones y características de los rodamientos de ranura profunda (d interior 10 - 22 mm) [42].....	234
Figura 130: tipo de rodamientos y clase de tolerancia [42].....	236
Figura 131: Métodos de medición para la precisión de funcionamiento de rodamientos [42] .....	237
Figura 132: Tolerancia para rodamientos radiales [42].....	237
Figura 133: Ajustes de los rodamientos radiales con ejes [42] .....	239
Figura 134: Ajustes de rodamientos radiales con alojamientos [42].....	240



# ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: Tecnologías de impresión 3D [Fuente propia] .....	42
Tabla 2: Tipos de fallos más comunes en impresión 3D [26][28].....	50
Tabla 3: Propiedades mecánicas del PLA [39].....	60
Tabla 4: Propiedades mecánicas del ABS [39] .....	62
Tabla 5: Comparación PLA vs ABS (impresión 3D) [Fuente propia] .....	63
Tabla 6: Resumen Histórico PSCE Tenerife 2005-2014 [38] .....	67
Tabla 7: Residuos tratados en la planta de clasificación envases PIRS [38].....	68
Tabla 8: Sistemas de corte comunes en trituración [16].....	71
Tabla 9: Compración de extrusoras [35] .....	74
Tabla 10: Alternativas estudiadas (modelos) [Fuente propia].....	88
Tabla 11: Precio de la herramienta de corte [19].....	109
Tabla 12: Valores ángulos de corte en fresas con agujeros [1] .....	144
Tabla 13: Fuerzas producidas por motores eléctricos Bosch [Fuente propia].....	147
Tabla 14: Fuerzas generadas por motores con reductor Bosch [Fuente propia] .....	147
Tabla 15: Diámetros mínimos del eje para los motores eléctricos [Fuente propia] .....	163
Tabla 16: Diámetros mínimos del eje para motores eléctricos con reductor [Fuente propia].....	163
Tabla 17: Condiciones de trabajo recomendadas por IZAL Tools [19] .....	172
Tabla 18: Dimensiones del chavetero de la fresa [Fuente propia] .....	208





# HOJA DE IDENTIFICACIÓN

<b>TÍTULO</b>	Trituradora de Plásticos Mediante Elementos Replicados en Impresora 3D.
<b>GRADO</b>	Ingeniería Mecánica
<b>TUTOR/ES</b>	María M. Laz Pavón/ Área de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica  Rosa E. Navarro Trujillo / Área de Expresión Gráfica en Ingeniería
<b>ENCARGADO POR</b>  <b>Dirección</b>	Trabajo de Fin de Grado, Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología  Avenida Astrofísico Francisco Sánchez s/n 38200 La Laguna. Santa Cruz de Tenerife
<b>AUTOR</b>  <b>Titulación</b>  <b>DNI</b>  <b>Dirección</b>  <b>Teléfono</b>	Pablo Armas Correa  Grado en Ingeniería Mecánica  43833482-J  Calle San Antonio nº 33, La Victoria de Acentejo. Santa Cruz de Tenerife  679506106
<b>ENCARGADO A</b>  <b>Fecha</b>	Pablo Armas Correa  Septiembre 2015





Universidad  
de La Laguna

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**  
**SECCIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

# **MEMORIA**

**TRITURADORA DE PLÁSTICOS MEDIANTE  
ELEMENTOS REPLICADOS EN IMPRESORA 3D**

**Titulación**

Grado en Ingeniería Mecánica

**Autor**

Pablo Armas Correa

**Tutoras**

María M. Laz Pavón

Rosa E. Navarro Trujillo

Septiembre 2015



# ÍNDICE MEMORIA

<b>1.PETICIONARIO</b> .....	25
<b>2.OBJETO</b> .....	25
<b>3.ALCANCE</b> .....	25
<b>4.RESUMEN</b> .....	27
<b>5.ABSTRACT</b> .....	28
<b>6.DEFINICIONES Y ABREVIATURAS</b> .....	29
<b>7. NORMAS Y REFERENCIAS</b> .....	36
7.1 Disposiciones legales y normas .....	36
7.2 Programas de cálculo .....	36
7.3 Bibliografía .....	36
<b>8. ANTECEDENTES</b> .....	40
8.1 Impresión 3D. ....	41
8.2 Estudios sobre Impresión 3 .....	46
8.3 Fallos en impresión 3D .....	49
8.4 Piezas a triturar .....	51
8.5 Tipos de materiales utilizados en impresoras 3D .....	56
8.6 El proceso de Reciclaje.....	63
8.7 El reciclaje en Tenerife .....	66
8.8 Trituradoras de plástico utilizadas en el reciclaje. ....	69
8.9 Reciclaje en impresión 3D.....	71
8.9.1 Extrusoras de plástico.....	73
8.9.2 Trituradora para impresión 3D: FilaMaker. ....	75
8.9.2.1 La ausencia de motor eléctrico. ....	78
8.9.2.2 Montaje de los rodamientos. ....	79
8.9.2.3 Herramienta de corte.....	80

8.9.2.4 Rejilla de corte.....	81
<b>9. REQUISITOS DE DISEÑO .....</b>	<b>83</b>
9.1 Montaje y desmontaje sencillo.....	83
9.2 Modificable y con posibilidad de ser replicada. ....	84
9.3 Sencillo y Compacto .....	84
9.4 Costo razonable.....	84
9.5 Dimensiones adaptadas al entorno de trabajo del laboratorio .....	85
9.6 Segura y fiable .....	86
<b>10. ALTERNATIVAS ESTUDIADAS.....</b>	<b>87</b>
<b>11. RESULTADOS FINALES.....</b>	<b>90</b>
11.1 Diseño .....	90
11.2 Elementos estructurales .....	97
11.2.1 Estructura lateral de plástico .....	97
11.2.2 Estructura frontal de plástico.....	101
11.2.3 Estructura superior plástico .....	103
11.2.4 Estructura lateral de aluminio .....	105
11.2.5 Estructura frontal de aluminio.....	106
11.2.6 Rejilla de corte. ....	107
11.2.7 Eje de transmisión .....	107
11.2.7.1 Conexión al motor eléctrico .....	108
11.2.8 Fresa de corte lateral con agujero.....	108





## 1. PETICIONARIO

El proyecto que se aborda en el presente documento, ha sido generado como propuesta a una necesidad vigente en el Área de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica y el Área de Expresión Gráfica en Ingeniería de La Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de La Laguna: avanzar en el proceso de reciclaje en impresión 3D por modelado mediante deposición fundida, FDM.

## 2. OBJETO

Este trabajo basado en los proyectos REPRAP, tiene por objeto el diseño de una máquina trituradora de plásticos a partir de elementos replicados mediante impresora 3D, que sirva de apoyo y complemente las investigaciones del Área de Ciencias de Materiales e Ingeniería Metalúrgica sobre las características mecánicas de los filamentos plásticos utilizados por impresoras 3D. Se engloban en este trabajo, la determinación de los elementos o piezas que son susceptibles a ser replicados en impresora 3D, la realización de los elementos parametrizados en 3D mediante SolidWorks y la generación de los ficheros STL necesarios para la impresión de los elementos.

## 3. ALCANCE

Técnicamente, la máquina basará su sistema de trituración, en el desbaste producido por una fresa de corte lateral con agujero. Este proceso, basado en los sistemas convencionales de trituración de un eje, será empleado para reutilizar los restos plásticos de PLA, proveniente de impresiones erróneas, con áreas que no superen los  $30 \times 60 \text{ mm}^2$ , cuyo espesor sobrepase los  $10 \text{ mm}$  y con relleno que esté por debajo de un 10%.

Se contempla dentro de este proyecto, el diseño de la trituradora y el estudio de sus componentes frente a la acción de cargas (generadas por un motor de 65W y 75 rpm),

mediante el software CAD SolidWorks. También los cálculos relacionados con el dimensionado del eje (a torsión, flexión y ambos combinados) y la elección de los rodamientos.

Quedan excluidos por tanto, los estudios y cuestiones relacionadas con el motor eléctrico, el cálculo de vida útil de la herramienta y el pliego de condiciones para el montaje de la trituradora.

## 4. RESUMEN

En este trabajo de fin de carrera se ha planteado el diseño de una trituradora de plásticos mediante elementos replicados en impresora 3D, con el fin de estudiar la máquina, los elementos que la componen y conocer cuáles son susceptibles de ser replicados con la tecnología de conformado tridimensional.

Este trabajo surge además como respuesta a la necesidad de obtener un método que facilite una solución viable y responsable a todos los excedentes que la impresión 3D produce durante su desarrollo. De este modo, se podrán triturar piezas cuya impresión no se haya llevado a cabo de la forma deseada, recortes, etc.

Se ha podido profundizar en los elementos de la máquina trituradora, definir su modo de operación y realizar los estudios y cálculos necesarios, a través de software como SolidWorks, Repetier-Host y Excel, para que su construcción y puesta en marcha sea lo más fácil posible. Además se han ampliado los conocimientos sobre la tecnología de fabricación 3D, desde el tipo de materia prima que se puede utilizar y su modo de obtención, la extrusión de material granulado o el obtenido a través de la trituración de piezas hasta el procedimiento de impresión tridimensional.

## 5. ABSTRACT

The final degree project that we are presenting aims to design a plastic crusher replicated by 3D printer, in order to study the machine, the elements that compose it and know that parts could be replicated with the technology of three-dimensional shaped elements.

This project also emerges as need for an environment that facilitates generating a viable and responsible solution for all 3D printing surpluses created during its development. Therefore, parts may be used whose printing has not been carried out as desired, cuts, etc.

Besides deepen into the elements that owns the machine, defining its mode of operation and performing the studies and calculations required, through software as SolidWorks and Excel, for construction and commissioning is as optimal as possible, it has been possible expand knowledge about manufacturing 3D technology, from the type of raw material that can be used and the method of production, extrusion or granular material obtained through the grinding of parts up to the three-dimensional printing.

## 6. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

### RepRap

Se conoce como RepRap (*Replication Rapid prototyper*) a una impresora 3D que ha sido generada a su vez por otra impresora 3D y que es capaz de imprimir objetos de plástico con diferentes propiedades y con diferentes formas. Muchas partes estructurales de esta impresora, han sido replicadas por otra impresora y forman un kit, que se complementa y forma ensamblaje con aquellas partes que no han podido serlo (generalmente las de metal y electrónicas: ejes, rodamientos, tornillos, motores, resistencias, etc.).

Como se muestra en la imagen inferior, el kit RepRap correspondería a las partes que pueden ser generadas mediante impresión 3D (*piezas de color blanco*).

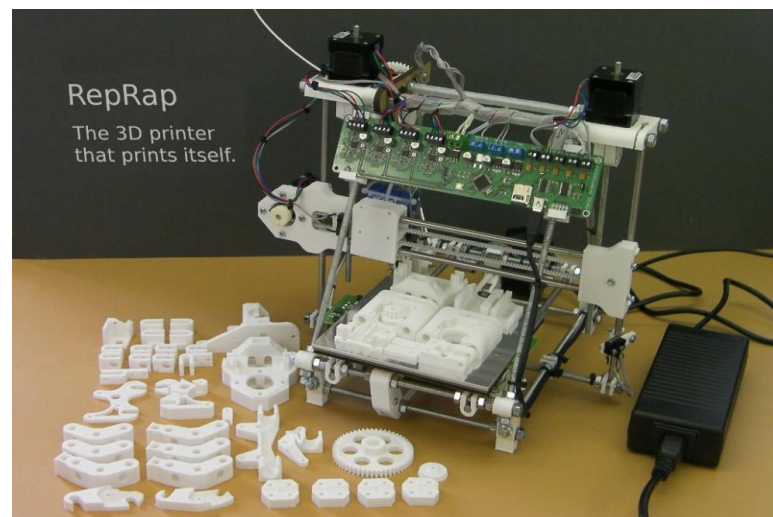


Figura 1: Impresora 3D RepRap Pro Huxley [31]

Por otra parte, RepRap se ha establecido como un concepto que actualmente abarca un campo más amplio, y se ha convertido en una referencia para la autofabricación y la autoreplicación.

Dispone de su propia comunidad online, en la que se usa el conocimiento generado de la experimentación, como beneficio para todo aquel que desee adentrarse en el campo de la impresión 3D. Sigue la línea de proyectos de software libre, en los que el éxito está relacionado directamente con las aportaciones de los usuarios, el desarrollo de nuevas propuestas y la mejora continua.

Es una definición cada vez más conocida, pues RepRap fue el proyecto que comenzó a fabricar impresoras 3D de bajo costo, algo que parecía imposible hace pocos años y que actualmente se presenta como una revolución tecnológica de dimensiones incalculables. Las impresoras RepRap dominan el campo de la impresión 3D accesible, permitiendo con ello, que miles de personas en todo el mundo, disfruten al fabricar objetos en tres dimensiones.

### **FilaMaker**

Es una de las primeras empresas dedicadas a la fabricación de filamento para impresoras 3D. Comenzó su aparición en el mercado como una empresa innovadora, que contaba con una gama de productos fiables y novedosos. Al comienzo sus modelos se basaban en extrusoras de plástico granulado, aunque durante el desarrollo de estas máquinas fue incorporando elementos constructivos interesantes desde el punto de vista del reciclaje y la autofabricación, como los mini-trituradores. Actualmente, es el fabricante referente en mini trituradores o trituradores de plástico específicos para impresión 3D.

### **UNTHA Tecnología de Trituración**

Es una empresa líder en tecnología de trituración. Dispone de productos de alta calidad y fiabilidad en los mercados. Ofrece servicios de responsabilidad y beneficios económicos a sus clientes. Presenta una gran capacidad de innovación y eficiencia a la hora de ofrecer soluciones en cuestiones de trituración. Dentro de sus valores, destaca el reciclaje de recursos

y el tratamiento de residuos, mediante el que argumenta, ahorra recursos valiosos, elimina grandes cantidades de residuos y recupera energía muy valiosa

### **Thingiverse**

Thingiverse es la mayor plataforma de publicación de diseños para impresión 3D a nivel mundial. Fue creada por Industrias Makerbot y se ha establecido como un referente para esta comunidad. Es una de las mejores redes para compartir piezas, figuras y copias de otros diseños. Su filosofía está basada en el diseño libre, lo que quiere decir, que es completamente abierta. Todos los diseños que se suban son accesibles al público sin ninguna restricción.

### **Taulman 3D**

Empresa americana proveedora de filamentos para impresión 3D. Es conocida por ser proveedora de materiales para impresión 3D de alta resistencia. No solo se dedica a abastecer al sector industrial, sino que también es una compañía enormemente comprometida con el mundo de los aficionados a esta tecnología. En su gama de materiales cuentan, entre otros, con: Nylon, PET, ABS, PLA y Policarbonato.

### **Ácido láctico**

Se emplea como sustituto de la glicerina por su efecto suavizante, también como regulador de acidez y para la formación de biopolímeros como el PLA.

## **FDM**

*Fused Deposition Modeling*. Modelado por deposición fundida. Es un tipo de tecnología de impresión 3D mediante la que se pueden fabricar piezas en tres dimensiones a través de la deposición de material semi-líquido en sucesivas capas

## **CAD**

*Computer Aided Design*. Comúnmente, el Diseño Asistido por Ordenador es el uso de programas informáticos para crear y/o parametrizar representaciones gráficas de objetos físicos en dos o tres dimensiones. El software CAD suele emplearse en aplicaciones específicas, como la animación, los efectos especiales, la publicidad, y aquellas en las que diseño gráfico es el producto final. También se utiliza para diseñar productos en un amplio rango de industrias, donde el software se encarga de calcular la forma y tamaño óptimos.

En el diseño industrial, CAD se utiliza principalmente para la creación de modelos 3D detallados de sólidos o superficie. Asimismo, se utiliza en todo el proceso de ingeniería desde el diseño conceptual y de productos, a través del análisis dinámico de los ensamblajes, hasta la definición de los métodos de fabricación. Esto permite que un ingeniero, tanto de forma interactiva como automática, pueda analizar variantes de diseño, para encontrar el óptimo y reducir al mínimo el uso de prototipos físicos.

## **FEA**

*Finite Element Analysis*. El Análisis por Elementos Finitos es la aplicación práctica del Método de Elementos Finitos FEM, que es utilizado por ingenieros y científicos para modelar matemáticamente y resolver problemas en estructuras complejas, fluidos y otros sistemas físicos.



Queda por tanto el FEA definido como el modelado de productos y sistemas en un entorno virtual, con el propósito de encontrar y resolver potenciales (o actuales) problemas estructurales o de rendimiento. Como software, puede ser utilizado en una amplia gama de industrias, pero es más comúnmente utilizado en las industrias aeronáutica, biomecánica y de automoción.

## **PET**

*Polietileno Tereftalato*. Corresponde al nombre de un polímero termoplástico, con alto grado de cristalinidad, que se puede encontrar en la mayoría de envases de la industria alimentaria. Sus cualidades principales son la transparencia, la admisión de colorantes, la alta resistencia química y térmica y su reciclado, aunque con pérdida de algunas propiedades. Es liviano, pese a tener una alta resistencia al impacto y un buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes.

## **DIY**

*Do It Yourself*. El DIY o *Hágalo Usted Mismo* es una práctica de fabricación o reparación de cosas por uno mismo. Es un campo que goza de una vasta amplitud, pues abarca desde dispositivos tecnológicos, mecánica, decoración, pintura, jardinería, informática, hasta cuestiones gastronómicas. Con ella, sus adeptos ahorran dinero, se entretienen y se aprenden al mismo tiempo. Es una forma de autoproducción que se aleja del mercado común, influyente y fácilmente accesible. Es una filosofía que no se centra en la voluntad de otros para materializar las convicciones propias.

**DIN**

*Deutsch Industrie Norm* (Normativa Industrial Alemana) es el nombre que reciben los estándares técnicos alemanes de racionalización y aseguramiento de la calidad. Vienen determinados por el Instituto Alemán de Normalización (*Deutsches Institut für Normung*) y se elaboran, en cooperación con el comercio, la industria, la ciencia, los consumidores y las instituciones públicas. El DIN representa los intereses alemanes en las organizaciones internacionales de normalización (ISO) y Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), entre otros.

**JIS**

*Japanese Industrial Standards* (Estándares Industriales Japoneses). Originalmente fueron desarrollados en 1649 por el *Comité Japonés de Estándares Industriales* (JISC) y han estado evolucionando desde entonces. Los JIS han sido en muchos sentidos la respuesta japonesa al ISO, pero esencialmente realizan la misma administración del sistema de calidad.

**ANSI**

*American National Standards Institute*, (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares). Es una organización sin ánimo de lucro que supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos. ANSI es miembro de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) y de la Comisión Electrotécnica Internacional CEI, (*International Electrotechnical Commission, IEC*).

**NSK**

*Nippon Seikō Kabushiki-kaisha*. Uno de los principales fabricantes de rodamientos, tecnología lineal, componentes de automoción y sistemas de dirección. Ofrece productos estándar y especiales para los sectores industriales clave. Su rango de producto incluye, rodamientos de bolas y rodillos, soportes, guías lineales, husillos, unidades para los cubos de ruedas, sistemas

de dirección y rodamientos de transmisión. Los diferentes tipos de rodamientos NSK incluyen de bolas de ranura profunda, contacto angular, autoalineantes, axiales, rodillos cilíndricos, esféricos, cónicos y de agujas. Sus servicios abarcan cursos de formación sobre producto, aplicaciones de ingeniería, programas de mejora de la rentabilidad y fiabilidad, herramientas técnicas y servicios on-line.

## **ABMA**

*The American Bearing Manufacturers Association* (Asociación Americana de Fabricantes de Rodamientos). Es una organización industrial que ofrece productos y servicios relacionados con la tecnología de los rodamientos. Fue fundada en 1917 como grupo informal de fabricantes, con el propósito de ayudar en la fabricación de rodamientos durante la I Guerra Mundial. Actualmente es una organización formal referente a nivel mundial que sirve de soporte para el desarrollo e investigación en el campo de esta tecnología.

## **7. NORMAS Y REFERENCIAS**

### **7.1 Disposiciones legales y normas**

[1] DIN-884N “*Medidas para Fresas Cilíndricas*”.

[2] DIN-138 “*Fijación y agujeros normalizados*”

[3] ISO 492/199/582 “*Precisiones de los Rodamientos*”. En referencia a las tolerancias para las dimensiones geométricas y la precisión de funcionamiento de los rodamientos.

[4] Acotación seguida mediante UNE – EN - ISO 128 “*Dibujos técnicos*”

### **7.2 Programas utilizados**

[5] SolidWorks.

[6] Microsoft Excel 2010.

[7] Repetier-Host

### **7.3 Bibliografía**

#### **LIBROS**

[8] Diseño de Elementos de Máquinas (2006), 4ª Edición - Robert L. Mott, P.E, University of Dayton [Editorial Pearson Educación]

[9] Elementos de Máquinas (1987) Cálculo, diseño y construcción - G. Niemann [Editorial Labor]

[10] SolidWorks Simulation (2010) - Sergio Gómez González [Editorial Ra-Ma]

[11] Tecnología Mecánica (2008), Tomo I, Metrología Dimensional -Ramón Alesanco García

[12] Máquinas (2008), Cálculo de Taller – Arcadio López Casillas

## **APUNTES**

[13] Resistencia de Materiales I

[14] Cálculo y Diseño de Máquinas I

[15] Expresión Gráfica y Diseño Asistido por Ordenador

## **ENLACES**

Trituradores Industriales

- [16] UNTHA. <http://www.untha.com/es>

Trituradores para impresión 3D

- [17] FilaMaker web. <http://filamaker.eu/>
- [18] FilaMaker página de Facebook. <https://www.facebook.com/FilaMaker>

Fresas

- [19] IZAR Tools. <http://www.izartool.com/en/home>

Fresado

- [20] Presentación Modulo 10: fresado. Tecnología Mecánica. Departamento de Ingeniería Mecánica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad del País Vasco. [http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/1262\\_ca.pdf](http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/1262_ca.pdf)

- [21] Presentación Tema 5: fresado. Fabricación Asistida por Computador. 2º Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Mecánica. Universidad Miguel Hernández, Elche. <http://isa.umh.es/assignaturas/tf/tema5.pdf>
- [22] Ministerio de Educación Cultura y Deporte. Curso de Mecanizado en Fresadora. [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/2\\_mecanizado\\_fresadora/curso/index.htm#](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/2_mecanizado_fresadora/curso/index.htm#)
- [23] Mitsubishi Materials. Catálogo de datos técnicos del fresado. [https://www.mitsubishicarbide.com/EU/es/product/pdf/c\\_n\\_other/c006s\\_n.pdf](https://www.mitsubishicarbide.com/EU/es/product/pdf/c_n_other/c006s_n.pdf)

### Impresión 3D

- [24] Stratasys. <http://www.stratasys.com/>
- [25] Gartner. <http://www.gartner.com/newsroom/id/2825417>
- [26] Dima 3D. <http://www.dima3d.com/defectos-en-piezas-fabricadas-por-impresion-3d-fff-causas-y-soluciones/>
- [27] Emerging Objects <http://www.emergingobjects.com/>
- [28] Flickr. <https://www.flickr.com/groups/3d-print-failures/>
- [29] Xataka. <http://www.xataka.com/perifericos/estas-son-las-tecnologias-de-impresion-3d-que-hay-sobre-la-mesa-y-lo-que-puedes-esperar-de-ellas>

### Impresoras 3D

- [30] Makerbot <http://www.makerbot.com/>
- [31] RepRap <http://reprap.org/>
- [32] Sculptify <http://sculptify.com/>
- [33] Objet Connex <http://www.stratasys.com/3d-printers/design-series/connex-systems>

### Extrusoras

- [34] Filabot. <http://www.filabot.com/>
- [35] ProtoCyler [www.redetec.com](http://www.redetec.com)

### Estudios impresión 3D

- [36] Surveys Peer Production. <http://surveys.peerproduction.net/2012/05/manufacturing-in-motion/>

### Piezas de impresión 3D

- [37] Thingiverse. <https://www.thingiverse.com/>
  - <http://www.thingiverse.com/thing:558260>
  - <http://www.thingiverse.com/thing:356580/#files>

### Plásticos

- [38] RESTE. <http://reste.es/Estad%C3%ADsticasderesiduos.aspx>
- [39] Nature Works. <http://www.natureworkslc.com/>

### Reciclaje

- [40] Ecoembes. <https://www.ecoembes.com/es>
- [41] Reste (PIRS). <http://www.reste.es/>

### Rodamientos

- [42] NSK. [http://www.nskeurope.es/cps/rde/xchg/eu\\_es/hs.xsl/index.html](http://www.nskeurope.es/cps/rde/xchg/eu_es/hs.xsl/index.html)

### Motor

- [43] Bosch. <http://www.bosch-home.es/>

## 8. ANTECEDENTES

El diseño de Esta máquina, se engloba dentro de un proyecto de mayores dimensiones, en el que coexisten, un estudio de fabricación de filamentos para impresoras 3D mediante materiales reciclados y una extrusora de plásticos autoreplicable. Estos tres desarrollos adquieren especial importancia, pues son piezas clave para un correcto y exitoso desarrollo del proceso de reciclaje. Con ello, se completaría un proceso sostenible, que optimiza recursos, genera menos residuos y que es resultado de las sinergias producidas entre los tres estudios anteriores.

Al igual que sucede con la extrusora de plásticos, el presente trabajo, está basado en proyectos RepRap [31], en los que se trabaja la generación de impresoras 3D a partir de elementos producidos con dichas máquinas. De la misma forma, se ha intentado diseñar una máquina Trituradora que disponga de cualidades autoreplicables y pueda servir de soporte a la investigación en el Área de Ciencia e Ingeniería Metalúrgica sobre características mecánicas de los filamentos 3D.

Antes de comenzar con el diseño de la máquina, resulta necesario introducir una serie de cuestiones y tecnologías que se abordarán con cierta frecuencia en el presente documento, entre las que destacan: Impresión 3D, Reciclaje, Reciclaje en impresión 3D, Trituradores de plástico, Trituradores de plástico para impresión 3D, fallos comunes en impresión 3D y materiales plásticos en impresión, entre otros. Esta documentación adquiere especial importancia pues es la base que ha cohesionado el presente estudio y dado coherencia al diseño de la trituradora.



## 8.1 Impresión 3D.

La tecnología de impresión 3D engloba un grupo de procesos y metodologías de fabricación, que mediante diversas técnicas, permiten obtener un objeto en tres dimensiones previamente parametrizado. Es una de las grandes tendencias de la industria tecnológica en los últimos tiempos y según los expertos, puede derivar en una nueva revolución industrial. Sin embargo, toda expansión tecnológica lleva un tiempo hasta que se generaliza y establece. Así lo indican analistas de Gartner [24], en un estudio sobre esta materia, “*Hype Cycle for 3D Printing, 2014*“. En él, aseguran que como mínimo, hasta dentro de cinco años no se habrá extendido en el campo del consumo. En otros trabajos más específicos y profesionales, como el de la empresa y la medicina, sí parece que tendrá una mayor repercusión, afianzándose entre los dos y los cinco años. Así queda reflejado en la gráfica siguiente:

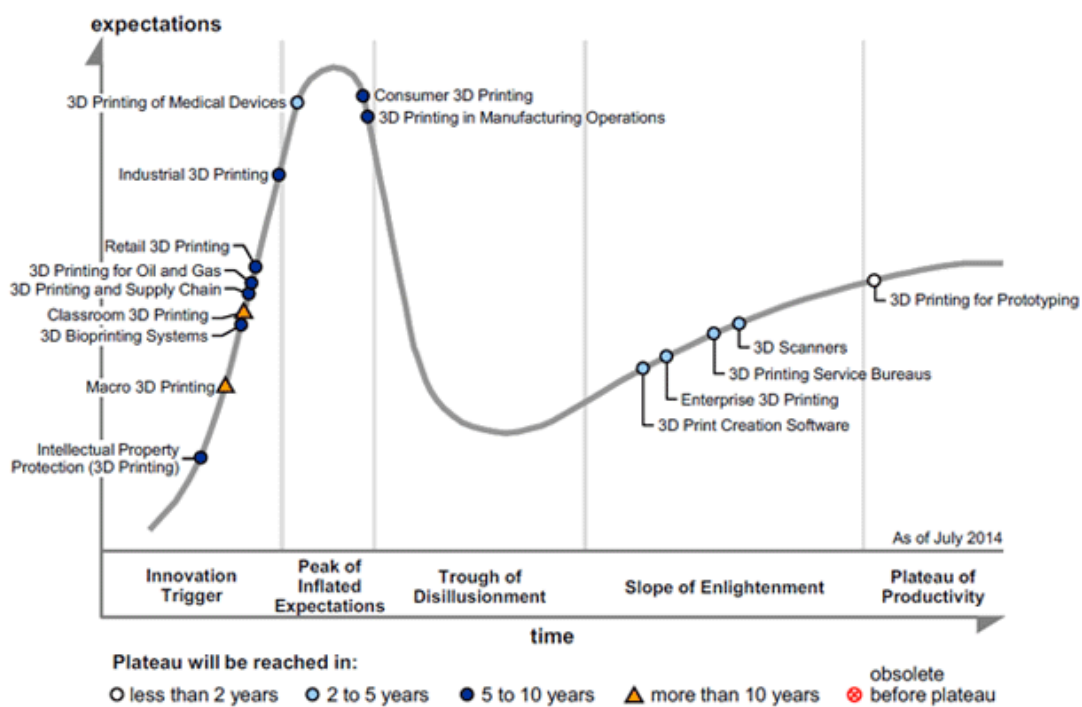


Figura 2: Evolución de la Tecnología de Impresión 3D (Hype Cycle for 3D Printing) [24]

También, en este informe, se realiza una radiografía de la situación actual a nivel de proveedores de este tipo de tecnología. Existen, según el estudio, unos 40 fabricantes que comercializan impresoras 3D dirigidas a empresas y unas 200 *startups*, que se están incorporando al mercado con el desarrollo de máquinas para consumo. Se afirma que el precio de estos dispositivos, todavía caros y poco accesibles, irá descendiendo a medida que se afiance el campo.

La tecnología 3D abarca campos sumamente amplios y engloba por consiguiente, metodologías, de diversa procedencia. Los conceptos físicos de conformado en tres dimensiones varían en un amplio rango, pasando de la fundición de polímeros, hasta el sinterizado por láser. En la siguiente tabla, se recogen la mayoría de estas tecnologías con sus materiales típicos de conformado.

**Tabla 1: Tecnologías de impresión 3D [Fuente propia]**

Tipo	Tecnologías	Materiales comunes
<b>Adición</b>	Modelado por deposición fundida	Termoplásticos (PLA, ABS) HDPE, metales eutécticos, materiales comestibles
<b>Hilado</b>	Fabricación por haz de electrones	Casi cualquier aleación
<b>Granulado</b>	Sinterizado directo de metal por láser	Casi cualquier aleación
	Fusión por haz de electrones	Aleaciones de titanio
	Sinterizado selectivo por calor	Polvo termoplástico
	Sinterizado selectivo por láser	Termoplástico, polvos metálicos, polvos cerámicos
	Proyección aglutinante	Yeso
<b>Laminado</b>	Laminado de capas	Papel, papel de aluminio, capa de plástico
<b>Fotoquímicos</b>	Estereolitografía	fotopolímero
	Fotopolimerización por luz ultravioleta	fotopolímero

La tecnología de impresión 3D más conocida y la que goza actualmente de mayor número de adeptos es la de adición o modelado por deposición fundida (FDM), desarrollada por Stratasys [24]. En ella se centrará esta breve introducción sobre esta tecnología, puesto que es la más común y la disponible para el departamento de la universidad. FDM, es un método poderoso de fabricación aditiva que construye modelos de prototipos funcionales y piezas de uso variable. Los materiales que se utilizan en la FDM son termoplásticos estándar, con diferentes grados de rendimiento, como ABS, PLA, Nylon, PET, Policarbonato, Poliestireno y otros materiales de interés (comestibles, plásticos aditivados, etc.).

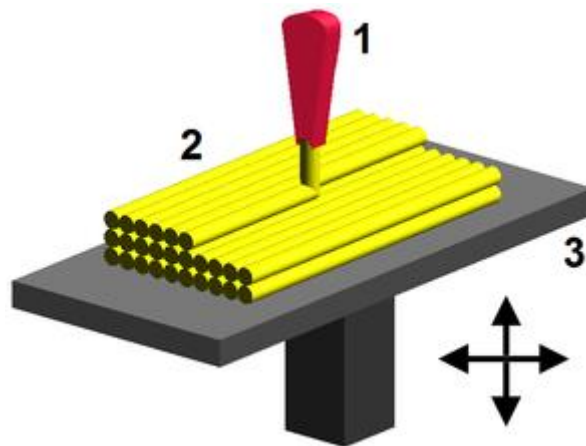


Figura 3: Método de impresión por adición [29]

Con este método, las piezas se construyen capa por capa, depositando material termoplástico caliente (en estado casi líquido), que es extruido según parámetros controlados a través de un programa informático. Esta praxis, queda representada en la ilustración anterior, donde el cabezal extrusor (1) se mueve, normalmente, en coordenadas X e Y depositando el material fundido (2) que tras solidificarse, forma capas de pequeños cilindros sobre la cama de la impresora (3), elemento este último, que suele elevarse en el eje Z.

A nivel estructural, FDM usa dos materiales para ejecutar un trabajo de impresión: material de modelado, que constituye la pieza terminada, y en ocasiones, material de soporte, que actúa como estructura. Esto sucede cuando se realizan impresiones de objetos con formas complejas (arcos, techos, voladizos...). Una vez que se termina de construir el objeto, el usuario debe retirar el material de soporte rompiéndolo o disolviéndolo.

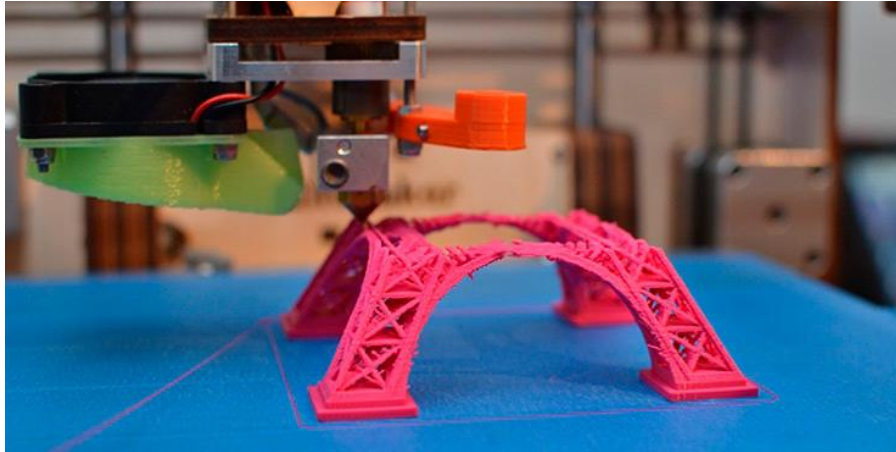


Figura 4: Proceso de impresión por FDM [29]

Las piezas u objetos en tres dimensiones que se crean con el método FDM suelen tener una precisión finita y su acabado superficial suele mostrar diferentes incorrecciones. Hasta que no se ajustan perfectamente los parámetros de impresión, se dan frecuentemente problemas o errores de impresión. Uno de los más comunes, y relacionado con la calidad superficial, es la visualización de los hilos generados por el sistema de inyección. Esto se debe a que la resolución para dispositivos de bajo costo (RepRap [31], Makerbot [30], etc.), viene dada en espesor de capa y suele estar alrededor los 0,1mm.

Otro de los principales problemas que presenta la tecnología FDM es la tolerancia dimensional de sus piezas, que depende, tanto de la resolución y de la máquina utilizada, como del material a imprimir. Es uno de los parámetros más importantes en la elección de proceso de impresión y del dispositivo, ya que no sólo determinará la propia tolerancia dimensional de la pieza, sino, en caso de espesores pequeños, si se puede fabricar o no.

El límite actual de tolerancia para dispositivos DIY o de bajo coste están en torno a 0,1 - 0,2 mm. Para trabajos de más demanda dimensional, algunos fabricantes son capaces de garantizar tolerancias del orden de las decenas de micras.

Para trabajos específicos en los que se requiera una alta resolución, existen algunas impresoras como Objet Connex [33] que imprimen capas horizontales de hasta 16 micras. Su resolución es comparable a la de las impresoras láser convencionales y su precisión para trazos por debajo de 50 mm puede llegar a ser de 20 – 85  $\mu\text{m}$ .



Figura 5: Piezas impresas con Objet Connex [33]

Las impresoras a disposición del laboratorio (ULL) son las características en dispositivos de bajo coste. Makerbot (Replicator 2) y RepRap. Su tolerancia es de 0,1 - 0,2 mm y su resolución de 0,1mm. Es un dato importante y a tener en cuenta a la hora de replicar las piezas de la trituradora.

## 8.2 Estudios sobre Impresión 3D

Un estudio realizado por la plataforma “*Statistical Studies of Peer Producción*”[36], “*Manufacturing in Motion: First Survey on 3D Printing Community*” hace una radiografía de la situación a nivel de proveedores, materiales y usuarios de esta tecnología.

### *Impresoras*

Uno de los resultados más interesantes del estudio se encuentra en el tipo de impresora y/o marca utilizada por los usuarios encuestados.

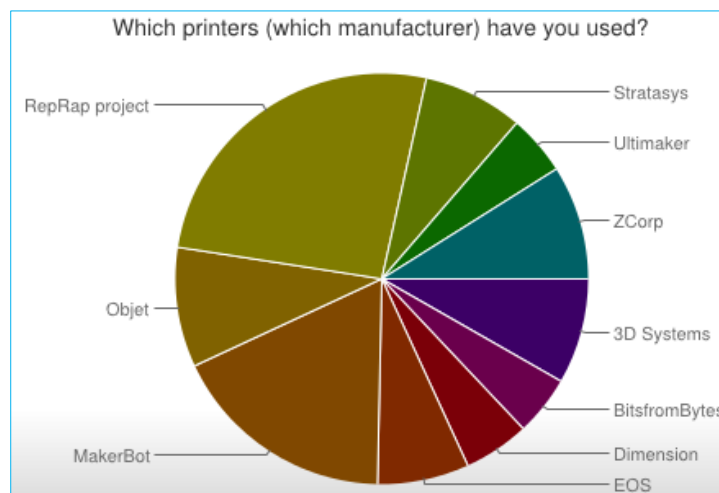


Figura 6: Impresoras utilizadas, Estudio 2012 [36]

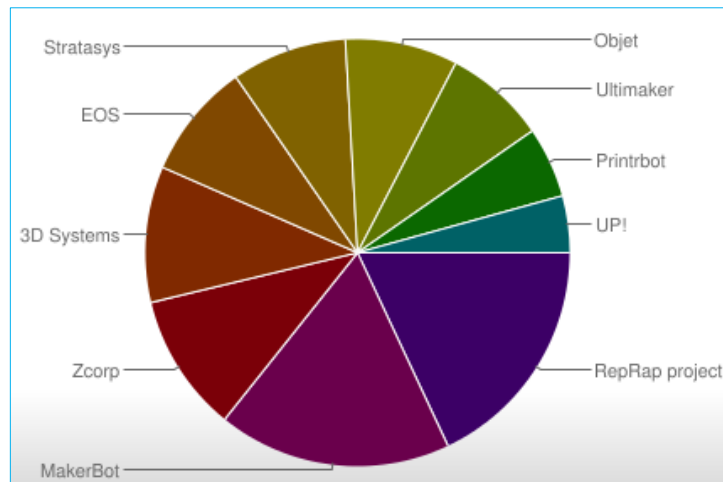


Figura 7: Impresoras utilizadas, Estudio 2013 [36]

Se ve como en el año 2012 aumenta el interés por el campo de los proyectos de autoreplicación RepRap, pues han sido una parte clave para el desarrollo de la tecnología y son, en gran parte, los que facilitaron la accesibilidad y aumentaron el mercado de la impresión 3D. En el año 2013, este porcentaje tiende a igualarse con su competidor comercial, Makerbot. Esto se debe a que se ha elevado la inversión y fortalecido el campo.

**Material**

También, existen preferencias con respecto al material utilizado en el proceso de impresión.

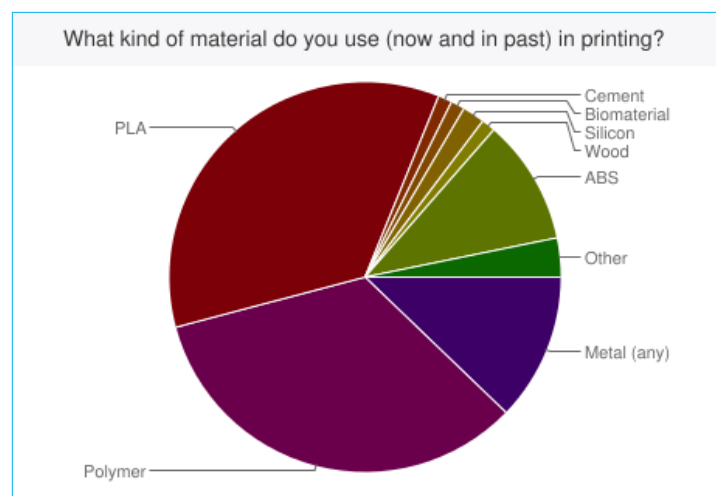


Figura 8: Materiales utilizados en la impresión 3D, 2012 [36]

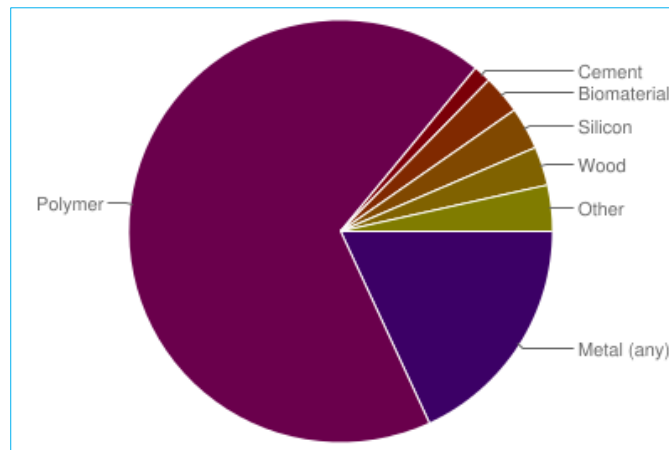


Figura 9: Materiales utilizados en la impresión 3D, 2013 [36]

Esta evidencia significativa entre 2012 y 2013, se debe a que en el primer año aparecen el PLA, el ABS y los polímeros por separado. Sin embargo, en 2013 los polímeros son los que dominan el gráfico. En 2013 los ejecutores del proyecto entienden que estos materiales, al ser bio-polímeros y co-polímeros deben entrar dentro de la categoría. Por tanto, el PLA y el ABS, vuelven a dominar el mercado de materiales.

***Factor Nivel de Estudios de los participantes en el estudio***

Como resultado final y para remarcar la importancia de la impresión 3D, no solo en la revolución tecnológica actual, sino concretamente, en el campo de la ingeniería, se exponen los resultados del estudio con respecto al nivel de estudio de los participantes.

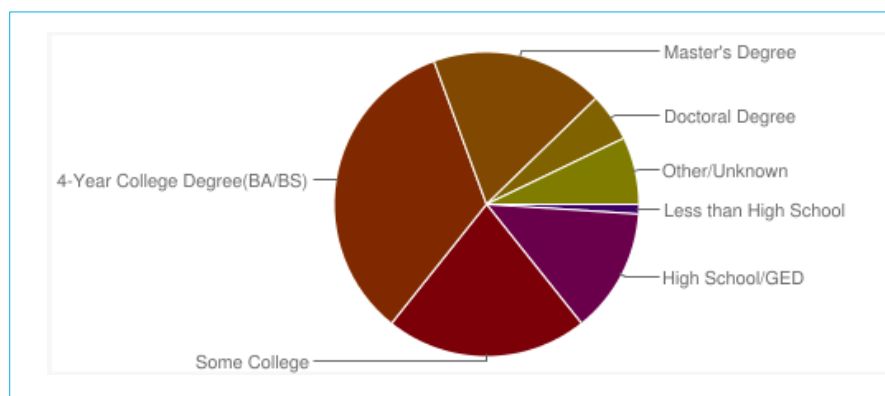


Figura 10: Nivel de estudios de los encuestados, 2012 [36]



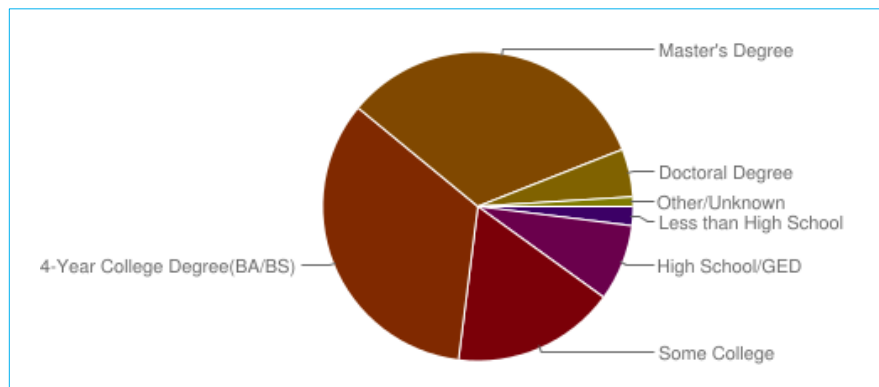


Figura 11: Nivel de estudios de los encuestados, 2013 [36]

Queda por tanto reflejada la importancia que los estudios universitarios y los estudios de postgrado tienen en el campo del prototipado por impresión 3D, superando el 60% del total. Esto demuestra que la impresión 3D es y será una vía para el desarrollo técnico y profesional de muchos estudiantes y egresados. Abre por tanto la puerta a nuevos campos de aplicación y a nuevas iniciativas de desarrollo e investigación.

### 8.3 Fallos en impresión 3D.

La cara menos conocida de la impresión 3D son las contables ocasiones en las que los objetos no terminan de replicarse como se esperaba. Con frecuencia ocurre que, tras un tiempo de impresión, el usuario encuentra ciertos errores inesperados. Las causas pueden ser varias y de diferente naturaleza. Por ello, es interesante saber identificar algunos errores comunes, conocer su procedencia y determinar cuáles son los componentes de la impresora que están ligados a ellos. Este planteamiento da una idea de las piezas erróneas más comunes, que serán las que deberá triturar la máquina.

Estos defectos o fallos en las piezas pueden estar asociados a diferentes causas, desde la configuración de parámetros en el software utilizado, hasta posibles fallos mecánicos o

eléctricos de la máquina. En casos excepcionales, puede resultar compleja su determinación, pero generalmente son fácilmente perceptibles y subsanables.

Los errores que se dan con mayor frecuencia en la impresión 3D, son los que aparecen a continuación y que se han explicado con detalle en el *Anexo 3.2: Fallos en impresión 3D*.

**Tabla 2: Tipos de fallos más comunes en impresión 3D [26] [28]**

Tipo de fallo	
De deformación	<p><b>Desplazamiento de capas.</b> Se presentan capas escalonadas, desplazadas normalmente en dirección horizontal.</p> 
	<p><b>Deformación en las capas.</b> Capas fundidas con las superiores e inferiores, con paredes expandidas hacia ambos lados.</p> 
	<p><b>Warping.</b> Levantamiento de las esquinas sobre la cama de la impresora 3D.</p> 
	<p><b>Pérdida de forma.</b> Despegue de una de las capas depositadas sin parada de la máquina. .</p> 
De capa	<p><b>Delaminación.</b> Aparecen grietas separando las capas impresas</p> 
	<p><b>Hendidura de capas.</b> Huecos horizontales en las paredes, con falta de perímetros.</p> 
En la extrusión	<p><b>Falta de plástico.</b> Deposición de plástico intermitente o insuficiente.</p> 

	<p><b>Conformación parcial.</b> Piezas inacabadas, estando replicadas solamente hasta una cierta altura de capa.</p>	
	<p><b>Acumulación de material.</b> Deposición excesiva de plástico en el extrusor.</p>	
De acabado superficial	<p><b>Hilos separados.</b> Huecos dispersos o espacios coincidentes entre hilos.</p>	
	<p><b>Hilos solapados.</b> Acumulación de rebabas y acanaladuras en la superficie.</p>	
	<p><b>Bultos o agujeros.</b> Piezas huecas, con bultos o zonas sin rellenar.</p>	

Quedan resumidos en la tabla superior los fallos más comunes en la impresión 3D. Como se puede esperar, la mayoría de piezas que a día de hoy se fabrican mediante la tecnología FDM de bajo costo, tienen unas dimensiones no demasiado elevadas.

## 8.4 Piezas a triturar.

Aunque es un campo que goza de una amplia variedad y diversificación, actualmente, sus aplicaciones se destinan a elementos de reducido tamaño. Viene determinado por el volumen de impresión de la máquina empleada, pero generalmente, las piezas a replicar, no abarcan toda la capacidad del dispositivo.

Generalmente, las piezas replicadas mediante impresión 3D, se pueden clasificar en diversos campos, según la naturaleza de aplicación.

1. **Arte interactivo /Educativos.** Fabricación de elementos dinámicos, creativos y lúdicos, mediante los que se pueda generar un aprendizaje. (engranajes, puzles, bloques, conjuntos, cadenas de ADN, órganos, etc.).
2. **Tendencias.** Piezas apreciadas actualmente por presentar diseños novedosos y personalizados (anillos, llaveros, complementos, pulseras, gafas, etc.)
3. **Impresión 3D.** Elementos replicados mediante impresora, que son clave para el desarrollo de otra nueva impresora. Típicos y fundamentales en los proyectos RepRap (soportes, detalles, acoples, detalles añadidos, etc.)
4. **Gadgets.** Productos que sirven de complemento a la tecnología. (Soportes para cámaras de foto, vídeo, móviles, cargadores, mandos, fundas de móvil, enganches para portátiles, etc.).
5. **Hobbies.** Piezas producto de la incorporación de la tecnología 3D en las actividades de tiempo libre. (piezas para drones, robótica, decoración, instrumentos, aeromodelismo, etc.).
6. **Utensilios comunes.** Elementos de utilización habitual (pinzas, clips, cajas, lámparas, lapiceros, exprimidores, moldes, matamoscas, etc.).
7. **Educativos.** Encaminados a la transmisión de conocimiento, tienen como objetivo ser utilizados para facilitar y dar realidad a su posterior explicación práctica. (prototipos de esqueletos, huesos, órganos, cadenas de ADN, células, estructuras moleculares, mecanismos, juegos de engranajes, pernos, tornillos, motores, maquetas geográficas y piezas geométricas entre otros).
8. **Modelado/ prototipado.** Normalmente y en su mayoría corresponden a piezas escaneadas o con un alto grado de parametrización. Suelen ser estructuras o edificios

conocidos, maquetas de coches, figuras o bustos de personas o personajes famosos, coches, símbolos, mascotas, animales o logos.

9. **Herramientas.** Relacionan la impresión 3D con la aplicación práctica en un entorno de trabajo. Se encuentran piezas como portabrocas, mangos para destornilladores, cajetines para guardar herramienta, tornillos, bisagras, llaves inglesas, llaves convencionales, fijadores, cúter, etc.

Con todo lo anterior, se puede tener una idea generalizada de las piezas que se fabrican a nivel particular mediante la impresión 3D por adicción de polímeros.

Por el contrario, aunque las piezas replicadas en el Área de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de La Laguna, se podrían englobar, en cierto modo, dentro el grupo 1, tienen diferente naturaleza. En su gran mayoría, los elementos impresos por el departamento, están encaminados al estudio y ensayo de materiales. Por consiguiente, las piezas típicas que nos encontramos y que disponen de mayor importancia en este proyecto quedan englobadas dentro de cuatro grandes grupos.

1. **Probetas para ensayos de tracción.** Estas piezas tienen unas dimensiones establecidas por la norma UNE- EN ISO 527: 2012 referente a “Plásticos: “*Determinación de las propiedades a Tracción.*” En los estudios realizados por el proyecto de final de carrera “*Fabricación de Filamentos para impresoras 3D a partir de elementos reciclados*”, el área, el espesor y el porcentaje de relleno, se han establecido en  $170 \times 10 \text{ mm}^2$  ( $1700 \text{ mm}^2$ ),  $4 \text{ mm}$  y  $10\%$ , respectivamente.

Al ser un ensayo destructivo, se produce la rotura de la pieza, en muchos casos completa, lo que reduce a su vez el área de las piezas a triturar. El resultado sería el que podemos observar en la siguiente figura.

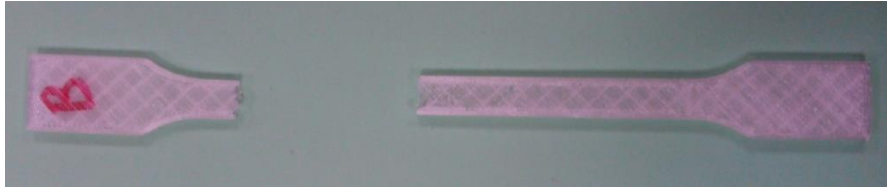


Figura 12: Probeta impresión 3D (PLA) tras el ensayo de tracción [Fuente propia]

2. **Probetas para ensayos de flexión.** Estas piezas tienen menores dimensiones que las de tracción y son completamente rectangulares.  $60 \times 10 \times 4 \text{ mm}$ . También vienen designadas por norma, concretamente por la UNE –EN – ISO 178: 2010 “*Plásticos: Determinación de las propiedades a Flexión*”.



Figura 13: Probeta impresión 3D (PLA) tras ensayo de flexión [Fuente propia]

Al igual que sucede con las probetas de tracción, su porcentaje de relleno puede variar en un amplio rango. Coinciden los valores, también al estar impresas con un 10% de material sólido.

3. **Probetas o cubos para ensayos de compresión.** Son generalmente cubos replicados en impresión 3D, de pequeñas dimensiones y con rellenos de porcentaje variable. Según el histórico de ensayos realizados en Área de Materiales, sus dimensiones, material y rellenos fueron los siguientes:

- PLA 40x40x40mm al 10%
- PLA 40x40x40mm al 40%

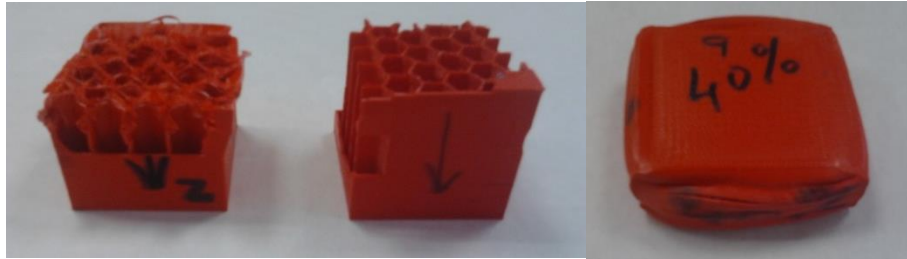


Figura 14: Probeta impresión 3D (PLA) tras ensayo de compresión [Fuente propia]

La resistencia que presentaron estos cubos frente a las cargas fue considerablemente alta. Así se puede comprobar en la gráfica inferior, en la que el eje Y representa valores de presión en MPa y en el X, valores de alargamiento en mm.

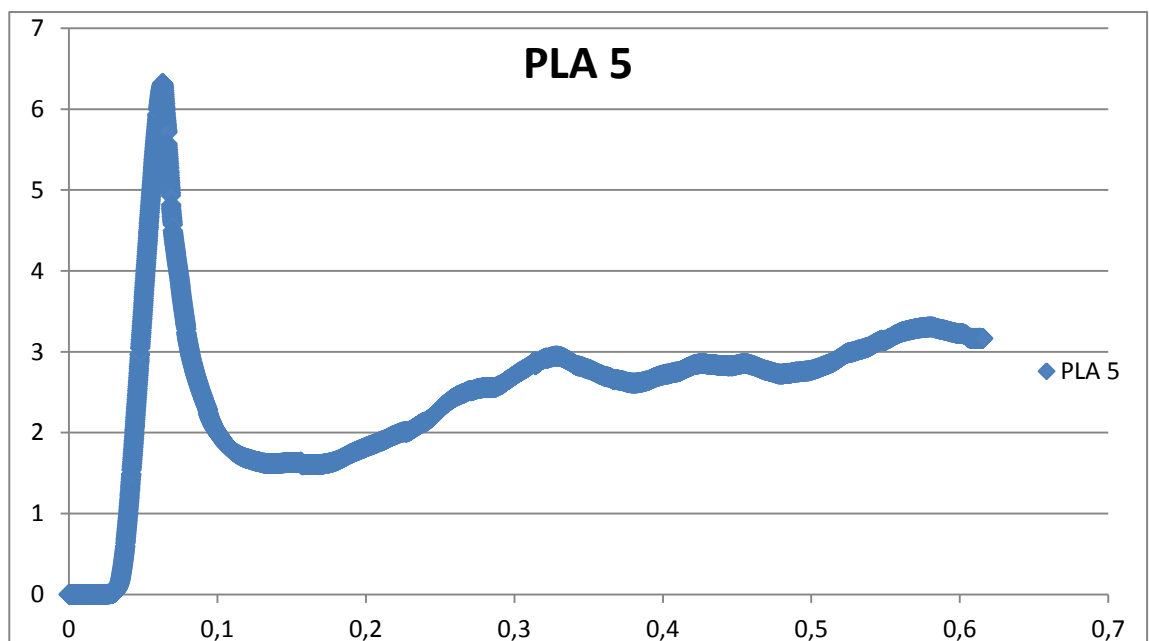


Figura 15: Presión vs alargamiento de los cubos ensayados a compresión [Fuente propia]

Debido a la alta resistencia que presentaron estos cubos, se aduce necesario establecer un proceso de triturado previo para fragmentarlos. A pesar de que su resistencia disminuye considerablemente en la dirección paralela a las capas de material, la fuerza sigue siendo elevada. También, debe advertirse que el esfuerzo de compresión y el esfuerzo de corte tienen numerosas diferencias, por lo que no se puede estimar la

fuerza de corte de las piezas como la fuerza de compresión. La trituradora de plásticos empleará una herramienta de corte diseñada para operaciones de desbaste, por tanto, la aplicación de la fuerza y la carga que ejerce sobre las piezas difiere con la de compresión.

El resultado tras la trituración deberá ser similar al que se observa en la siguiente figura.



Figura 16: PLA triturado procedente de los cubos para ensayos compresión [Fuente propia]

4. **Piezas de plástico para granular.** Este grupo engloba nuevos materiales que se esperan introducir en la extrusora de plásticos, para producir filamento y así fabricar probetas como las expuestas. Pueden tener diversa geometría y estar compuestas por varios materiales (PET, ABS, PLA, etc.). Por ello, determinar a priori ciertas características como pueden ser su área, su espesor o su resistencia se presenta como una cuestión conjetural.

## 8.5 Tipos de materiales utilizados en impresoras 3D.

Los materiales plásticos utilizados en esta tecnología adquieren un especial interés por varios motivos. Por un lado, corresponden a los materiales a triturar por la máquina y por tanto, hay que conocer determinadas características mecánicas para saber las magnitudes de las fuerzas a aplicar por la trituradora; por otro, son los materiales que compondrán las estructuras replicadas de la propia máquina.



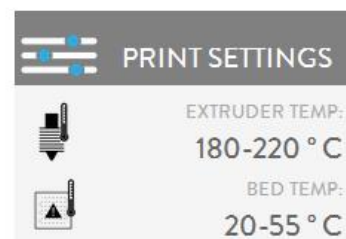
El campo de la impresión 3D es un sector en el que la investigación, el desarrollo y la innovación son una parte fundamental para su avance. Constantemente se descubren nuevos materiales para emplear en esta tecnología, como madera, cemento, materiales cerámicos o diferentes tipos de fibras (de coco, plátano, etc.). Como ejemplo llamativo, la empresa Emerging Objects [27] trabaja en la innovación y el desarrollo de nuevos materiales para impresión 3D, entre los que destacan: la arena, la sal, el papel y las resinas. En la ilustración inferior, se puede apreciar el proceso seguido hasta la impresión en tres dimensiones de papel reciclado.



Figura 17: proceso de obtención de piezas impresas 3D en papel [27]

A pesar de todos estos estudios y experimentos, a día de hoy, existen dos materiales, en este caso termoplásticos, que sobresalen por encima de todos: El ABS y el PLA, que han llegado a convertirse en los dos elementos básicos de esta tecnología.

**PLA**  
(Polylactic Acid)



## PLA

Es un biopolímero termoplástico cuya molécula precursora es el ácido láctico y que proviene de recursos como el almidón de maíz, las raíces de tapioca o la caña de azúcar.

### Propiedades:

Dentro de sus cualidades más representativas, destacan:

- Su biodegradabilidad y biocompatibilidad, con otros polímeros. Su módulo de elasticidad y su fuerza extensible, de magnitudes similares al PET. Justamente, comparte rango de propiedades mecánicas con polímeros petroquímicos, excluyendo su baja elongación y su menor densidad. En líneas generales, es un plástico rígido y frágil, con una baja deformación por rotura. Ostenta un alto poder de fuerza mecánica y buena plasticidad térmica. Como producto final, suele presentar una superficie con una alta resistencia al rayado y al desgaste. También, presenta una baja toxicidad.

### Usos:

Sus principales usos radican en diferentes sectores.

- Industria alimentaria, química, farmacéutica, médica, textil, de la agricultura y alimentación animal. Suele utilizarse como sustituto de polímeros en envases de plástico, recipientes extruidos o termoformados, como tupperware, botellas de agua o recipientes para ensaladas entre otros.

### Desventajas:

Dentro de los inconvenientes que genera su utilización, se recogen algunos de ellos.

- El postproceso de su uso en impresión (mecanizado, pintado y pegado) mucho más complicado que su competidor, ABS. Puede producirse *warping* durante el

procedimiento de enfriamiento. Presenta una baja temperatura de distorsión y es algo más complejo de reciclar. No permite la utilización de aditivos para mejorar su resistencia fotoquímica.

#### Ventajas:

De forma general, el PLA se ha extendido ampliamente en el mercado por una serie de motivos.

- Tiene una barrera frente al agua, al O<sub>2</sub> y al CO<sub>2</sub> bastante buena. Se deja imprimir y puede incluso no necesitar tratamientos previos antes de la impresión. Puede ser tan duro como el acrílico, tan blando como el polietileno o tan flexible como un elastómero. Puede además ser formulado para dar una variedad de resistencias. Su degradación es más lenta si la cristalinidad es elevada y si el peso molecular es elevado.

#### Impresión con PLA:

Por ciertas cuestiones, se ha convertido en un material principal para la impresión 3D.

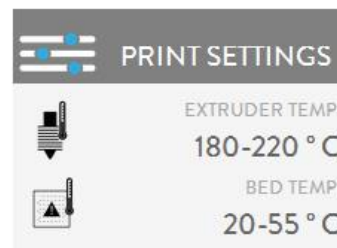
- Es más fácil de imprimir. Se debe a su capacidad de impresión en temperaturas más bajas que el ABS y la no necesidad de adherirse a una plataforma de impresión a temperatura demasiado elevada. No necesita cama caliente, aunque muchos usuarios suelen utilizarla para evitar posibles problemas generados por el contraste térmico. Es asequible y uno de los más económicos. Es un plástico ideal para las piezas huecas con paredes finas. Sin embargo, es algo más frágil que el ABS y más difícil de post-producir.

**Tabla 3: Propiedades mecánicas del PLA [39]**

Propiedades físico-químicas PLA (Ácido Poliláctico)	
Dureza Rockwell	70 – 90 Escala H120 Escala L
Módulo de Elasticidad (MPa)	3000 – 4000
Resistencia a la Flexión (MPa)	100
Módulo de Flexión (MPa)	4000 – 5000
Fuerza de Tensión (MPa)	40 – 60
Límite elástico (MPa)	60
Módulo de Tensión (MPa)	3000 – 4000

## ABS

(Acrylonitrile Butadiene Styrene)



## ABS

Es un copolímero termoplástico nacido por la unión de tres elementos: Acrilonitrilo, Butadieno y Estireno. El resultado de esta combinación es un material con una cierta dureza y rigidez, que presenta una buena resistencia química, térmica y al desgaste (aportada por el Acrilonitrilo), un buen comportamiento al impacto y tenacidad a bajas temperaturas (Butadieno), con facilidad de moldeo y estabilidad dimensional (Estireno). Este producto derivado del petróleo, es ampliamente conocido por su dureza y resistencia a grandes impactos, por lo que generalmente es útil para piezas que no se pueden utilizar en ambientes inferiores a -20°C o en exceso de 80°C.

Usos:

Sus usos y aplicaciones más comunes se encuentran en:

- El sector de la tecnología e industria (teléfonos, ordenadores, electrodomésticos, enchufes, cascos de seguridad, etc.) y también en el automovilístico (piezas eléctricas, retrovisores, cuadro de componentes, interiores, etc.) y otros, como en el deportivo (palos de golf, cascos de bicicletas, monopatines, etc.).

Desventajas:

La parte negativa de utilizar ABS está relacionada con su naturaleza.

- Ser un material derivado del petróleo. Emitir olor a plástico quemado y algunos vapores tóxicos durante su extrusión, hecho que recomienda tener una buena ventilación. No ser un material biodegradable.

Ventajas:

Como ventajas se pueden destacar:

- Su fácil y agradecido mecanizado, pulido, lijado, limado, agujereado, pintado, y pegado, entre otros. Se obtienen buenos acabados superficiales con suma facilidad. Gracias a su extremada resistencia y su pequeña flexibilidad hace que sea el material perfecto para infinidad de aplicaciones industriales. Es reciclable.

Impresión con ABS:

Debido a su alto punto de fusión y sus propiedades físico-químicas:

- Tiene que imprimir a una temperatura elevada. Normalmente, la temperatura de extrusión depende del tipo de ABS utilizado, de la impresora utilizada, el filamento escogido y de las condiciones ambientales. En término medio, para filamentos de diámetro cercano al 1,75 mm, la temperatura de extrusión suele rondar los 220°C y para los de mayor grosor (3m), se pueden necesitar hasta 240°C. En todas las impresiones que se realizan con ABS, se necesita generalmente, elevar la temperatura de la cama la impresora hasta un valor aproximado de 90°C. La impresión sobre una superficie con un salto térmico de temperatura demasiado elevado provocaría la deformación del plástico, y con ello, fallos de impresión.
- Es un plástico muy común y muy resistente, ideal para la impresión de piezas mecánicas. Se puede lijar con una lija de madera y pulir aplicando ligeramente un trapo con acetona. Se puede también taladrar o pintar. De una manera general, el ABS reacciona correctamente a los tratamientos de post-producción. Sin embargo, es un plástico sensible a los cambios de temperatura y el tiempo de aprendizaje para alcanzar impresiones perfectas puede ser un poco más largo. La temperatura del extrusor depende del tipo utilizado, pero suele rondarlos 230 grados y la de la plataforma donde se deposita el plástico fundido, alrededor de 90°.

**Tabla 4: Propiedades físico químicas del ABS [39]**

Propiedades mecánicas del ABS	
Alargamiento a la rotura	45%
Coefficiente de fricción	0,5
Modulo tracción (Gpa)	2,1 - 2,2
Límite elástico (MPa)	51
Resistencia a tracción (MPa)	41 - 45
Resistencia al impacto	200 - 400 N
Absorción de agua/ 24h (%)	0,3 - 0,7

En comparación con el PLA, en cuestiones de impresión 3D, el ABS presenta una serie de ventajas, pero al mismo tiempo genera unos inconvenientes que se deben tener en consideración.

**Tabla 5: Comparación PLA vs ABS (impresión 3D) [Fuente propia]**

MATERIAL	Ventajas	Inconvenientes
ABS	Robusto y duro Mejores acabados.	Se deforma más fácilmente. Se debe usar cama caliente. Se debe ventilar el espacio. Proveniente del petróleo Más complejo de imprimir
PLA	Más ecológico. Se puede imprimir sin cama caliente. Más fácil de imprimir.	Menos robusto y duro. Se deforma con temperaturas elevadas.

Por todo lo planteado anteriormente y como resultado de la comparación entre ABS y PLA, se determina utilizar este último en el desarrollo de este proyecto. Por sus notables cualidades, supondrá el material de las piezas a triturar y el de las estructuras replicadas en impresión 3D.

## 8.6 El proceso de Reciclaje.

A grandes rasgos, una Trituradora de Plásticos no es más que una máquina diseñada, configurada y fabricada para dar un nuevo uso a ciertos materiales plásticos. Este proyecto, al buscar el aprovechamiento de los plásticos desechables de la impresión 3D, pretende apoyar el reciclaje en esta comunidad, que no puede permanecer ajena a estos procedimientos. Se hace indispensable por tanto, definir el concepto, comentar algunos de sus parámetros más relevantes, recoger sus beneficios y mostrar su repercusión, tanto a nivel global, como regional.

De forma general, se entiende el reciclaje como un proceso encargado de transformar materiales previamente usados, en recursos valiosos. De no suceder, estos recursos potencialmente útiles no podrían aprovecharse y quedarían relegados a desechos.

Está comprobado, y así lo afirman entidades como Ecoembes [41] que el reciclaje consta de una serie de pasos productores de valor, mediante los cuales se generan recursos financieros, que luego se traducen en cuantiosos beneficios sociales y medioambientales. La mayoría de estos beneficios tienen un impacto positivo en el ámbito local, pero sin duda, repercuten directamente a nivel global.

### Beneficios del Reciclaje

- **Favorece la creación de nuevos puestos de trabajo.** El reciclaje de residuos supone una oportunidad para la creación de nuevas empresas asociadas a la recogida selectiva, al transporte y al reciclaje. Cuanto mayor sea el volumen de residuos recogidos selectivamente, mayor será la rentabilidad económica y mayor también el interés de las empresas del sector, por lo que aumenta el tejido industrial.
- **Reduce la necesidad de vertederos y de procesos de incineración.** Reciclar implica darle una segunda vida a los desperdicios, lo que hace que disminuya considerablemente el volumen de los residuos que terminan enterrados en el vertedero. En caso contrario, al colmatarse los vertederos disponibles, se necesitan procesos de incineración que reduzcan ese volumen y corrijan la acción contraproducente.
- **Evita el almacenamiento de material contaminante.** En numerosas ocasiones, los residuos se almacenan en grandes vertederos, algunos de ellos fuera de control y sobresaturados. Reciclando se consigue una gestión más controlada, algo que mejora sin duda el medio ambiente de las zonas donde se alojan.



- **Reduce la extracción de materias primas.** Al darle una segunda vida a los residuos, se reduce la extracción. El plástico, el vidrio, el papel o los metales se pueden reutilizar para producir nuevos productos.
- **Ahorra costes,** tanto en la gestión de los residuos como en la fabricación de nuevos productos. Es más barato gestionar los residuos por separado que intentar recuperar materiales reciclables de la basura mezclada. También es más económico fabricar productos nuevos a partir de materiales reciclables que extraer nuevas materias primas del medio.
- **Ahorra energía, materias primas y recursos naturales** como la madera, el agua y los minerales. Gracias al ahorro de la energía que se consigue con el reciclado de 4 botellas de vidrio, lograríamos que un frigorífico funcionara un día completo.
- **Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero** que contribuyen al cambio climático y global.

En cuanto a los productos reciclables, uno de los más interesantes, no solo desde el punto de vista técnico en este proyecto, sino también a nivel social y medioambiental, es el plástico. Es uno de los materiales más utilizados y sin duda, uno de los que genera mayor problemática.

Como se puede comprobar actualmente, los plásticos tienen un papel relevante en muchos aspectos de nuestras vidas. Prácticamente, estamos rodeados por el plástico. Su rango de aplicación abarca productos de uso cotidiano, como pueden ser los juguetes, productos de limpieza, envases de bebidas, tapas, cubos, etc. Aunque la categoría más amplia no corresponde solamente a los envases o embalajes, sino incluye también a los bienes duraderos (por ejemplo: muebles, automóviles, electrodomésticos, aparatos electrónicos y dispositivos móviles) y no duraderos (en este caso: pañales, bolsas de basura, vasos, cubertería, utensilios, guantes y dispositivos médicos).

Al establecerse tales funciones y de forma tan generalizada, resulta indispensable y exigible una buena gestión de vida de los productos. Un claro ejemplo de avance en gestión de residuos e implementación del reciclaje, resulta el establecido en isla de Tenerife.

## 8.7 El reciclaje en Tenerife

En la isla de Tenerife, hace unos 30 años, los desechos se acumulaban en espacios incontrolados, algunos de ellos barrancos, bordes de carreteras y caminos. Ante este complicado panorama, se impulsó el Plan Insular de Residuos Sólidos (PIRS) [40], con el objetivo de centralizar e insularizar la gestión de basuras en un vertedero único, situado en Arico. A este vertedero se le auguraba 30 años de duración, no obstante, unos 20 años después, ya estaba colmatado.

Esta situación, junto a la nueva normativa sobre residuos sólidos, llevó a replantear el modelo de gestión. Se pasó a incorporar codificaciones en los residuos y se transformó el esquema, enfocado esta vez hacia la gestión separada de los tipos de residuos para recuperar recursos, quedando el vertido, como solución última.

Finalmente, en 2009 se volvió a modificar, para dar lugar a uno más moderno y sostenible, basado en criterios ambientales, económico-sociales y culturales: El Plan de Residuos de Tenerife (RESTE). Este plan es accesible y cuenta con históricos que adquieren especial importancia, pues son aportaciones que nutren y cohesionan el desarrollo de este proyecto.

Una de las más interesantes, recoge los residuos plásticos tratados en el complejo. Si bien, se expondrán ahora unas estadísticas regionales, estas sirven no solo para sensibilizar al público general, sino también al específico, relacionado con el campo de la impresión 3D.

En la tabla 6 se recogen las cantidades de residuos tratados en la Planta de Clasificación de Envases del complejo (aluminio, briks, envases plásticos, acero). Además, se establecen los porcentajes de materiales recuperados, es decir, los que pueden ser reincorporados nuevamente en el mercado después de un proceso de reciclaje.

Tabla 6: Resumen Histórico PSCE Tenerife 2005-2014 [38]

RESIDUOS TRATADOS EN LA PLANTA DE CLASIFICACIÓN DE ENVASES DEL COMPLEJO		
AÑO	RESIDUOS RECIBIDOS EN PLANTA (Kg)	PORCENTAJE DE RESIDUOS RECUPERADOS
2005	2.510.252	52,07%
2006	3.131.760	53,91%
2007	2.852.275	53,87%
2008	4.728.390	50,19%
2009	5.105.050	38,96%
2010	5.384.840	60,55%
2011	5.668.370	61,44%
2012	5.597.450	63,61%
2013	5.612.210	62,88%
2014	5.861.850	62,15%

Se observa, de forma llamativa, un porcentaje de residuos recuperados bajo, un 56% de media en los 10 años. El motivo principal es que no todos los residuos que llegan a las instalaciones son aptos para su reciclaje. En su mayoría, se debe a la incorrecta utilización de los contenedores para reciclaje.

Por el contrario, cabe destacar, el incremento del porcentaje de residuos recuperados a medida que nos acercamos al presente, lo que quiere decir que se ha avanzado levemente en concienciación (un 10% más desde 2005 hasta 2014). Se entiende por tanto, que la investigación en el campo del reciclaje y la elaboración de proyectos de innovación como el aquí expuesto, podrían contribuir al desarrollo de iniciativas y conductas sostenibles, fomentando la sensibilidad ambiental en la comunidad de impresión 3D y en parte, de la sociedad.

Tabla 7: Residuos tratados en la planta de clasificación de envases del complejo (2005-2014) [38]



RESIDUOS TRATADOS (KG) EN LA PLANTA DE CLASIFICACIÓN DE ENVASES DEL COMPLEJO												
AÑO	RESIDUOS RECIBIDOS EN PLANTA	RECHAZO	PET	CARTÓN BEBIDAS	PEBD (FILM)	PEAD COLOR	PEAD NATURAL	PLASTICO MEZCLA	ACERO	ALUMINIO	ENVASES	
2005	2.510.252	1.104.308	515.300	128.800	86.320	97.360	81.820	88.480	299.490	9.500	1.307.070	
2006	3.131.760	1.253.220	588.953	190.740	161.016	133.891	107.475	130.750	348.470	26.920	1.688.215	
2007	2.852.275	1.182.100	558.095	134.966	162.559	149.373	72.390	105.665	324.780	28.620	1.536.448	
2008	4.728.390	1.737.580	870.439	187.171	288.238	216.140	93.446	128.562	555.320	33.640	2.372.956	
2009	5.105.050	1.189.440	762.246	209.448	277.669	173.096	63.857	121.361	357.800	23.270	1.988.747	
2010	5.384.840	1.725.970	1.156.783	394.494	452.621	302.916	105.780	200.927	596.600	50.653	3.260.774	
2011	5.668.370	1.819.678	1.240.796	424.894	479.149	326.183	107.706	213.658	633.900	56.493	3.482.779	
2012	5.597.450	1.685.280	1.402.698	436.521	440.432	311.701	106.896	184.314	614.760	63.240	3.560.562	
2013	5.612.210	1.582.860	1.439.639	443.671	432.202	296.380	102.995	185.668	565.970	62.510	3.529.035	
2014	5.861.850	1.701.740	1.497.410	441.581	462.457	303.753	103.781	197.709	579.090	57.150	3.642.931	
<b>TOTAL</b>	<b>46.452.447</b>	<b>14.982.176</b>	<b>10.032.359</b>	<b>2.992.286</b>	<b>3.242.663</b>	<b>2.310.793</b>	<b>946.146</b>	<b>1.557.094</b>	<b>4.876.180</b>	<b>411.996</b>	<b>26.369.517</b>	
		% envases	38,05	11,35	12,30	8,76	3,59	5,90	18,49	1,56	100,00	
		% del total	21,60	6,44	6,98	4,97	2,04	3,35	10,50	0,89	56,77	

En esta tabla 7, se ve de manera detallada, la totalidad de los residuos tratados y los materiales recuperados en la Planta de Clasificación de Envases.

Un dato interesante sobre esta gestión de residuos en Tenerife, es la cantidad de PET recogido y clasificado en esta planta, un material 100% reciclaje y utilizado con mayor frecuencia en la impresión 3D.

- 10.032.359 kg (10.032 toneladas) desde 2005 hasta 2014.
- De media, 947.482,295 kg por año (947,5 toneladas / año).
- Material de mayor cantidad, por delante del acero y el film. Representa el 38,05 % de los envases tratados desde 2005 a 2014 y un 21,6 de los residuos totales.
- El incremento de PET tratado y clasificado en la planta desde 2005 hasta 2014 es de aproximadamente un 190%.

## **8.8 Trituradoras de plástico utilizadas en el reciclaje.**

Antes de comenzar a diseñar la máquina, ha resultado necesario adquirir cierto conocimiento sobre el proceso de triturado, no solamente del campo de la impresión 3D, sino también del industrial, que aportase valor añadido y permitiese tener una visión generalizada del mismo. Por consiguiente, ha sido necesario estudiar las características y capacidades de ciertos dispositivos representativos del sector. Se ha escogido para ello, la gama de productos de la empresa UNTHA [16] pues cuentan con trituradores cuyos modelos de tecnología son claramente diferenciables y cuya información técnica es accesible, concisa y explicativa.

De forma general, el criterio que se establece para catalogar las trituradoras de plásticos se asemeja al siguiente:

1. Capacidad de carga

2. Propiedades y dimensiones de los materiales a triturar
3. Sistema de corte

Se ha empleado el último criterio, puesto que se ha considerado el más adecuado para diseñar la trituradora. Los motivos que aducen esta elección son:

1. **El descarte de la capacidad de carga.** Queda rechazada debido a que las dimensiones de la máquina serán reducidas y su potencia limitada. Las máquinas con capacidad de carga prácticamente ilimitadas tienen una serie de complejidades que distan de las abarcables en este proyecto.
2. **Restricción de los materiales a triturar.** De igual forma, la utilización de plásticos producto de impresiones defectuosas, acota las propiedades y dimensiones de los materiales a triturar.

Queda por tanto, el sistema de corte como criterio a tener en cuenta para el diseño de la trituradora.

Se detallan, seguidamente, sin entrar en datos específicos de fabricación, montaje o resistencia, los sistemas más comunes que dispone la marca de productos de trituración UNTHA [16].

Tabla 8: Sistemas de corte comunes en trituración [16]

Sistema de corte	Descripción	Aplicaciones	Representación
<b>De un eje</b>	Disponen de un único eje portacuchillas con criba perforada. Suelen disponer de mecanismo de empuje.	Residuos de madera, lonas de plástico, envoltorios y trozos de plástico, rollos de papel, periódicos y carpetas, paneles de escayola, etc.	
<b>De dos ejes</b>	Portan discos de corte y cribas que trituran el material, mediante un movimiento de mandíbula. Sin mecanismo de empuje.	Fundición de aluminio, bidones metálicos, equipamiento eléctrico, electrodomésticos, neumáticos, etc.	
<b>De cuatro ejes</b>	Incorporación de dos ejes superiores al sistema de dos. Triturado más homogéneo y pequeño.	Salpicaderos, interiores de automóviles, gomas, maderas, embalajes, bidones y botellas de plástico, astillas de metal, , etc.	

## 8.9 Reciclaje en impresión 3D.

En líneas anteriores, se ha hablado sobre la repercusión que tiene el reciclaje, tanto en la sociedad, como en el medio natural. Se ha acercado la problemática que existe con los productos plásticos y nombrado algunos de los beneficios que se obtienen con el proceso.

Entendemos que el futuro del reciclaje depende de diversos factores, entre los que destacan, la implicación de gobiernos, entidades, organismos y ciudadanos. Sin embargo, pueden aparecer elementos que reformulen esta premisa.

Uno de estos elementos, es el desarrollo de la tecnología de impresión 3D por FDM, pues podría tener una trascendencia determinante en dicho campo. Por un lado, la impresión 3D, permitiría reutilizar innumerables cantidades de plástico, dando nuevos usos a materiales relegados a desechos, no solo producto de fallos de impresión, sino también, materiales de uso cotidiano. Por otro lado, la impresión 3D podría tener una variante opuesta. A día de hoy, es un sector que no produce cantidades desmesuradas de plástico, pero posiblemente, a medida que avance la tecnología, se convertirá en una fuente generadora de residuos. Si estos residuos se convierten en desechos que no se reciclan, será un campo que sigue una línea de actuación bastante extendida en la actualidad con respecto al reciclaje: la falta de compromiso.

Para realizar de forma adecuada la transformación de los residuos en este campo, se hace potencialmente necesario disponer de varios dispositivos, entre los que destacan: una trituradora de plásticos, que pueda granular restos de impresiones defectuosas; una extrusora de plásticos que pueda fabricar filamento a partir de restos de plástico granulado.

Generalmente, el procedimiento de reciclaje más extendido en la impresión 3D sigue una serie de pasos:

- 1. Recopilación de impresiones defectuosas.** Es el producto de errores de impresión comunes, que quedan inutilizados tras su impresión. Han sido clasificados al comienzo de este apartado.
- 2. Trituración de las piezas defectuosas.** Proceso que permite reducir las impresiones defectuosas a plástico granulado o pellets. Es el proceso que se aborda



en este anejo y en el que se basa el diseño, los cálculos y la justificación de este proyecto.

3. **Extrusión del plástico granulado.** Se utiliza para obtener el filamento que necesita la impresora. Existen algunas máquinas que podrían prescindir de este paso, puesto que utilizan directamente plástico granulado para imprimir, como Sculptify [32] o RepRap Granule Extruder [31].

### 8.9.1 Extrusoras de plástico.

El Área de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica cuenta actualmente con una de las extrusoras de plásticos más conocidas hasta el momento, Filabot Original™ [34]. Con ella, se han llevado a cabo, paralelamente a este proyecto, diferentes pruebas de fabricación de filamento. La presencia en algunas de ellas, ha permitido la familiarización con la máquina y con el procedimiento de extrusión.

Filabot, es en principio, la máquina que producirá el filamento a partir de los plásticos granulados producidos por la trituradora. Esta extrusora, está diseñada para extruir pellets de diferentes materiales plásticos, como ABS y PLA, cuyas dimensiones no superen los 7mm. Este es un dato de suma importancia, porque determinará el tamaño mínimo de las piezas trituradas.

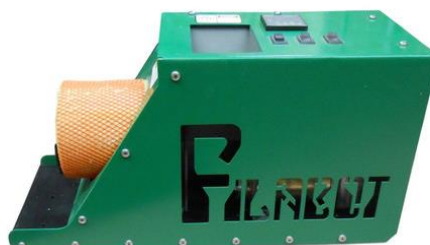




Figura 18: Extrusora de plásticos Filabot Original™[34]

Actualmente, existen diferentes máquinas extrusoras de plástico comercializadas por empresas o startups de todo el mundo. Sus diseños, tecnologías y cualidades varían ligeramente, aunque las más conocidas, están concentradas en un grupo reducido. El factor diferenciador más importante, se encuentra en las tolerancias, los extras, el montaje, la capacidad de extrusión y el precio, pues determina la calidad del producto y su atractivo en el mercado.

Tabla 9: Comparación de extrusoras [35]

						
	ProtoCycler	Filastruder	Filabot	ExtrusionBot 2	Strooder	Noztek Pro
Price	\$799	\$300	\$650-\$950	\$725	\$400**	\$1250**
Recycles	Included	Not Available	\$440 Extra	\$475 Extra	Not Available	Not Available
Safety Certified	Yes!	No	No	No	No	No
Easy to Use	Yes!	No	No	Yes	Yes	No
Tolerance	+/- 0.02 mm	Not Reported	Not Reported	Not Reported	+/- 0.10 mm	+/- 0.04
Energy Efficiency*	10x	1x	1x	3x	2x	1.5x
Extrusion Speed	10 ft/min	2 ft/min	2 ft/min	6 ft/min	4.9 ft/min	3 ft/min
Assembled	Yes!	No	No-Yes	Yes	Yes	Yes
Spooling	Included	\$160 Extra	Not Available	\$195 Extra	\$110 extra	\$930 Extra (!)

\*Energy efficiency computed per foot of filament extruded, therefore speed and power usage both factor in!  
 \*\*Converted from British pounds into USD on December 7th 2014 for comparison purposes.

Los extrusores que se presentan en la tabla 10, corresponden a los más conocidos del mercado. ProtoCycler, Filastruder, Filabot, ExtrusionBot, Strooder y Noztek Pro. Como se puede comprobar, sus precios varían en un rango de [300 -1250 \$], al igual que sus cualidades.

Análogamente a este proyecto, se ha llevado a cabo otro trabajo de fin de grado, que se engloba dentro de la planificación del Área de Ingeniería de Materiales y el Área de Expresión Gráfica en Ingeniería, el “Diseño de una extrusora de plásticos para fabricación

de *filamento de impresión 3D*". Concretamente se trata del diseño y la fabricación de una extrusora autoreplicable con similares características a las presentadas por Filaestruder en la tabla 3.

Existen, de forma excepcional, empresas que comercializan extrusoras de filamento con pequeños trituradores incorporados en su estructura, como ProtoCycler [35] o incluso, FilaMaker [17]. En la imagen siguiente vemos la máquina ProtoCycler, una extrusora que dispone de este sistema de corte accionado mediante manivela en su parte superior derecha.



Figura 19: ProtoCycler [35]

A pesar de la reciente aparición de modelos como este, lo habitual es disponer de dos dispositivos que cumplan ambas funciones, triturado y extrusión. A continuación, nos centraremos en el primero de ellos.

### 8.9.2 Trituradora para impresión 3D: *FilaMaker*.

Concretamente, uno de los fabricantes y distribuidores de trituradoras para este campo y hasta el momento uno de los más conocidos, es FilaMaker [17]. Esta empresa en un principio estaba especializada en extrusoras de filamento, aunque con el tiempo, ha ido abarcando otros campos del reciclaje en la impresión 3D.

El modelo presentado se comercializa en varios tamaños, uno reducido, correspondiente al primer modelo fabricado por la compañía y otro de mayores dimensiones, desarrollado tras chequear los resultados de la primera trituradora. Su procedimiento de montaje, comprobación de dimensiones, listado completo de piezas, medidas de seguridad, fabricación, puesta a punto y condiciones técnicas, se pueden consultar a través de su página web.



Figura 20: Mini Shredder and Mini Shredder XL [18]

Su funcionamiento está basado, al igual que la mayoría de las trituradoras de este tipo, en un sistema de corte de dos ejes. El corte producido en las piezas es transversal y longitudinal, como consecuencia de la colocación entrelazada de los discos. A simple vista puede comprobarse la sencillez y compacidad del modelo.

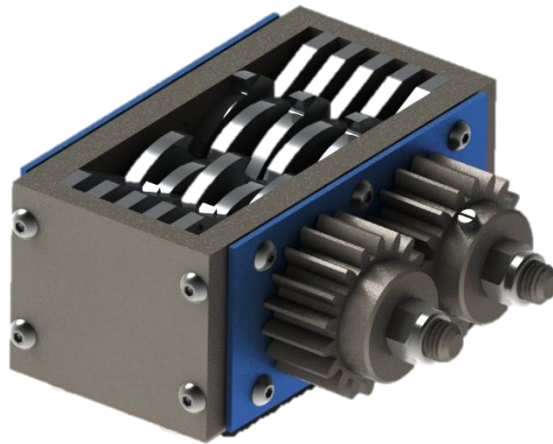


Figura 21: Mini Shredder Filament Maker [17]

Este dispositivo está compuesto por los siguientes elementos:

1. 2 Ejes en los que se colocan las fresas
2. 2 Engranajes rectos
3. 10 discos de corte de tres dientes
4. 4 Rodamientos de bolas
5. 4 paredes de aluminio
6. Guías para el material a triturar
7. Otros elementos (tornillería, tuercas, placas, correas)

Por otra parte, adquiere también especial interés debido a que se han desarrollado prototipos de esta trituradora con estructuras replicadas en impresión 3D (tolvas superiores, a carcasas de protección de engranajes, recipientes inferiores o embellecedores).



Figura 22: FilaMaker con elementos replicados en impresora 3D [18]

De este modelo destacan varias cuestiones a tener en cuenta, entre ellas, la ausencia de motor, el tipo de montaje utilizado para sus rodamientos y su rejilla de corte.

#### **8.9.2.1 La ausencia de motor eléctrico**

El giro es producido por acción manual mediante manivela. En el manual de instrucciones y montaje, viene explícitamente prohibido el uso de un motor eléctrico.

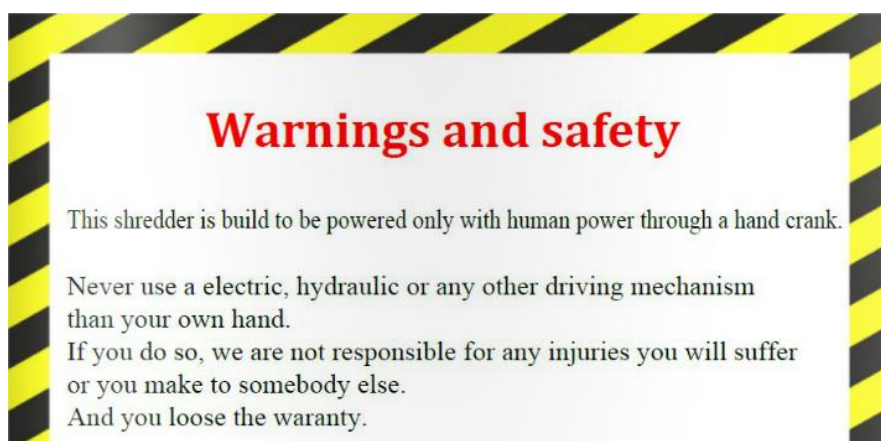


Figura 23: Prohibiciones FilaMaker [17]

La máquina está construida para ser accionada únicamente a mano, por fuerza humana. Nunca se debe usar un mecanismo eléctrico, hidráulico o de otro tipo que pueda permitir el movimiento.

### 8.9.2.2 Montaje de los rodamientos

El montaje de los elementos estructurales de la máquina, tanto los rodamientos como el eje y las cuchillas no están ajustados a presión. Los rodamientos están soportados por unas placas metálicas en la pared externa y por el propio eje en la parte interna.



Figura 24: Montaje de los rodamientos Mini-trituradora FilaMaker [17]

Utilizar este sistema para fijar los rodamientos a las paredes de la trituradora, brinda una serie de posibilidades, pero conlleva la aparición de algunas restricciones. Permite al usuario montar la trituradora en un corto periodo de tiempo, se gana en sencillez, se ahorra en elementos de ajuste y se reduce el lapso entre la adquisición de las piezas y la puesta a punto. La cara negativa de este procedimiento es que reduce la resistencia del conjunto, favorece la aparición de vibraciones y aminora las prestaciones de la máquina.

### 8.9.2.3 Herramienta de corte

Por otra parte, el elemento de corte que utiliza esta máquina, es un disco de fresa con unas dimensiones específicas. De forma general, este elemento está hecho a medida para cada máquina, por lo que es complicado encontrar discos de corte de las dimensiones específicas. Para adquirir estos discos, sería necesario encargar el corte con las dimensiones requeridas a un tornero mecánico o empresa especializada en mecanizados.

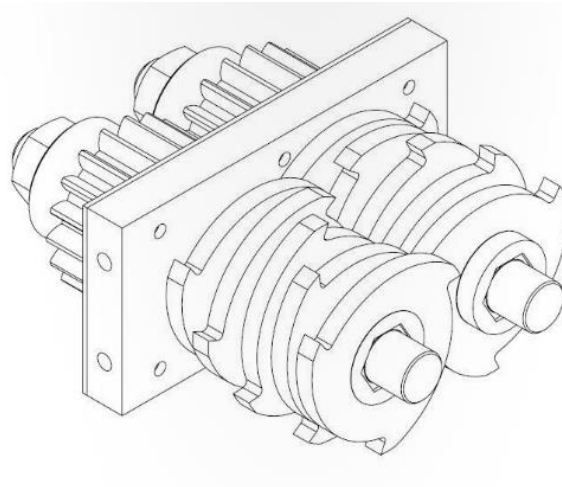


Figura 25: Croquis Trituradora FilaMaker, detalle discos de corte [17]

FilaMaker, al contar con máquinas CNC automatizadas puede fabricar, no solo sus propios discos de corte, sino otros elementos de la máquina que también se producen mediante mecanizado (guías para el material, separadores, estructuras laterales y frontales, incluso los ejes).



Figura 26: Fabricación de los discos de corte y las guías del material [18]



#### 8.9.2.4 *Rejilla de corte*

Uno de los últimos avances de FilaMaker en la trituradora de plásticos, ha sido la incorporación de una rejilla de corte adecuada a las dimensiones del conjunto. Este elemento, como se ha comentado con anterioridad, permitiría mejorar el índice de reducción en el triturado.



Figura 27: Rejilla de corte utilizada por las Mini trituradoras de FilaMaker [18]

Actualmente, esta rejilla de corte todavía no se comercializa con la trituradora. Es una incorporación reciente de la compañía, que aún no aparece ni en el manual de montaje de la máquina, ni en los planos.

Este elemento está fabricado mediante la estampación en frío, donde se somete el metal a una carga percutora de compresión entre dos moldes de acero (yunque y martillo, inferior y superior respectivamente).



Figura 28: Patrón de conformado de la rejilla de corte [18]

La estampación en frío resulta cuando la temperatura del material a deformar es menor que la de recristalización. Esta acción repercute directamente en las propiedades del material, deformando el grano en la estructura microscópica. Tiene mejores resultados superficiales y mayor precisión. Suele aplicarse a piezas de menor espesor que el método en caliente, frecuentemente chapas o láminas de espesor uniforme.

## 9. REQUISITOS DE DISEÑO

Al comienzo del proyecto, se evaluó la necesidad y demanda en el campo de la impresión 3D, por parte de las Áreas de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Expresión Gráfica en Ingeniería de la Universidad de La Laguna. También, se tuvo en cuenta, dentro de las posibilidades, aquellas presentes en la comunidad de impresión 3D a nivel internacional. De esta valoración emanan los objetivos del diseño.

- Montaje y desmontaje sencillo.
- Con estructuras generadas en impresora 3D.
- Modificable y con posibilidad de ser replicada.
- Costo razonable.
- Eficaz y eficiente.
- Dimensiones adaptadas al entorno de trabajo del departamento.
- Segura y fiable.

El siguiente paso, una vez que se han enfocado correcta y claramente las necesidades y establecido los objetivos, es plantear las acciones a implementar para generar un diseño que reúna todas las condiciones anteriores. Estas acciones determinarán las cualidades finales de la máquina.

### 9.1 Montaje y desmontaje sencillo.

Se diseña una máquina configurada exclusivamente con uniones desmontables. Se ha intentado evitar las soldaduras de aluminio y con ello la complejidad estructural. Esta condición busca facilitar la fabricación y el montaje, permitiendo al usuario la obtención del producto final de forma más rápida y sencilla. También, es una condición que favorece el mantenimiento del equipo, y sobre todo, de los elementos expuestos al corte, como son principalmente, las cuchillas de la fresa y la rejilla de corte.

## **9.2 Modificable y con posibilidad de ser replicada.**

El siguiente objetivo está directamente relacionado con la capacidad para mejorar una máquina, incluso, ser reproducida con cierta facilidad. Comprobando la viabilidad y proyección de los proyectos RepRap surge la idea de configurar una máquina que pueda ser modificada y tenga una cierta propensión a ser autoreplicada. La idea principal es que un usuario pueda fabricar su propia Trituradora de plásticos, teniendo los informes y planos necesarios. Parte de la estructura, del proyecto, se podría generar mediante impresión 3D y la otra, relacionada con las partes de aluminio, motores y elementos de unión, podría obtenerse en el mercado bajo una serie de requisitos.

## **9.3 Sencillo y Compacto**

En primera instancia, la trituradora de plásticos se debía presentar como un equipo resistente pero de pequeñas dimensiones, que se adaptara con facilidad al entorno de trabajo que requiere el departamento, o un área de naturaleza similar. Se ha de tener en cuenta que las trituradoras de plásticos, generalmente industriales y en su mayoría de PET, suelen tener unas dimensiones infinitamente superiores a las estimadas en este proyecto.

## **9.4 Costo razonable.**

El presupuesto para la trituradora deberá ser asequible, puesto que en el mercado existen ofertas de productos específicos para el gremio de la impresión 3D, cuyas características son similares a las que deseamos en nuestro equipo y cuyos resultados han sido testados y probados con anterioridad. Hay que tener en cuenta que estos fabricantes cuentan con dispositivos y maquinaria específica, que facilitan la conformación de piezas y elementos estructurales. Al no disponer de estos recursos, habría que añadir un incremento económico a este proyecto. Asimismo, es necesario hacer un especial énfasis en el número de máquinas

producidas por empresas como FilaMaker, cuya producción a gran escala disminuye los costos.

## 9.5 Dimensiones adaptadas al entorno de trabajo del laboratorio

Dentro de los requisitos de diseño cabe destacar las restricciones en las dimensiones máximas y condiciones límite de las piezas a triturar.

- **Material a triturar enfocado en el PLA.** Es por un lado el material actualmente más utilizado en impresión 3D y por tanto, uno de los más importantes. También, utilizar únicamente este material es una forma de acotar el inmenso campo de los materiales reciclables. De otra forma, intentar abarcar todos los materiales plásticos posibles para reciclar, es un trabajo que resultaría prácticamente inabarcable.  
La trituradora está por tanto diseñada para triturar piezas con las propiedades mecánicas y físico-químicas del PLA.
- **Área máxima de las piezas a triturar.** Se propone utilizar un sistema de corte similar al que utiliza una fresadora por lo que el área de las piezas debe reducirse. Sin embargo, acotar este parámetro tiene una serie de complicaciones, puesto que puede darse el caso de piezas con un área superficial elevada, pero con muy poca resistencia. Queda por tanto, este parámetro en segundo plano y el porcentaje de relleno en el primero.
- **Porcentaje de relleno máximo en las piezas a triturar.** Es un parámetro importante en el sistema de triturado, puesto que determina la resistencia de las piezas a triturar. Generalmente, las piezas impresas por FDM no suelen tener porcentajes de relleno elevados (< 40%), puesto que no suelen estar sometidas a condiciones críticas (Alto nivel de tensiones, estrés, grandes cargas, etc.). Aunque en el laboratorio de materiales pueden darse estas condiciones en las piezas cuyas propiedades mecánicas se estudian.

## 9.6 Segura y fiable

Este requisito de diseño es el propósito de cualquier proyectista. En primer lugar, la trituradora de plásticos debe ser un elemento seguro, que no ponga en peligro a ningún usuario que la utilice. Para ello, se han sobredimensionado los elementos que componen la máquina. Tanto la herramienta de corte, el eje de transmisión, los espesores de las diferentes estructuras y el número de uniones. También, los datos empleados en los cálculos y en los estudios de SolidWorks han sido más críticos que los presentados en la realidad por los componentes de la trituradora, en concreto:

- **La resistencia de los materiales.** En determinadas ocasiones se ha empleado una resistencia de los materiales menor a la real, con el fin de aportar criticidad al conjunto y así garantizar una mayor seguridad.
- **El rango de tensiones y desplazamientos.** Los resultados obtenidos se encuentran muy por debajo del límite elástico de los materiales.
- **Potencia y revoluciones del motor bajas.** Emplear un motor con par y velocidad angular bajas reduce la capacidad de corte, pero evita posibles y el desgaste de la herramienta.

## 10. ALTERNATIVAS ESTUDIADAS

En este apartado se expone el resultado de los análisis que se han tenido en cuenta a la hora de configurar la trituradora de plásticos. Se incorporan, por consiguiente, los modelos estudiados y propuestos en un principio como alternativas al posible diseño. Estos prototipos se muestran a continuación, se especifican con mayor detalle en el *Anexo I: Alternativas estudiadas*, y son los que justifican la solución finalmente adoptada.

La Tabla 10 refleja, de forma muy esquemática, los principales inconvenientes y ventajas que han surgido en los modelos estudiados y como se han modificado a lo largo del tiempo para obtener los mejores resultados.

El primer modelo que se observará en la tabla, corresponde al primer prototipo diseñado. El último y, queda por tanto como definitivo, sería el modelo 6, que será comentado con detalle en el *Apartado 11: Resultados Finales* de esta Memoria.


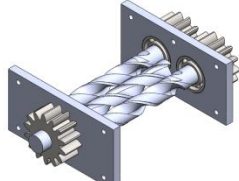
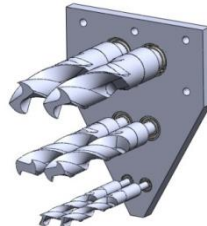
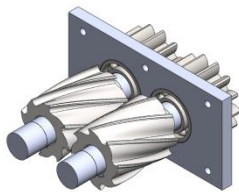
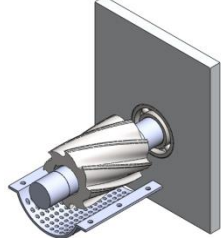
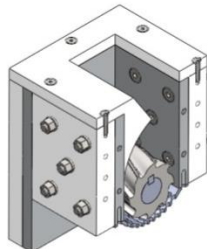
Para comprender la tabla, se presenta la siguiente leyenda. Cada letra, corresponde a un problema común que ha aparecido en el proceso de diseño de la trituradora. Las cruces en la tabla muestran la presencia del problema y los tics la ausencia del mismo.

Leyenda:

- *A Distancia entre brocas demasiado grande.*
- *B Pared entre rodamientos demasiado pequeña.*
- *C Ausencia de apoyos en los extremos de las brocas.*
- *D Posibilidad de flexión en las brocas o en los apoyos de estas a las paredes de la máquina.*
- *E Restricciones en el tamaño máximo de las piezas a triturar.*

- *F* Restricciones en el tamaño mínimo de las piezas trituradas.
- *G* Mismo sentido de giro de las brocas
- *H* Con estructuras de plástico replicadas en impresión 3D

Tabla 10: Alternativas estudiadas (modelos) [Fuente propia]

MODELOS	A	B	C	D	E	F	G	H	3D
1	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	
2	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
3	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗	
4	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	
5	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	
6	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	



Se puede apreciar en esta tabla la evolución producida en el desarrollo del diseño de la máquina. Al comienzo, las alternativas planteadas presentaban numerosos inconvenientes y a medida que se avanzó en el análisis, estos inconvenientes se tradujeron en cambios que mejoraban los prototipos y acercaba el producto a los requerimientos técnicos de diseño.

Pese al constante cambio y a la búsqueda de alternativas, no se ha podido evitar el previsible inconveniente generado por el Modelo 6: la restricción de tamaño máximo en las piezas a introducir en la máquina. Esta condición ha sido una premisa que ha acompañado a este trabajo desde su inicio. Diseñar una trituradora cuyas cualidades y características satisfagan todas las restricciones de tamaño de las piezas a triturar, resulta inabarcable, puesto que se requieren estudios adicionales, aumentos de potencia y resistencia, sistemas de seguridad, etc.

También es importante destacar, la notable evolución en cuestiones de diseño desde el Modelo 5 al Modelo 6. Esto se debe a que, durante el proceso de estudio de alternativas, se analizaron los potenciales problemas y posibles ventajas sin diseñar completamente las estructuras de la máquina.

El ensamblaje y la configuración completa de la trituradora, se realizaron con el último modelo (Modelo 6), que pese a ser el último, también fue objeto de modificaciones posteriores.

## 11. RESULTADOS FINALES

En esta sección, se recogen las soluciones finalmente adoptadas. Quedan englobados por tanto, el modelo finalmente escogido, los criterios de diseño adoptados, la explicación del sistema de triturado y la definición de cada uno de los elementos de la máquina.

### 11.1 Diseño

En base a los criterios técnicos planteados, en el apartado anterior, al estudio de alternativas propuestas desde el comienzo del proyecto y a los cálculos realizados, se ha configurado el siguiente modelo de Trituradora de Plásticos mediante Elementos Replicados en Impresora 3D.

Este proceso que se ha realizado mediante el software CAD SolidWorks [5], ha comenzado con la parametrización de las piezas del conjunto, para posteriormente configurar el ensamblaje y generar los planos individuales y de conjunto de la máquina. Con una de las aplicaciones del programa, SolidWorks Simulation, se han realizado diversas comprobaciones estructurales, principalmente cálculos de tensiones y deformaciones a través del método FEA.

Para más detalle de los resultados del estudio consultar el *Apartado 6: Estudios con SolidWorks del Anexo*.

De estos estudios, surge el modelo de “Trituradora de plásticos mediante elementos replicados en impresora 3D” que se observa en la figura 29.

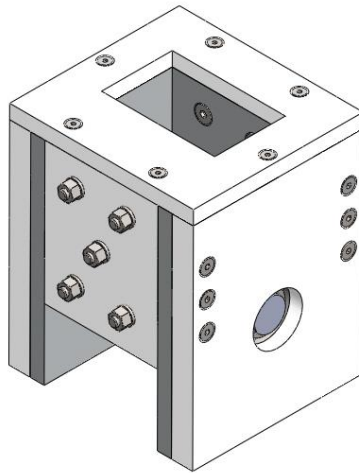


Figura 29: Modelo Final Trituradora [Fuente propia]

El modelo (Figura 29), es un prototipo compacto de reducidas dimensiones 12x13x15cm. Estas magnitudes vienen determinadas por varias cuestiones, relacionadas directamente con los requisitos de diseño:

1. **El área de impresión de las impresoras 3D** a disposición del departamento (Makerbot Replicator 2, RepRap Prusa i3), concretamente 20x20x20 cm. Al tener elementos replicados en impresora 3D, es conveniente que no superen las dimensiones de impresión de las máquinas disponibles. De suceder, habría que realizar estructuras de plástico por partes, lo cual es una solución poco recomendable.
2. **El ajuste a la herramienta de corte.** Utilizar una fresa de corte lateral con agujero, cuyo diámetro de 50 mm y longitud 63 mm, reduce el tamaño del prototipo adecuándolo a esas dimensiones.
3. **Las restricciones de tamaño de las piezas a triturar.** Definen en cierto modo la magnitud de la trituradora. Estar enfocados a una aplicación tan específica como los restos de impresiones defectuosas, permite reducir el tamaño del conjunto.

Este modelo, robusto y específico para la impresión 3D, tiene la misión de triturar restos de impresiones defectuosas a través del desbaste producido por una fresa de corte lateral con agujero HSS para aceros. Concretamente, una Fresa con Agujero DIN 844N [1] para Planear, fabricada por la empresa IZAR Tools cuya utilización se justifica y argumenta en el *Apartado 2.2 del Anexo I: Selección de la herramienta de corte (2.2.2: Brocas)*. Esta herramienta se encuentra unida solidariamente a un eje transmisor de potencia en el interior de la máquina. El eje, a su vez, está soportado por los rodamientos situados en las paredes de metal de la trituradora e iría unido solidariamente al eje de un motor eléctrico Bosch, a través de un acople.

Para tener una visión más detallada de estas cuestiones y comprender la unión existente entre las diferentes estructuras, que existen en la máquina, se presentan una serie de secciones.

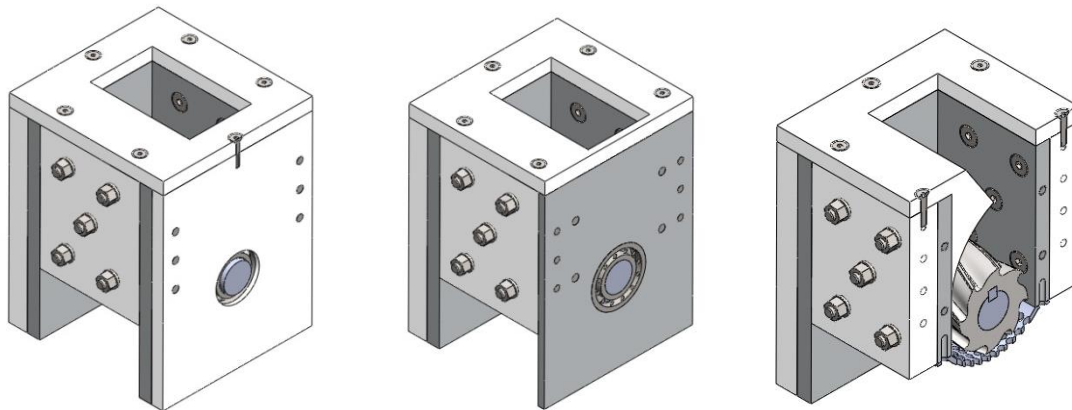


Figura 30: Cortes en diferentes elementos de la trituradora [fuente propia]

De izquierda a derecha tenemos:

- **Primer corte:** realizado en una de las piezas de plástico replicado con impresora 3D. Concretamente, se trata de una de las dos paredes frontales de la máquina, que ayudarán al ajuste de los rodamientos. Se distinguen los agujeros para los

tornillos, que son los que ajustarán la unión de esta pieza con la placa de aluminio, las de plástico lateral y superior.

- **Segundo corte:** queda dentro de la placa de aluminio frontal, encargada no solo de sostener el eje y generar el apriete para los rodamientos, sino también de configurar el espacio de triturado, con la unión de las placas de aluminio laterales. Los seis agujeros cercanos al borde exterior de la placa irían unidos por tornillos a las estructuras de plástico de los laterales. Los cuatro siguientes sujetarían las placas de aluminio de los laterales y el último y mayor soportaría el rodamiento.
- **Tercer corte:** aquí se pueden apreciar las diferentes estructuras de plástico (paredes laterales y carcasa superior) y aluminio (paredes laterales y rejilla de corte), las uniones entre ellas y demás elementos como la fresa, el eje y la chaveta. Se ve que los agujeros de cada elemento coinciden con los de la estructura de aluminio del corte anterior.

Para tener una visión del interior de la máquina y comprender el proceso de triturado, se presentan las siguientes figuras:

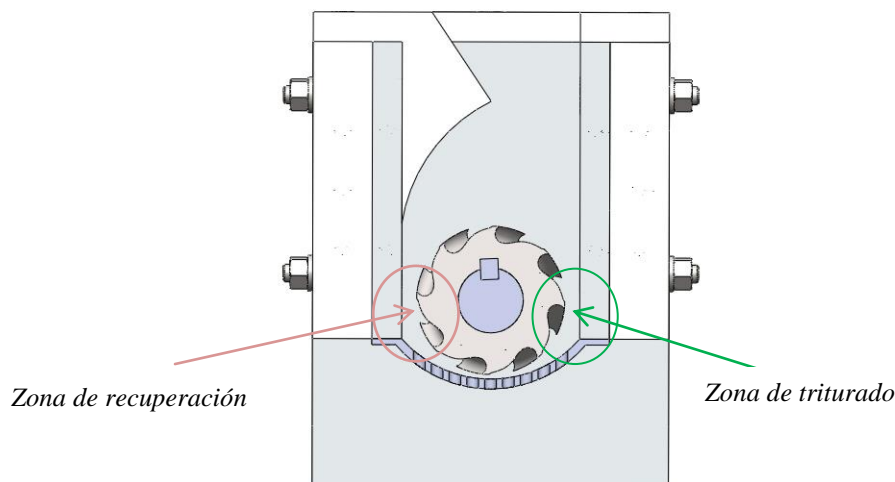


Figura 31: Corte frontal trituradora [fuente propia]

El corte que vemos en la figura anterior ha sido realizado a 50 mm y en él, se pueden observar diferentes partes y zonas de la estructura: la fresa con el eje y la chaveta, la rejilla de corte, las paredes de plástico laterales, la carcasa superior, las tuercas de ajuste, las paredes laterales de aluminio y finalmente la pared frontal de este mismo material.

El proceso de triturado seguiría un proceso similar al que se verá, de forma muy esquematizada en la figura 32. El plástico, simplificado en círculos verdes, entraría por la parte superior de la máquina y ayudado por la pendiente de la carcasa superior, se dirigiría a la zona de corte o desbastado.

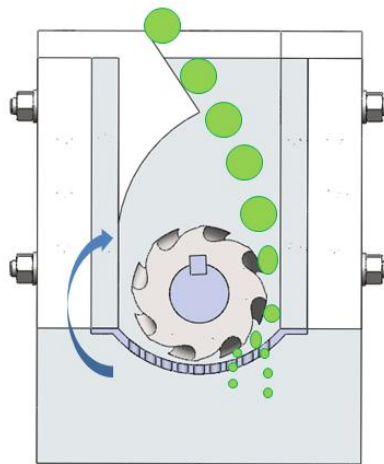


Figura 32: Proceso de triturado [fuente propia]

Hay que hacer una diferenciación en el proceso de triturado, puesto que, si bien la mayoría de plásticos tienden a dirigirse a la zona de triturado, hay posibilidades que de otros fragmentos pasen a la zona de recuperación. Por ello, se destacan los procesos en ambos casos:

1. **En la zona de triturado:** como se puede comprobar en la imagen superior, la fuerza de corte de la fresa comenzaría a desbastar el plástico, reduciendo su tamaño y generando pequeños fragmentos, similares a virutas que serán empujados a la parte inferior y evacuados por la rejilla de corte. Los trozos de mayor tamaño, que pasen por esta zona, no podrán pasar por debajo de la fresa sin ser triturados, pues la separación entre fresa y rejilla de corte es de 1mm. Quedarían en la parte superior siendo triturados hasta que tengan un tamaño que les permita desplazarse hasta la rejilla. En caso de producirse un atasco, se deberá parar la máquina, sacar el objeto con sumo cuidado y triturarlo con un elemento externo.
2. **En la zona de recuperación:** A los fragmentos de plásticos que se desplacen a la parte izquierda de la fresa, les puede ocurrir varias cosas, dependiendo de sus dimensiones. Los de mayor tamaño serán realimentados a la zona de triturado, como consecuencia del sentido de giro de la fresa y de la curvatura de la carcasa. Los de menor tamaño pasarán por la zona de recuperación y podrán ser triturados por las cuchillas de la fresa.

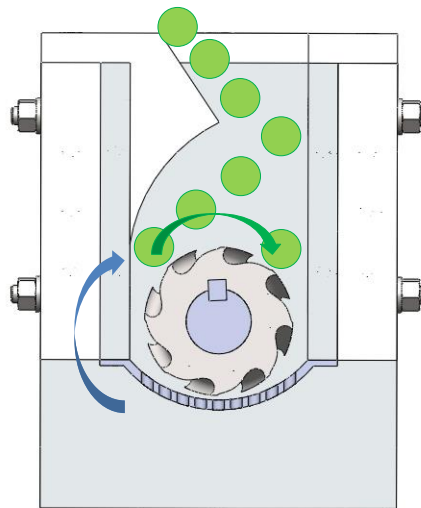


Figura 33: Simulación del triturado en la zona de recuperación [fuente propia]

Otra de las cualidades a destacar de este último modelo es su simetría. Todas las parejas de piezas del conjunto son completamente iguales, lo que simplifica la fabricación y montaje de las mismas. A excepción de las piezas únicas, como el eje, la fresa y la estructura superior de plástico. Así se puede comprobar en la vista explosionada del conjunto (Figura 34).

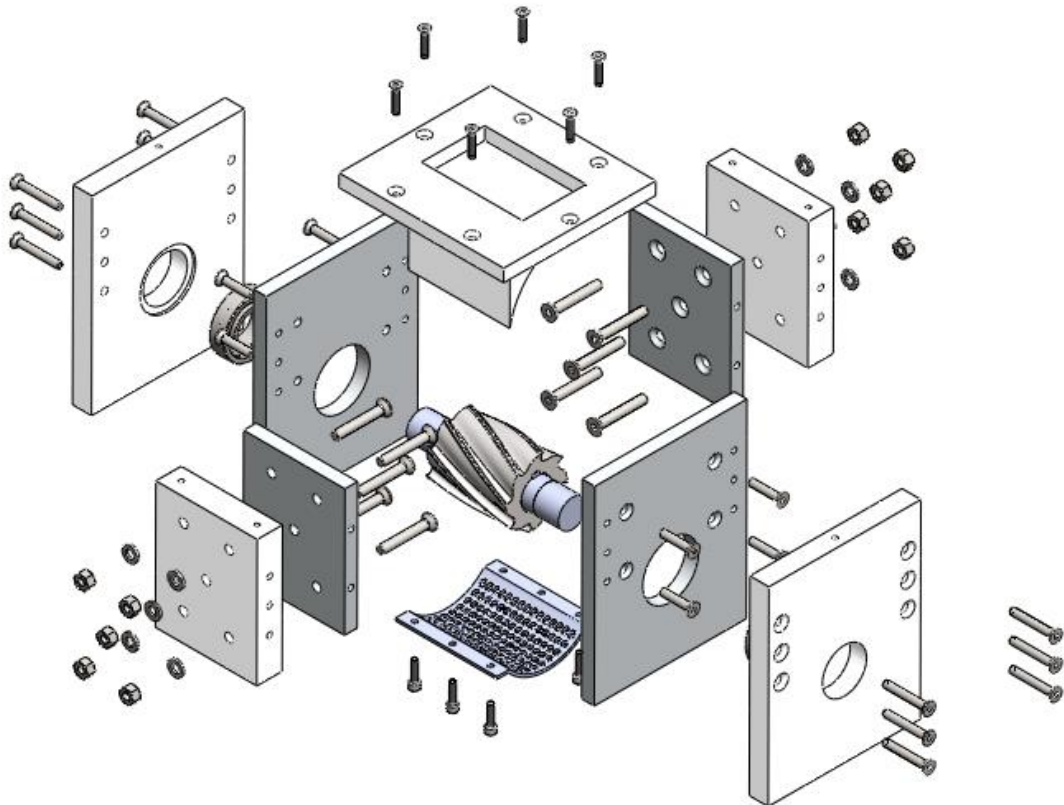


Figura 34: Vista explosionada [fuente propia]

Por otra parte, la máquina, al disponer de elementos replicados en impresora 3D podría tener variaciones en cuanto al material replicado en impresoras 3D, siempre que cumpla con los requisitos técnicos. Por consiguiente, pueden darse diferentes resultados estéticos en la máquina, dependientes del color de estos elementos.



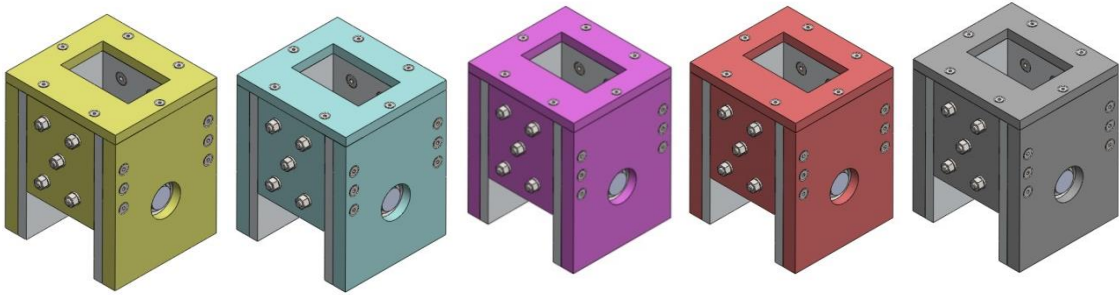


Figura 35: Trituradoras con plásticos de diferentes colores [fuente propia]

## 11.2 Elementos estructurales

En este apartado se exponen con detalle los elementos estructurales más representativos de la máquina trituradora de plásticos. Se excluyen por tanto, los elementos de unión como tornillos, arandelas, tuercas y rodamientos.

### 11.2.1 Estructura lateral de plástico

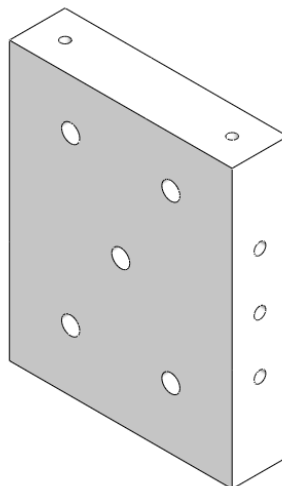


Figura 36: Estructura lateral plástico [fuente propia]

Este elemento corresponde a una de las piezas replicadas en impresora 3D, compuesta por PLA. Sirve de soporte a las piezas de aluminio y favorece el aumento de la resistencia total del conjunto. Dispone de 5 agujeros pasantes en su cara frontal (diámetro 6,5 mm), de 6 roscados en sus partes laterales (Métrica 5 (ISO) y longitud 14 mm), y dos superiores de métrica 4 (ISO) y longitud 11,5mm.

En cuanto al porcentaje de relleno, se ha establecido en un 100% puesto que ha sido simulado mediante el Software CAD SolidWorks como pieza sólida.

Marca	Cantidad	Material	Medidas [mm]
8	2	PLA 100%	80x100x20

#### Preparación para impresión 3D.

Esta pieza, al estar diseñada para ser replicada mediante impresión 3D, debe pasar por un proceso de preparación. Este proceso se basa en una simulación de la impresión bajo una serie de parámetros característicos (número de capas, velocidad del cabezal, porcentaje de relleno, etc.). Para ello, resulta necesario disponer de un programa que realice este procedimiento. El Repetier-Host [7] es el programa escogido puesto que puede simular piezas parametrizadas en programas CAD como SolidWorks (en formato STL) y generar el “g.code” necesario para introducir en la impresora. De forma simplificada, este g.code es el documento que contiene los comandos que seguirá la impresora para poder formar la pieza.

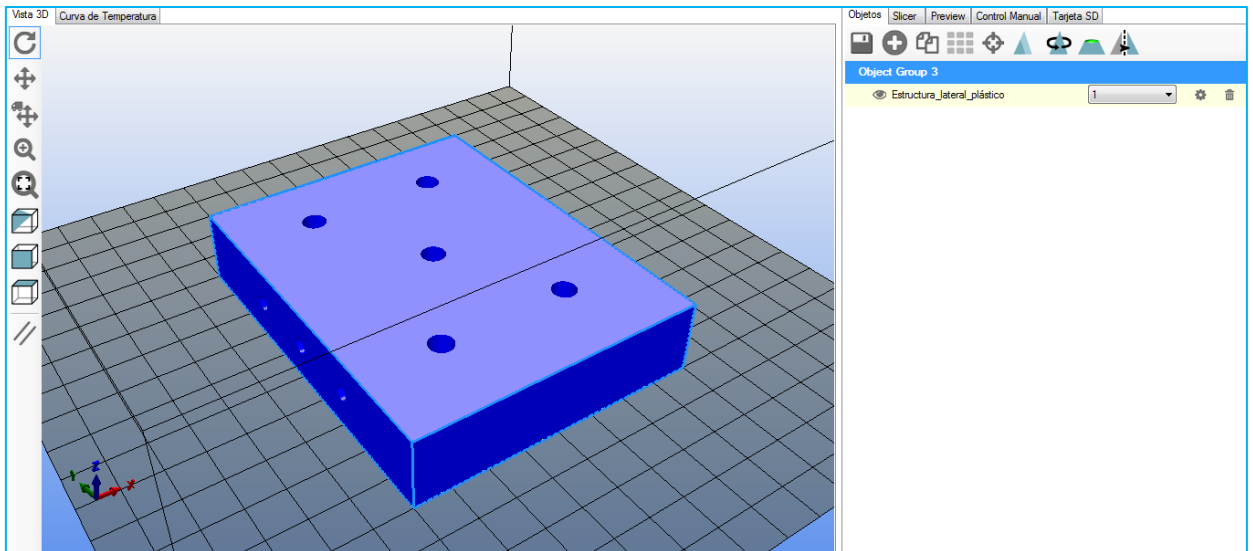


Figura 37: Estructura lateral de plástico en Repetier-Host [fuente propia]

Una vez que se tiene la pieza en el programa, se debe configurar los parámetros en la casilla “slicer” (parte superior derecha figura 37). En este caso y en los siguientes, han permanecido invariables los valores presentados por defecto, a excepción del porcentaje de relleno.

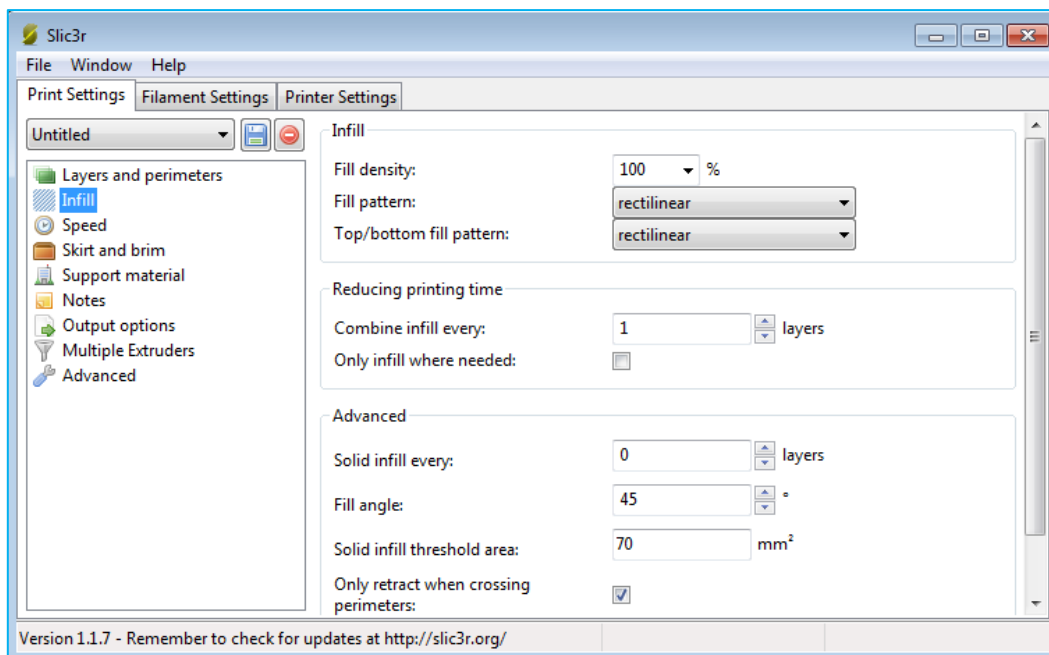


Figura 38: Parámetros de interés del Repetier-Host [fuente propia]

Como vemos en la figura 8, la densidad del material es del 100% y el patrón que sigue el filamento es rectilíneo. Aunque existen otros patrones como el de zig-zag o el de panal de abeja, se ha escogido el rectilíneo puesto que al ser una pieza sólida no interesa hacer más complejo el recorrido del cabezal.

El resultado de esta operación se observa en la siguiente figura.

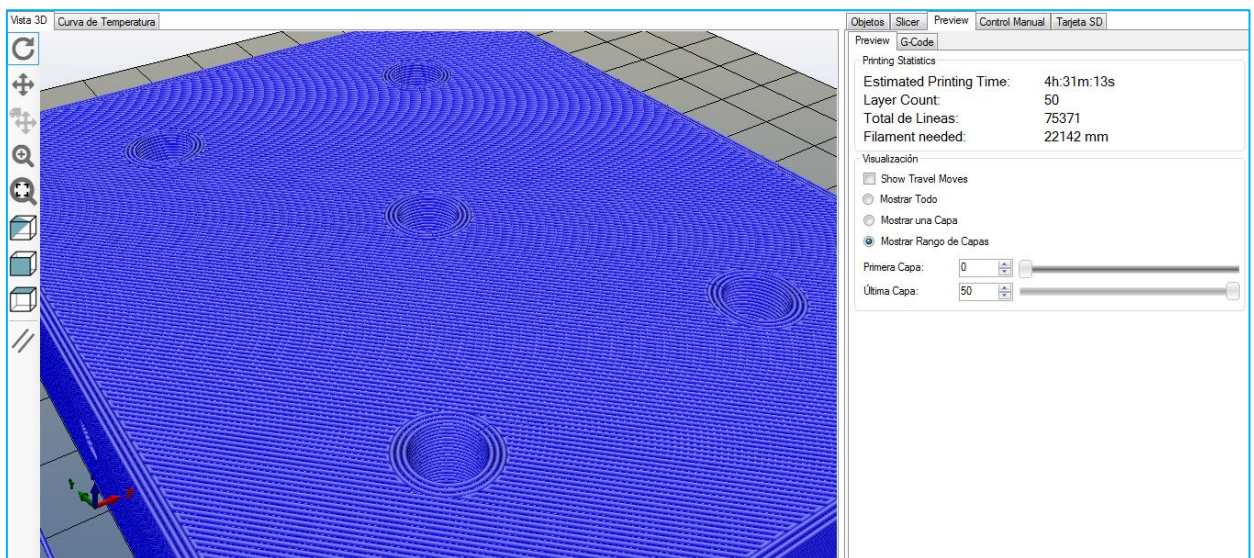


Figura 39: Estructura lateral de plástico simulada en Repetier-Host [fuente propia]

Se pueden previsualizar valores estimados de la impresión en la parte superior derecha de la figura 39 (tiempo de impresión, número de capas, líneas totales y filamento necesitado).

### 11.2.2 Estructura frontal de plástico

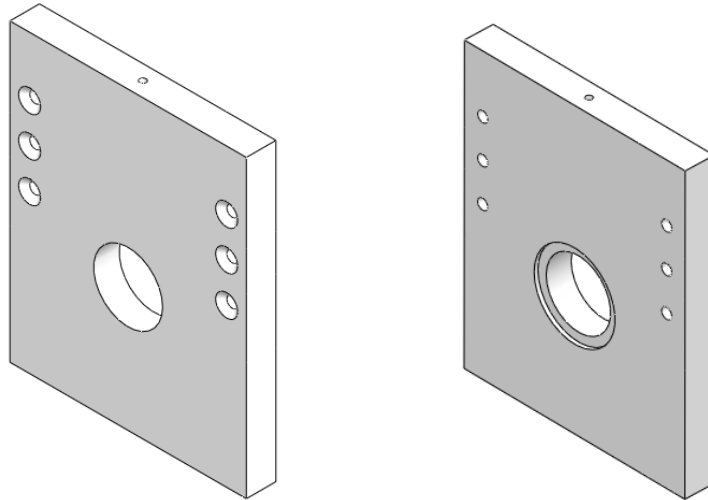


Figura 40: Estructura frontal de plástico [fuente propia]

Al igual que sucede en la estructura lateral de plástico, este elemento es otro de los elementos replicados en impresora 3D, también compuesto por PLA. Su función principal es dar consistencia a la máquina y otorgar cierta estanqueidad al equipo, pues está en contacto directo con los rodamientos de bolas. Dispone de 6 agujeros pasantes para tornillos con cabeza avellanada de métrica 5 (ISO) y uno en su parte superior de métrica M4, longitud 10mm.

Marca	Cantidad	Material	Medidas [mm]
13	2	PLA 100%	120x150x15

Preparación para impresión 3D.

En este caso, sucede exactamente lo mismo que en el elemento anterior. Se inserta en el Repetier-Host el archivo STL y se coloca adecuadamente en la cama de la impresora mostrada por el programa.

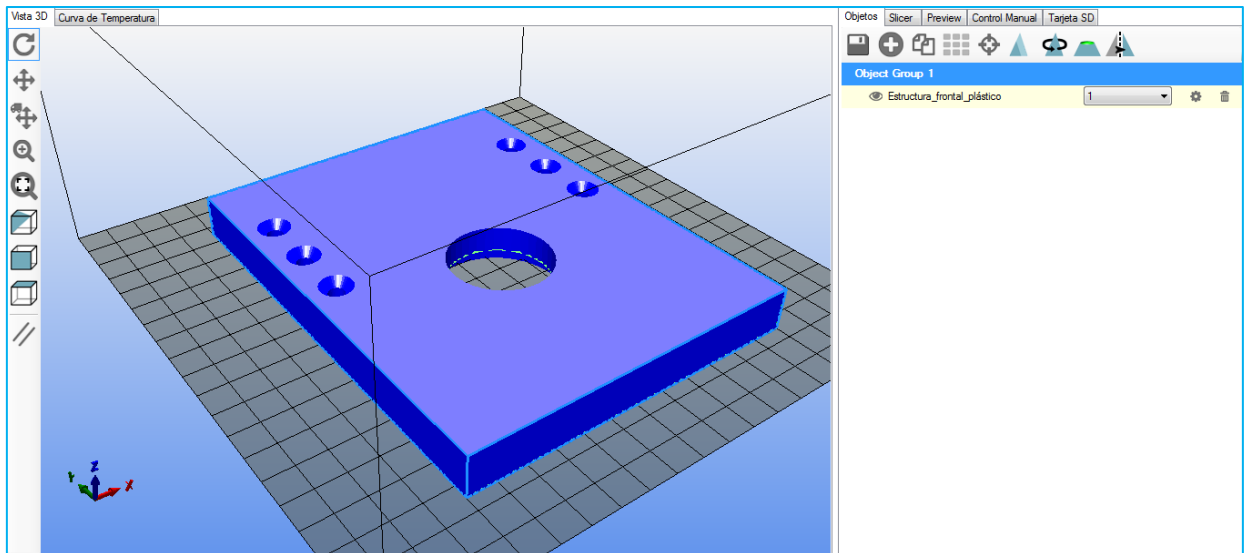


Figura 41: Estructura frontal de plástico en Repetier-Host [fuente propia]

Una vez que se completa el paso anterior, se comienza la simulación, utilizando los mismos parámetros que los empleados en la estructura lateral de plástico.

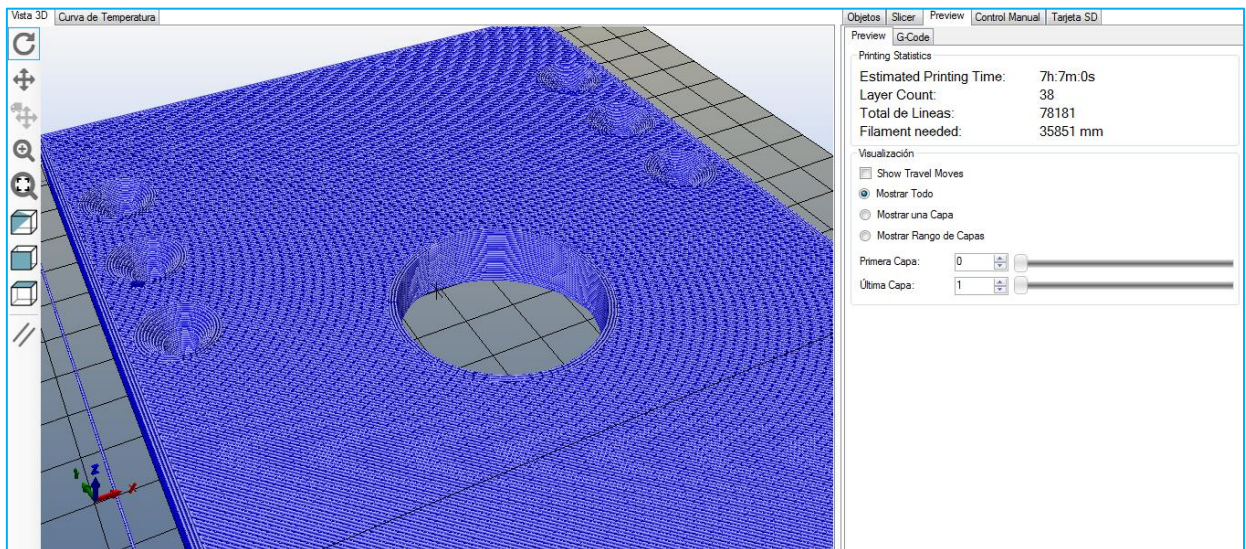


Figura 42: Estructura frontal de plástico simulada en Repetier-Host [fuente propia]

El resultado de la simulación, se puede previsualizar en la captura de pantalla anterior (figura 12).

### 11.2.3 Estructura superior plástico

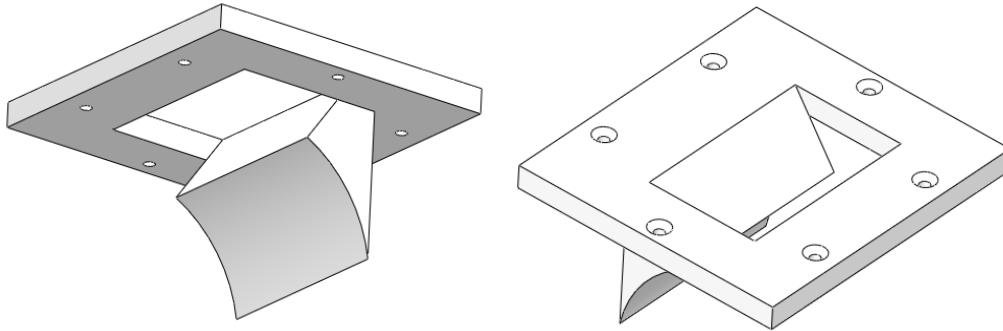


Figura 43: Estructura superior de plástico [fuente propia]

Corresponde a un elemento importante, también replicado mediante impresión 3D y compuesto por PLA. Dentro del conjunto de la trituradora, presenta algunas funciones. Entre ellas, destacan:

- Servir de fijación a las piezas laterales y frontales de plástico
- Ser la guía que da dirección a los materiales a triturar.
- Evitar que posibles fragmentos salgan de la cámara de triturado.

Presenta 6 taladros avellanados de métrica 4 distribuidos por su cara superior y pasantes a lo largo de su espesor. Se debe tener en cuenta que al estar en contacto directo con los materiales plásticos a triturar, puede sufrir daños y desgaste en su parte curva inferior. Sin embargo, es una pieza intercambiable, de fácil montaje y que se puede replicar con cierta facilidad.

Marca	Cantidad	Material	Medidas [mm]
12	1	PLA 100%	120x130x69

Preparación para impresión 3D.

En este caso, influye la colocación de la pieza en la cama de la impresora. Se debe situar la cara superior de la estructura hacia abajo, contra la superficie de impresión.

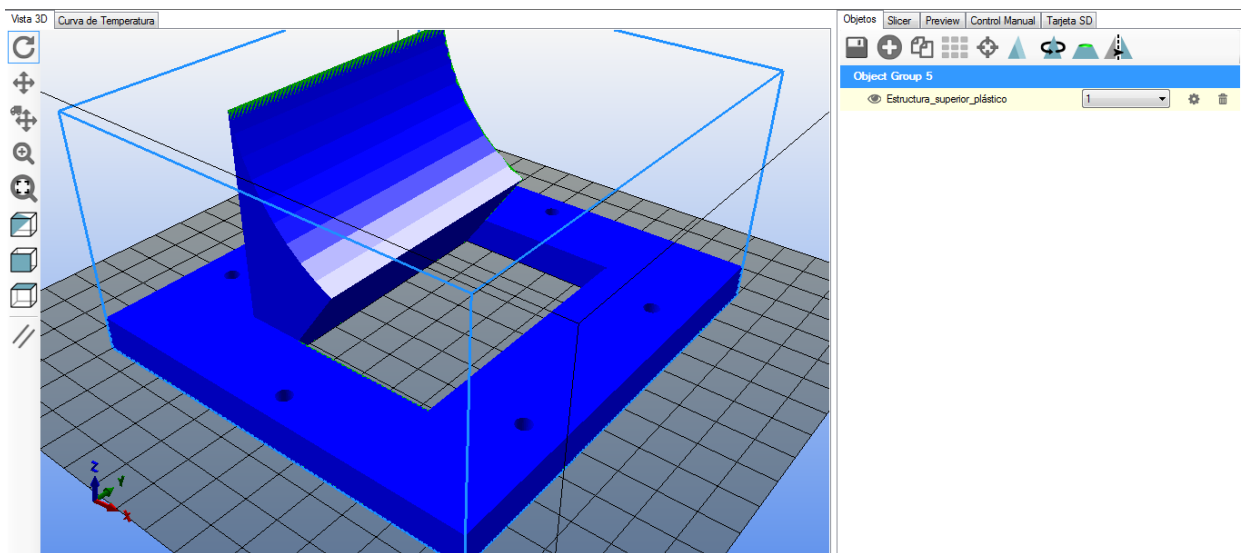


Figura 44: Estructura superior plástico en Repetier-Host [fuente propia]

Una vez se haya colocado perfectamente, se simula la impresión utilizando la casilla “slicer”. Los parámetros del proceso son los mismos que los utilizados en los casos anteriores. El resultado estimado para esta operación quedaría representado en la siguiente figura.



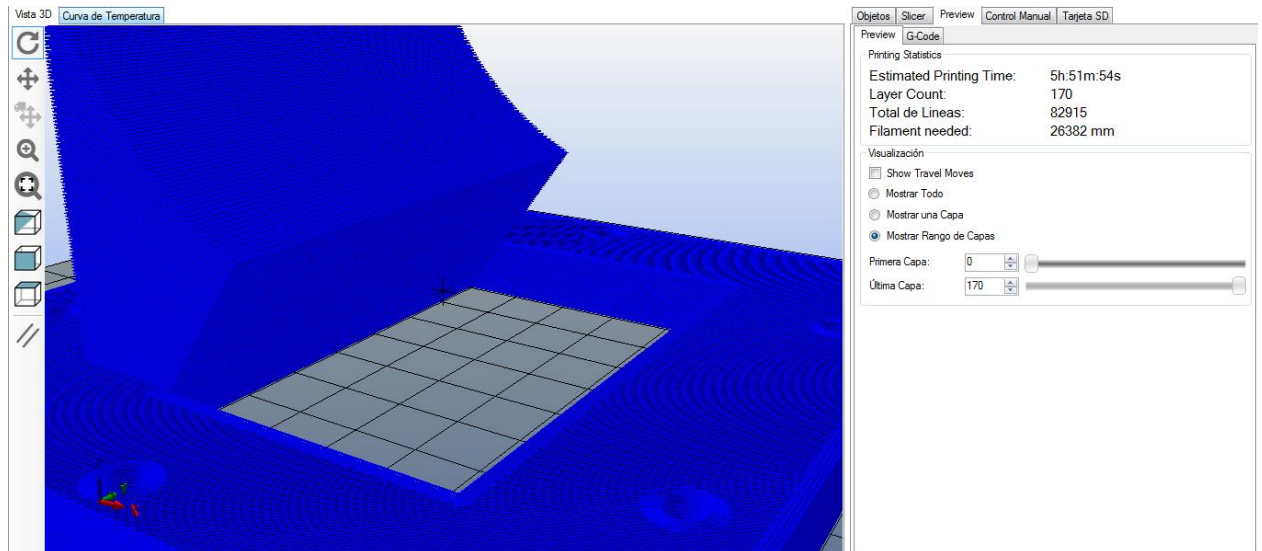


Figura 45: Estructura superior plástico simulada en Repetier-Host [fuente propia]

#### 11.2.4 Estructura lateral de aluminio

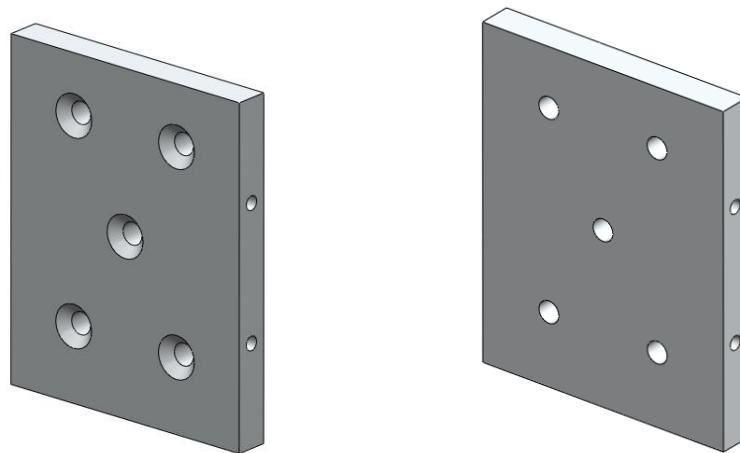


Figura 46: Estructura lateral de aluminio [fuente propia]

Es la pieza que soportará la fuerza producida por la herramienta de corte y por tanto, una de las que permite el triturado o desbaste de los plásticos. Proviene de unas pletinas de aluminio utilizadas en la fabricación de perfiles de aluminio AW 6060. En su cara frontal dispone de 5 taladros avellanados pasantes para tornillos de métrica 6 (ISO). En sus caras laterales destacan dos agujeros de métrica 5 y longitud 14mm. Junto con las estructuras frontales de aluminio, configura la cámara de triturado.

Marca	Cantidad	Material	Medidas [mm]
7	2	AL AW 6060	80x100x10

### 11.2.5 Estructura frontal de aluminio

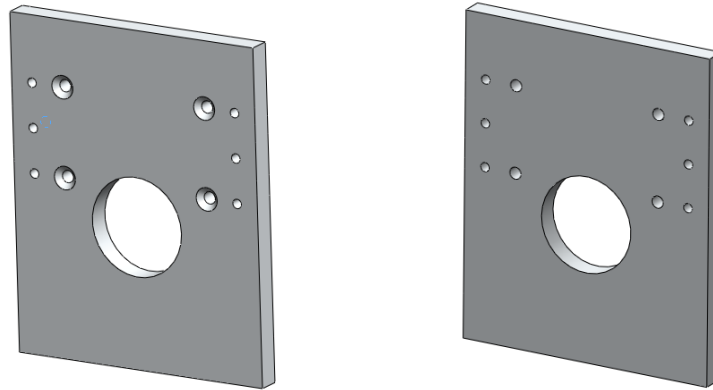


Figura 47: Estructura frontal de aluminio [fuente propia]

Es el elemento en el que irán alojados, con el apriete adecuado, los rodamientos de bolas. Soportará por tanto, el peso de estos dispositivos, el del eje de transmisión, el de la fresa, también las acometidas del triturado y la fuerza lateral generada en el proceso. Está en contacto directo con la estructura lateral de aluminio, configurando la cámara de triturado. El material del que está compuesto es aluminio 6060. En su cara frontal se diferencian cuatro taladros pasantes para tornillos con cabeza avellanada de métrica 5 y 6 agujeros pasantes de métrica 4.

Marca	Cantidad	Material	Medidas [mm]
13	2	AL AW 6060	120x150x10

### 11.2.6 Rejilla de corte.

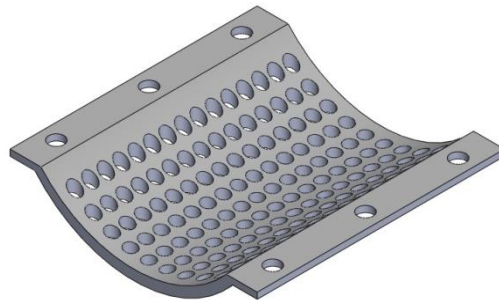


Figura 48: Rejilla de corte [fuente propia]

Es uno de los elementos más complejos del conjunto de la trituradora y uno de los más importantes. Es el encargado de soportar parte de la fuerza de corte y de reducir el tamaño de las piezas a triturar. Actúa como un tamiz que reduce del plástico hasta pequeños pellets o restos de menores dimensiones, concretamente 4 mm de diámetro, puesto que ese es el tamaño de los agujeros de la rejilla. Es la pieza más complicada de fabricar dada su forma curva y los taladros que presenta. Dispone a su vez, de 6 agujeros pasantes de diámetro 4 mm.

Marca	Cantidad	Material	Medidas [mm]
13	1	PLA 100%	120x150x15

### 11.2.7 Eje de transmisión

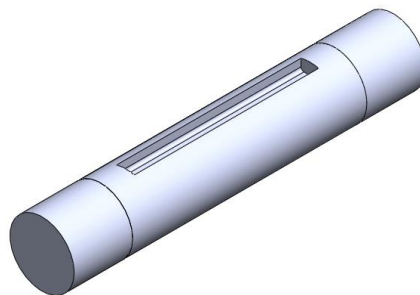


Figura 49: Eje de transmisión [fuente propia]

Este eje, es el elemento encargado de transmitir el par del motor para hacer girar la herramienta de corte y producir el triturado. Se sostiene mediante dos apoyos o rodamientos de bolas en las estructuras frontales de aluminio. En su parte central dispone de un chavetero en el que irá situada la chaveta, elemento que permite el giro solidario de fresa y eje. Esta pieza está sobredimensionada puesto que el agujero interior de la fresa está normalizado y la longitud del eje es reducida. Aun así, en el Anexo: Cálculos, se detallan las consideraciones y verificaciones correspondientes al dimensionado. El material del que estará fabricado es acero inoxidable.

Marca	Cantidad	Material	Medidas [mm]
13	1	Acero inoxidable	120x150x15

#### 11.2.7.1 Tipo de conexión al Motor eléctrico

El movimiento producido por el motor eléctrico se transmite al eje de transmisión mediante un acoplamiento elástico para ejes de 22 mm. Este elemento permitirá el giro e impedirá que las perturbaciones de movimiento generadas durante el triturado lleguen hasta el motor eléctrico.

#### 11.2.8 Fresa de corte lateral con agujero

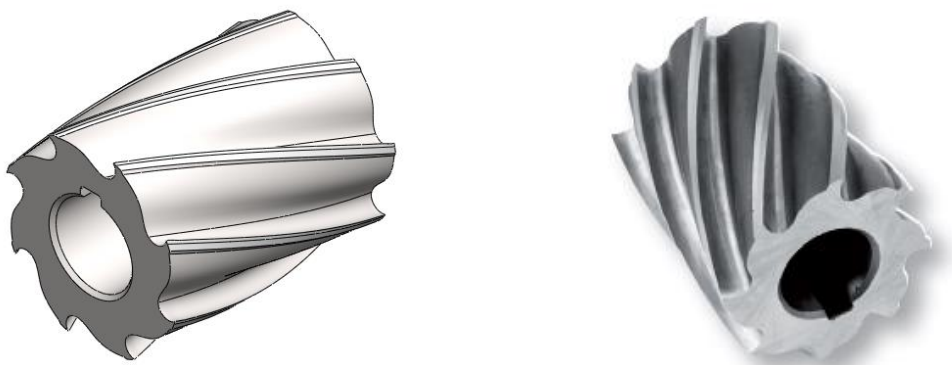


Figura 50: Herramienta de corte [Fuente propia] [19]

Este elemento es una fresa de corte lateral con agujero fabricada por la empresa IZAL Tools [19] para el mecanizado por fresado. La composición de esta pieza es Acero de alta resistencia HSSE. Tiene ocho dientes de corte, un diámetro exterior de 50 mm, una longitud de 63 mm y un diámetro interior de 22 mm. Su precio, puede comprobarse en la tabla siguiente.

Tabla 11: Precio de la herramienta de corte [19]

D mm	L mm	d mm	 Z	Nº Art. 5% Co	€
50	40	22	8	53952	110,33
50	63	22	8	53961	117,58
50	80	22	8	53970	175,27
63	50	27	8	54015	154,30
63	70	27	8	54024	187,73
80	63	32	8	54096	260,05
80	100	32	8	54123	382,29
100	70	40	10	54141	404,61

Sus dimensiones vienen definidas por la norma “*Medidas para Fresas Cilíndricas*” DIN-884N y ISO 240, equivalente a UNE 16004 y DIN 138 referente a “*Agujeros normalizados, construcción y tolerancias para herramientas con agujero cilíndrico y chavetero longitudinal*”. En ellas, quedan determinados los diámetros de los agujeros, la dirección del rayado, la geometría de los cortes y las dimensiones del chavetero.





Universidad  
de La Laguna

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**  
**SECCIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

# **ANEXOS**

**TRITURADORA DE PLÁSTICOS MEDIANTE  
ELEMENTOS REPLICADOS EN IMPRESORA 3D**

**Titulación**

Grado en Ingeniería Mecánica

**Autor**

Pablo Armas Correa

**Tutoras**

María M. Laz Pavón

Rosa E. Navarro Trujillo

Septiembre 2015







Universidad  
de La Laguna

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

**SECCIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

# **ANEXO I: ALTERNATIVAS ESTUDIADAS**

**TRITURADORA DE PLÁSTICOS MEDIANTE  
ELEMENTOS REPLICADOS EN IMPRESORA 3D**

**Titulación**

Grado en Ingeniería Mecánica

**Autor**

Pablo Armas Correa

**Tutoras**

María M. Laz Pavón

Rosa E. Navarro Trujillo

Septiembre 2015



# ÍNDICE ANEXO I

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	117
<b>2. ANÁLISIS DE SOLUCIONES</b> .....	118
2.1 Alternativas de diseño en los modelos .....	118
2.1.1. Modelo 1 .....	118
2.1.2. Modelo 2 .....	121
2.1.3 Modelo 3 .....	123
2.1.4. Modelo 4 .....	126
2.1.5. Modelo 5 .....	128
2.2 Selección de herramienta de corte .....	131
2.2.1 Brocas .....	131
2.2.2. Fresas .....	132
2.3 Dimensionado general .....	134
2.3.1 modificaciones estructurales .....	134



## **1. INTRODUCCIÓN**

En este documento de anexos, se adjunta información complementaria a la memoria. Se abordaran por tanto, los análisis de soluciones planteados en el diseño de la trituradora, con sus correspondientes justificaciones.

## 2. ANALISIS DE SOLUCIONES

En la siguiente sección se recogen las soluciones adoptadas durante en el diseño de la trituradora. Hacen referencia a los cambios o modificaciones realizados en los modelos. Se incluyen también las rectificaciones en las estructuras y en las herramientas de corte del prototipo finalmente escogido (Modelo 6).

### 2.1 Alternativas de diseño en los modelos

Tomando como referencia la trituradora *FilaMaker* y observando las necesidades que genera el reciclaje en la impresión 3D, se ha procedido al diseño propio de la “*Trituradora mediante elementos replicados en impresora 3D*”.

Con el propósito de innovar en el diseño y con la idea de desarrollar un modelo sencillo, económico y eficaz, se han planteado una serie de posibles prototipos. En este grupo, el primero de ellos, difiere notablemente con el resultado final. Esto se debe al avance y las rectificaciones realizadas durante el desarrollo del diseño.

Por consiguiente, el estudio de alternativas que se presenta en líneas posteriores, es producto de consideraciones estructurales, en numerosos casos, contrastadas con máquinas del sector. En él se explican todos los modelos surgidos, con su correspondiente análisis y búsqueda de soluciones.

#### 2.1.1. Modelo 1

El modelo inicial que se pretendió implementar al comienzo del estudio, corresponde a un prototipo de similares características a las que presenta el fabricado por *FilaMaker*, pero con ciertas modificaciones de importancia. Uno de los mayores cambios se encuentra en la herramienta de corte, pues en este caso, se han utilizado brocas helicoidales en lugar de fresas de disco para triturar los materiales plásticos. Este

cambio surge en un principio, por la idea de aprovechar varios aspectos de esta herramienta de corte, como su filo cortante, su montaje sencillo y su intercambiabilidad.

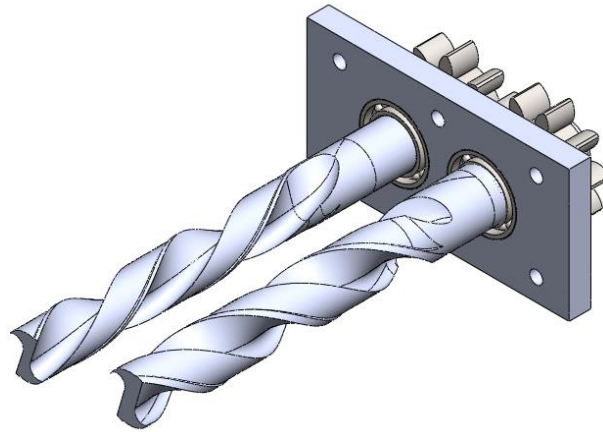


Figura 51: Modelo 1 [Fuente propia]

En la figura se puede visualizar una parte simplificada del prototipo comentado anteriormente.

Consta de los siguientes elementos:

1. Dos brocas helicoidales, una de ellas, con hélice invertida
2. Una pareja de engranajes rectos
3. Cuatro rodamientos convencionales de bolas
4. Cuatro paredes de aluminio de espesor [5-10 mm]
5. Estructuras-guía para los materiales
6. Otros (motor, acoples, etc.)

Sin embargo, pese a su sencillez y diseño inusual, este modelo presenta una serie de problemas, cuya importancia resta cualidades al conjunto.

1. Distancia entre brocas demasiado grande. Esta medida debe ser lo más pequeña posible, puesto que el material debe triturarse hasta los 7 mm como máximo, como se justifica en el *Apartado Antecedentes 8.9.1: Extrusoras de plástico para impresión 3D de la Memoria*. Por consiguiente, separar las herramientas de corte produciría triturados o pellets demasiado grandes.
2. Pared entre rodamientos demasiado pequeña. Al unir las brocas a la menor distancia posible, la pared entre engranajes quedaría demasiado delgada, lo que empeora y pone en peligro la resistencia del conjunto.
3. Ausencia de apoyos en los extremos de las brocas. La utilización de estos elementos no permite un apoyo de rodamiento al otro lado, en la pared opuesta. Habría que torneear la broca, lo cual podría generar ciertos problemas.
4. Posibilidad de flexión en las brocas o en los apoyos de estas, a las paredes de la máquina. Al disponer de solamente un apoyo por broca, la fuerza generada para romper la pieza podría quebrar la estructura.
5. Restricciones en el tamaño máximo de las piezas a triturar. Al tener brocas como elemento de corte, si se introducen piezas demasiado grandes, no llegarían a ser enganchadas por las hélices, sino quedarían por encima, rozándose simplemente.
6. Restricciones en el tamaño mínimo de las piezas trituradas. El resultado final del proceso de trituración debe ser el mejor posible, es decir, las piezas deben quedar reducidas a milímetros, para posteriormente introducir en la extrusora. Con esta configuración, el tamaño de estos fragmentos sería demasiado grande y por tanto, inadecuado.

Medidas adoptadas o propuestas de mejora.

1. Utilización de brocas con mango reducido. Es una posibilidad que se ha barajado, puesto que en el mercado existen brocas de tales características. Con



su utilización se aumentaría la distancia entre los agujeros, sin dejar de separar el filo de las brocas.

### 2.1.2. Modelo 2

Con motivo de intentar solucionar algunos de los problemas que presentaba el primer modelo, se ha propuesto una posible solución: añadir una tercera broca en medio y de forma opuesta a las dos principales.

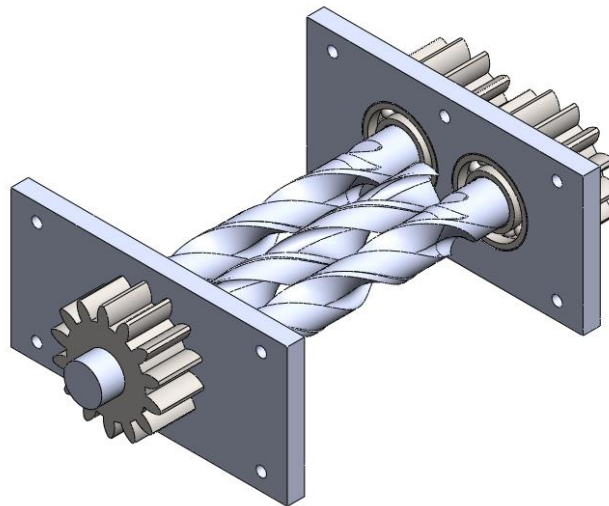


Figura 52: Modelo 2 [Fuente propia]

Consta de los siguientes elementos:

1. Tres brocas helicoidales.
2. Tres engranajes rectos
3. Cuatro rodamientos convencionales de bolas
4. Cuatro paredes de aluminio de espesor [5-10 mm]
5. Estructuras guía para los materiales
6. Otros (motor, acoples, correas, poleas)

En comparación con el modelo 1, tiene una serie de puntos a favor.

### Ventajas

1. Espacio entre brocas reducido. La separación entre brocas que aparecía en el primer modelo, se ha reducido considerablemente.
2. Distribución de cargas en 3 apoyos. Al incorporar la tercera broca en medio, tendríamos un soporte en la cara frontal, lo que permitiría una mejor distribución de cargas.
3. Separación entre rodamientos aceptable. La utilización de la broca central lleva a separar las brocas principales, lo que aumenta la pared entre los rodamientos y aporta mayor rigidez.

Este modelo, en principio, resuelve algunas cuestiones adversas presentes el anterior diseño, sin embargo genera a su vez una serie de inconvenientes.

### Desventajas

1. Sentido de giro de las brocas igual. Al tener tres brocas, quedan dos espacios para triturar. En uno de ellos, las brocas giran correctamente, hacia dentro (una sentido horario y otra antihorario) y en el otro, una broca girará hacia dentro y la otra hacia fuera (las dos sentido antihorario). Esto produce que las piezas tiendan a salir del espacio a triturar.
2. Ausencia de apoyos en los extremos de las brocas. La utilización de estos elementos no permite un apoyo de rodamiento al otro lado, en la pared opuesta. Habría que torneear la broca, lo cual podría generar ciertos problemas.
3. Posibilidad de flexión en las brocas o en los apoyos de estas a las paredes de la máquina. Al disponer de solamente un apoyo por broca, la fuerza generada para romper la pieza podría quebrar la estructura.

4. Restricciones en el tamaño máximo de las piezas a triturar. Al tener brocas como elemento de corte, si se introducen piezas demasiado grandes, no llegarían a ser enganchadas por las hélices, sino quedarían por encima, rozándose simplemente.
5. Restricciones en el tamaño mínimo de las piezas trituradas. El resultado final del proceso de trituración debe ser el mejor posible, es decir, las piezas deben quedar reducidas a milímetros, para posteriormente introducirlas en la extrusora.
6. Utilización de un sistema de poleas-correa. Como se tiene una broca en el lado opuesto, se necesitaría un sistema que transmitiera el movimiento desde los engranajes de las brocas principales hasta ella.

### **2.1.3 Modelo 3**

Este modelo se desarrolló, con el fin de encontrar un prototipo que resolviera el problema del tamaño mínimo de las piezas. De ahí, que cuente con tres etapas de triturado. Con las primeras brocas, el tamaño final del producto quedaría demasiado grande, lo que dificultaría en gran medida su posterior utilización en la extrusora, máquina que necesita un tamaño de plástico sumamente reducido [7 mm máximo].

En cuanto a los inconvenientes derivados del primer y segundo diseño, se han planteado ciertas modificaciones, en este caso, relacionadas con una separación entre rodamientos razonable, sin aumentar la distancia entre sí. De esta cuestión aparece la opción de utilizar brocas con mango reducido.

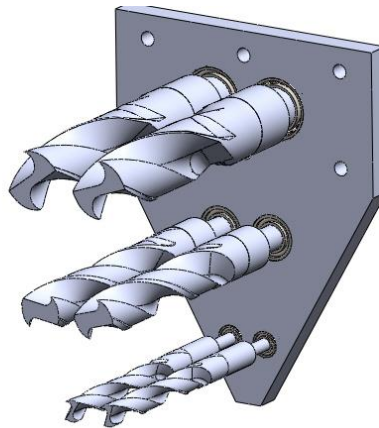


Figura 53: Trituradora modelo 3 [Fuente propia]

Consta de los siguientes elementos:

1. Seis brocas helicoidales de diámetros 25, 18 y 10 mm.
2. Tres parejas de engranajes rectos de diferentes tamaños.
3. Tres parejas de rodamientos de bolas de diferentes tamaños.
4. Seis paredes metálicas de espesor [5-10 mm] en cuyo montaje probablemente sería necesario emplear la unión por soldadura.
5. Estructuras guía para los materiales, al menos en la primera etapa de triturado.
6. Otros (motor, acoples, correas, poleas)

Ventajas

1. Reducción del tamaño mínimo de las piezas trituradas. El resultado final de las piezas coincidirá con el realizado por la última etapa de triturado. Esto, a pesar de ser una ventaja, supone un inconveniente si se quiere modificar el tamaño de las piezas trituradas.

Inconvenientes

1. Distancia entre brocas demasiado grande. Esta medida debe ser lo más pequeña posible, puesto que el material debe triturarse hasta los 7 mm como máximo. Separar las herramientas de corte produciría triturados o pellets demasiado grandes.

2. Pared entre rodamientos demasiado pequeña. Al unir las brocas a la menor distancia posible, la pared entre engranajes quedaría demasiado delgada, lo que empeora y pone en peligro la resistencia del conjunto.
3. Ausencia de apoyos en los extremos de las brocas. La utilización de estos elementos no permite un apoyo de rodamiento al otro lado, en la pared opuesta. Habría que torneear la broca, lo cual podría generar ciertos problemas.
4. Posibilidad de flexión en las brocas o en los apoyos de estas a las paredes de la máquina. Al disponer de solamente un apoyo por broca, la fuerza generada para romper la pieza podría quebrar la estructura.
5. Restricciones en el tamaño máximo de las piezas a triturar. Al tener brocas como elemento de corte, si se introducen piezas demasiado grandes, no llegarían a ser enganchadas por las hélices, sino quedarían por encima, rozándose simplemente.
6. Restricciones en el tamaño mínimo de las piezas trituradas. El resultado final del proceso de trituración debe ser el mejor posible, es decir, las piezas deben quedar reducidas a milímetros, para posteriormente introducir en la extrusora.

A partir de este modelo se produce un punto de inflexión en el desarrollo del proyecto. La suma de problemas derivados de la utilización de brocas como herramienta de corte conllevó la búsqueda de otros elementos de corte. Uno de los elementos de corte encontrados, que más se adecuaban a las condiciones y requisitos, fue una fresa de corte lateral con agujero. Explicado con detalle en la siguiente sección de este *Anexo 2.2: Selección de herramienta de corte*. De esta búsqueda emergen los modelos que se exponen a continuación.

#### 2.1.4. Modelo 4

Como se comenta en el apartado anterior, (2.1.3: *Modelo 3*), emplear fresas de corte lateral con agujero reduce, a priori, el número de inconvenientes. Este tipo de herramientas están diseñadas para el desbaste de material en fresadoras, por tanto, disponen de un agujero para ajustar el eje. Al disponer de agujero disponen de chavetero, algo que ayuda en el diseño de esta máquina.

El siguiente modelo es el producto de la implementación de estos elementos en los modelos anteriores.

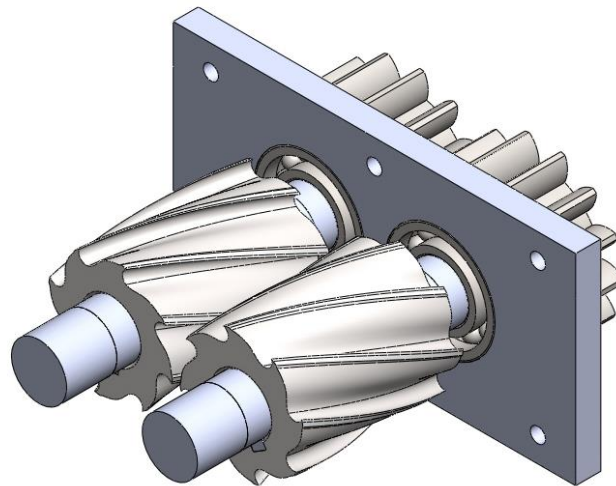


Figura 54: Modelo 4 [Fuente propia]

Consta de los siguientes elementos:

1. Dos fresas helicoidales de corte lateral con agujero.
2. Dos parejas de engranajes rectos
3. Cuatro rodamientos convencionales de bolas
4. Cuatro paredes de aluminio de espesor [5-10 mm]
5. Estructuras guía para los materiales
6. Otros (motor, acoples)

En comparación a los anteriores, es uno de los que presenta mejores prestaciones.

## Ventajas

1. Espacio entre herramientas de corte reducido. La separación entre las fresas que aparecía en el primer modelo con las brocas, disminuye.
2. Distribución de cargas aceptable. El agujero de las brocas permite la incorporación de un eje, que se apoyaría en dos rodamientos.
3. Separación entre rodamientos adecuada. Al tener las fresas un diámetro exterior más amplio que la de las brocas, favorece la separación entre los rodamientos, y por tanto aumenta la rigidez de la pared que los separa.
4. Fresas con hélice convencional. En este modelo no haría falta adquirir una fresa con hélice invertida, como sucedía en el Modelo 1 con las brocas. Las herramientas de corte irían colocadas en diferente sentido y su giro llevaría al plástico hacia adentro.
5. Mejor ajuste dimensional a la máquina. Otra de las ventajas, que supone haber aumentado el diámetro de la herramienta de corte, es que se reducen los espacios entre la propia herramienta y las paredes de la máquina.

## Inconvenientes

1. Restricciones en el tamaño máximo de las piezas a triturar. Pese al cambio de broca a fresa, seguimos teniendo restricciones en el tamaño o área de las piezas a triturar.
2. Costo elevado. Utilizar brocas helicoidales ya suponía elevar el presupuesto de la máquina. Ahora, emplear dos fresas de corte lateral con agujero aumenta el coste notablemente.

### 2.1.5. Modelo 5

El siguiente punto importante en el desarrollo del proyecto es la incorporación de un elemento de corte que facilite la reducción del material. Tras indagar en diversos modelos de trituradoras de plásticos (incluidas las empleadas en impresión 3D) se obtiene información sobre un elemento de interés: la rejilla de corte, explicada con detalle en el *Apartado: 3.6.2.4 Rejilla de corte, de este anexo*. Es una parte fundamental para la mayoría de trituradoras y es un elemento que no se había tenido en cuenta durante el desarrollo de los modelos anteriores. Si bien no resuelve muchos de los problemas generados por la utilización de las brocas, si elimina las restricciones de tamaño mínimo de las piezas trituradas. Así pues, podría descartarse por completo el Modelo 3.

Teniendo esto en cuenta, cabe la posibilidad de prescindir de una de las fresas al incorporar la rejilla. Esto se debe a que no dispone del mismo sistema de mandíbulas que el resto de trituradoras para impresión 3D. El sistema que aquí se plantea tiene la función de desbastar la superficie e ir triturando las piezas mediante un arranque de viruta similar al que se produciría en una fresadora. Las paredes de la máquina servirían como estructura que soporta la fuerza de corte y que permite a la fresa aplicar la fuerza suficiente. La rejilla por su parte, sería el último elemento por el que pasa el material triturado, quedando este, del tamaño de los agujeros que se dispongan, de tamaño óptimo para su procesamiento en extrusora.

Aplicando estos criterios, surge el Modelo 5.

Al igual que en los prototipos anteriores, el triturado se produciría no por choque, ni impacto, sino por desbaste de material, de una forma similar a la que trabaja una fresadora convencional.



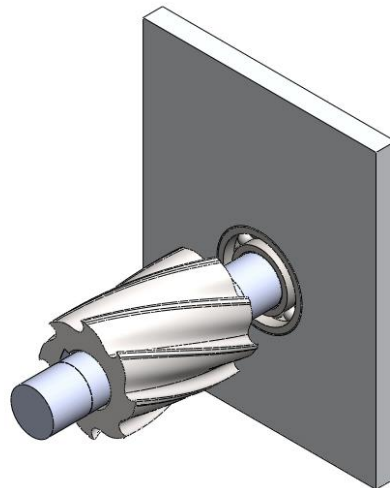


Figura 15: Modelo 5 [Fuente propia]

La Figura 55 muestra una serie de elementos representativos del modelo: Una pared de aluminio con su correspondiente rodamiento de bolas, un eje de transmisión y la fresa de corte lateral comentada en los párrafos superiores.

Como podemos observar en la figura mencionada las dimensiones de la fresa no son acordes a las de la placa de aluminio, por lo que tendrían que ajustarse entre sí. En conjunto, este diseño constaría de los siguientes elementos:

1. Una fresa helicoidal de corte lateral con agujero.
2. Dos rodamientos convencionales de bolas
3. Cuatro paredes de aluminio de espesor [5-10 mm]
4. Estructuras guía para los materiales
5. Otros (motor, acoples)

Incorporando la rejilla de corte a este modelo, quedaría de la siguiente forma:

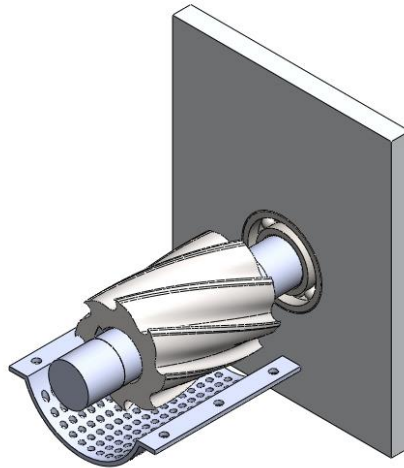


Figura 56: Modelo 5 con rejilla de corte [Fuente propia]

Aquí podemos comprobar la incorporación de la rejilla de corte. En los agujeros que presenta esta pieza irían colocadas dos placas de aluminio de menores dimensiones que la placa principal, en la que está colocado el rodamiento.

#### Ventajas

1. Espacio entre herramientas de corte reducido. Al no tener dos herramientas de corte, no existiría distancia entre ellas y por tanto, no tendríamos este problema.
2. Distribución de cargas aceptable. Al igual que sucede en el modelo 4, la utilización de las fresas de agujero permite apoyos en los extremos.
3. Separación entre rodamientos adecuada. Al disponer de una sola fresa con un solo eje y un rodamiento por pared, este inconveniente desaparece.
4. Fresas sin hélice invertida. Como este modelo cuenta con una sola herramienta de corte, se descartan las cuestiones relativas a su hélice.
5. Mejor ajuste dimensional a la máquina. En comparación con el modelo 4, se reducen los espacios entre la propia herramienta y las paredes de la máquina, aún más.

6. Menor costo. Utilizar una sola herramienta de corte, un solo eje y la mitad de rodamientos, reduce considerablemente su costo final.

Principal Inconveniente:

1. Restricciones en el tamaño máximo de las piezas a triturar. Pese al cambio de broca a fresa, seguimos teniendo restricciones en el tamaño o área de las piezas a triturar.

## 2.2 Selección de herramienta de corte

Este apartado es producto de la sección anterior, *2.1 Alternativas de diseño en los modelos* y es la base que justifica los Modelos 4, 5 y el Modelo final, 6. Surge por la necesidad de encontrar opciones que mejoren la acción del triturado y reduzcan los inconvenientes generados por los prototipos.

### 2.2.1 Brocas

Una parte sumamente importante de los modelos recae sobre las brocas a utilizar. De sus resultados dependerá en gran parte, el éxito o fracaso del diseño. Por ello, debemos conocer los diversos tipos de brocas de las que se dispone en el mercado, tanto a nivel local como regional o incluso nacional. Como hemos podido comprobar en líneas anteriores, la utilización de esta herramienta en la máquina, suele llevar consigo una serie de inconvenientes, que se han intentado resolver mediante diversas soluciones. Sin embargo, estas soluciones deben estar materializadas y disponibles en el mercado, pues de no ser así, el diseño carecería de validez.

Por ello, ha resultado preciso comprobar que los criterios tomados en el diseño corresponden con los ofertados:

1. Dimensiones (diámetro, longitud total, longitud de corte, mango reducido)
2. N° de hélices

3. Resistencia mecánica
4. Peso
5. Precio



Figura 57: Brocas (diseñada (Blanco) y disponible (negro)) [Fuente propia]

Actualmente, encontrar brocas, de las características buscadas, en el mercado, tanto regional, nacional, como internacional, presenta dificultades como el costo, su bajo stock **por ser** los requerimientos son muy específicos. Existen algunas brocas de mango reducido, pero suelen tener unas dimensiones que no concuerdan con el diseño propuesto en el trabajo. Un mango tan corto no podría sobrepasar la pared de la máquina y ajustarse en los engranajes. Habría que establecer procesos de mecanizado posteriores, lo que aumentaría el presupuesto final. El costo de estas brocas es elevado, así que añadir procesos secundarios aumentaría el precio de la máquina y restaría propiedades a la propia herramienta.

### 2.2.2. Fresas

Teniendo en cuenta los inconvenientes que presentan las brocas citadas con anterioridad, se comenzó la búsqueda de alternativas que subsanaran los problemas acaecidos por la utilización de las mismas. De esta forma, se encontró en el mercado una posible candidata, una fresa helicoidal con aligeramiento, que se ajustaría al modelo y eliminaría una serie de problemas (fuerzas en los apoyos, mecanizado innecesario, distribución de cargas, flexión en los rodamientos, etc.).



D mm	L mm	d mm	Z	Nº Art. 5% Co	€
50	40	22	8	53952	110,33
50	63	22	8	53961	117,58
50	80	22	8	53970	175,27
63	50	27	8	54015	154,30
63	70	27	8	54024	187,73
80	63	32	8	54096	260,05
80	100	32	8	54123	382,29
100	70	40	10	54141	404,61

Figura 58: Fresa para desbaste medio de Acero HSSE 5% Co, corte lateral [19]

Este elemento es una fresa de corte lateral con agujero utilizada para el mecanizado por fresado, concretamente para planear. Es un producto de IZAR Tools y está englobado dentro del grupo de fresas madre o fresas con aligeramiento. El material del que está compuesta es Acero de alta resistencia HSSE con un porcentaje de Cobalto (5%). Tiene ocho dientes de corte, un diámetro exterior de 50 mm, un largo de 63 mm y un diámetro interior de 22 mm. Su precio es de 117,58 €. Se ha escogido justamente esta fresa por la conveniente relación entre las dimensiones y el precio.

Para utilizar una fresa de tales características, se necesita un eje que la sostenga y mediante el que se transmita el par motor. Este eje, al igual que en el modelo de la *FilaMaker*, estaría apoyado en los extremos, por dos rodamientos, lo que erradicaría el problema de las fuerzas en los apoyos, distribuyendo mejor las fuerzas.

Al estar utilizando una fresa de corte lateral con agujero, cuyas dimensiones están normalizadas, entendemos que las tensiones y fuerzas generadas por el motor, entran dentro de los rangos de esfuerzos plausibles.

Así pues, las dimensiones de su agujero y por consiguiente, las del eje en el que irá colocada, quedarían sobredimensionadas. Puede hacerse esta afirmación, debido a que

la herramienta está diseñada para el corte de materiales cuya dureza supera notablemente las del material a triturar en el presente proyecto. En concreto, se pretende implementar una herramienta de corte para aceros, en una máquina para triturar materiales sintéticos.

Sin embargo, a pesar de esta condición, se estimarán los estudios de tensiones y deformaciones concluyentes en el último apartado de este *Anexo III: Estudios con SolidWorks, Apartado 3*.

## 2.3 Dimensionado general

Como hemos comprobado en los *apartados anteriores*, el diseño final de la trituradora, se comienza partiendo de una herramienta de corte específica, en el último caso, una fresa de corte lateral con agujero. A partir de este elemento, se han ido adecuando el resto de componentes. De este ajuste, nacen una serie de modificaciones dimensionales, que se comentan a continuación.

### 2.3.1 modificaciones estructurales

- 1) Del ancho, largo y alto. El último modelo también ha sido objeto de cambios y modificaciones. La primera de ellas, se ha producido en el ancho de la máquina, debido a las dimensiones de la fresa. Al utilizar una fresa con dimensiones establecidas, se debe adecuar el espacio a la herramienta de corte. También se ha modificado el largo y el ancho (con respecto a los primeros modelos y al de *FilaMaker*) para ajustar el largo de la fresa y evitar la salida de fragmentos. Estos cambios se han producido fundamentalmente en las estructuras laterales y frontales (tanto aluminio como plástico).
- 2) De la Rejilla de corte. Posiblemente el mayor problema de la máquina haya sido fijar un método de corte eficaz, con sentido y técnicamente posible de ejecutar.

Por ello, una de las partes más sensibles a cambios es la rejilla de corte, pues es la que soporta la fuerza de corte y permite la trituración del material. En un principio, la rejilla de corte seguía la curvatura del diámetro de la fresa (figura inferior derecha) y se distanciaba 5 mm de ella. Esta configuración podía generar acumulación de plásticos entre la fresa y la rejilla, sin llegar a triturarlos. Por este motivo se modificó su curvatura, reduciendo el espaciado y la acción del corte. (Figura 59 izquierda). Como consideración, es destacable la diferente distribución de esfuerzos entre el actual y el antiguo elemento. En la rejilla de corte actual hay una mayor concentración de esfuerzos (localizados en su parte central).

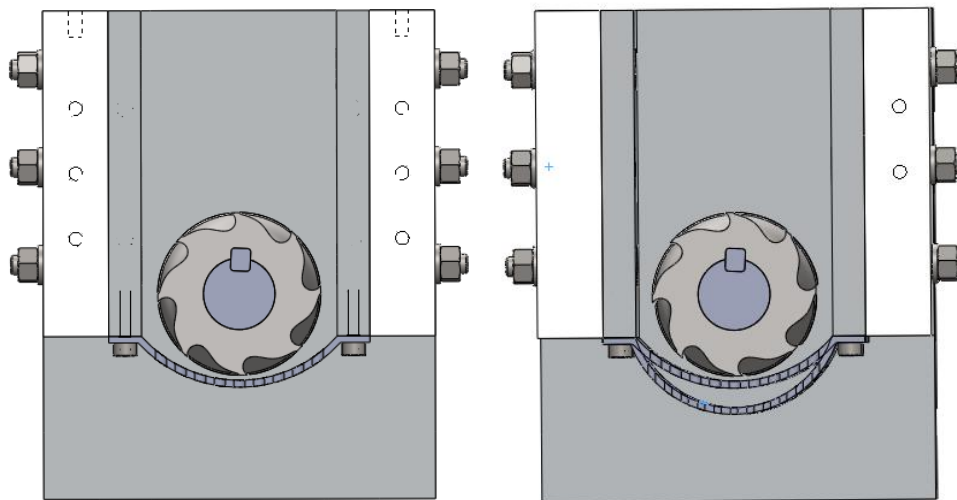


Figura 59: Rejillas de corte [Fuente propia]

- 3) De la estructura superior de plástico. Es un elemento añadido al modelo principal y tiene dos cometidos: guiar las piezas de plástico a la zona de triturado y evitar la proyección de fragmentos de plástico al exterior. Es otra de las partes replicadas en impresora 3D y cómo una parte de su estructura se encuentra dentro del espacio de triturado, resulta importante tener en cuenta su probable deterioro. Desde el punto de vista de la seguridad, sería recomendable utilizar un material de mayor resistencia que el plástico, puesto que es el mismo material que el de las piezas a triturar (aunque con diferente porcentaje de relleno). Su ventaja es que es una pieza fácilmente replicable y completamente intercambiable.

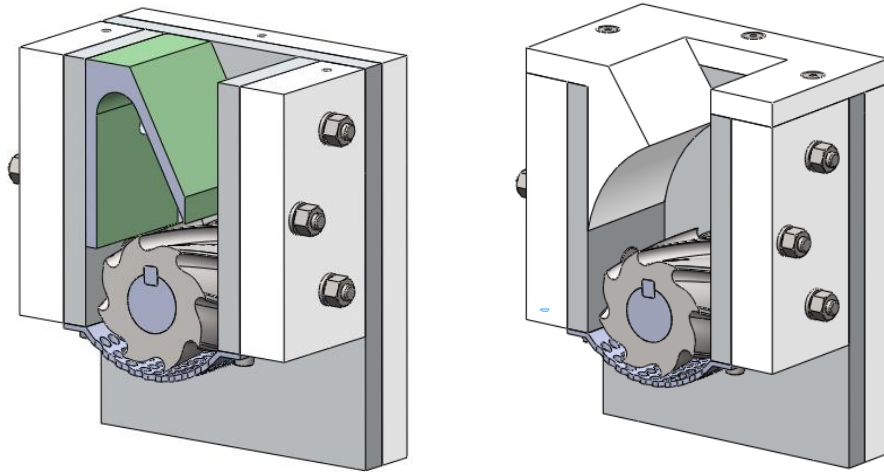


Figura 60: Estructuras superiores de plástico [Fuente propia]

En la Figura 60 de la izquierda vemos el primer modelo planteado para la estructura superior. Este modelo quedó descartado por varios motivos: La poca resistencia que presenta y su dificultad de montaje (estaba fijado a través de los tornillos de las estructuras laterales). Por el contrario, la figura de la derecha muestra la pieza finalmente escogida, una estructura que encaja de una forma más adecuada en el conjunto. Está atornillada a las piezas de plástico laterales y frontales. Su pendiente permite guiar las piezas a la zona de triturado y su curvatura evita la salida de fragmentos.







Universidad  
de La Laguna

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

**SECCIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

## **ANEXO II: CÁLCULOS**

**TRITURADORA DE PLÁSTICOS MEDIANTE  
ELEMENTOS REPLICADOS EN IMPRESORA 3D**

**Titulación**

Grado en Ingeniería Mecánica

**Autor**

Pablo Armas Correa

**Tutoras**

María M. Laz Pavón

Rosa E. Navarro Trujillo

Septiembre 2015



# ÍNDICE ANEXO II

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	142
<b>2. FUERZAS DE CORTE</b> .....	143
2.1 La fuerza tangencial.....	143
2.2 La fuerza radial. ....	144
2.3 La fuerza axial. ....	145
2.4. Resultados .....	146
<b>3. DIAGRAMAS DE MOMENTO FLECTOR</b> .....	151
<b>4. DIÁMETRO MÍNIMO DEL EJE</b> .....	157
4.1 Comprobación frente a momento Torsor.....	157
4.2 Comprobación frente a momento Flector. ....	159
4.3 Comprobación Momento Torsor y flector combinados.....	160
4.4 Resultados.....	162
<b>5. OPERACIONES DE MECANIZADO</b> .....	164
5.1 Introducción a los parámetros de corte .....	164
5.2 Mecanizado con materiales plásticos.....	165
5.3 Método de fresado .....	166
5.3.1 Movimientos característicos del fresado.....	168
5.3.2 Tipos de fresado según la relación entre el giro y el avance.....	173
5.3.3 Espesor medio de viruta $h_m$ .....	177
5.3.4 Sección media de la viruta. ( $A_m$ ).....	178
5.3.5. Potencia de corte ( $P_c$ ).....	180
5.3.4 Volumen medio de viruta ( $Q$ ) .....	183



## 1. INTRODUCCIÓN

En este documento de anexos, se abordan los criterios tomados durante el desarrollo de los diferentes cálculos (fuerzas de corte, diagramas de momento, diámetros mínimos del eje, parámetros característicos del fresado) y una disgregación de los mismos.

## 2. FUERZAS DE CORTE

Uno de los primeros pasos a seguir, ha sido establecer la magnitud de las fuerzas producidas por la fresa. En cuestiones de fuerza, la una fresa de corte lateral se asemeja a un engranaje helicoidal, teniendo componentes que se descomponen en magnitudes tangenciales, radiales, y axiales, aunque con ángulos específicos.

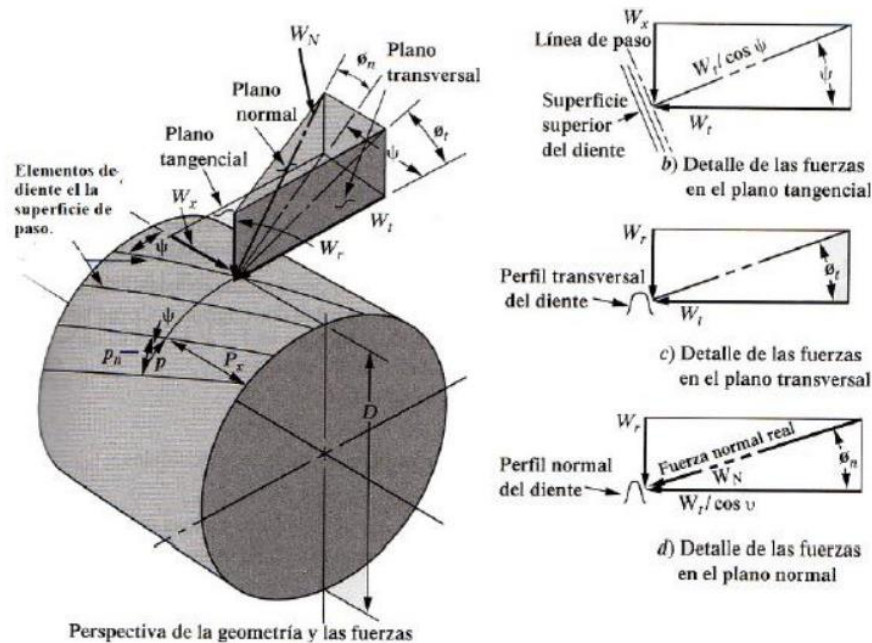


Figura 61: Perspectiva de las fuerzas en un engranaje helicoidal [8]

La figura anterior muestra las fuerzas que se generan en el diente de un engranaje helicoidal. Se distinguen las relaciones geométricas de las fuerzas con los ángulos que las definen. En el gráfico se denominan  $W_t, W_r, W_x$  a las fuerzas tangencial, radial y axial respectivamente. En este anexo, esta denominación se ha modificado, adoptando las  $F_t, F_r$  y  $F_x$ .

### 2.1 La fuerza tangencial.

Está directamente relacionada con el ángulo de presión transversal. Se puede calcular también mediante la potencia y la velocidad en la periferia de la fresa. Quedan por tanto esta fuerza y las siguientes, como magnitudes dependientes de los parámetros del motor y de la propia herramienta.

$$F_t = \frac{P}{V}$$

### 2.2 La fuerza radial.

Viene dada por el ángulo de corte o incidencia de la fresa. Para estas medidas, el fabricante IZAR Tools, se basa en la Norma DIN-884N “Medidas para Fresas Cilíndricas”.

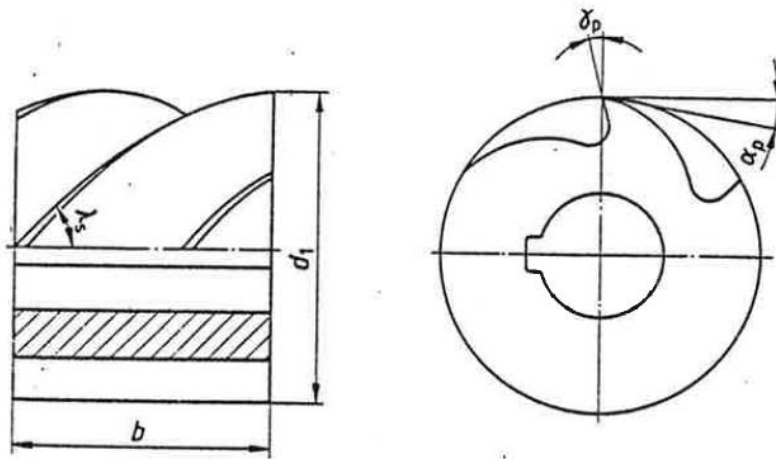


Figura 62: Dimensiones y ángulos representativos de las fresas con agujero [1]

Dentro de la norma se encuentran las dimensiones generales y las magnitudes de los ángulos más característicos de una fresa con agujero. Se comprueba en la figura 61 superior la distribución de los ángulos de corte, física y numéricamente determinantes a la hora de calcular las fuerzas. Sus valores se pueden estimar en la siguiente tabla.

Tabla 12: Valores de los ángulos de corte en las fresas con agujero [1]

d <sub>1</sub>	Grupo de empleo de herramientas							
	z	N Geometría de los cortes			z	W Geometría de los cortes		
		α <sub>p</sub>	γ <sub>p</sub>	λ <sub>s</sub>		α <sub>p</sub>	γ <sub>p</sub>	λ <sub>s</sub>
50	6 hasta 8	10 hasta 6°	10 hasta 15°	30 hasta 40°	4 hasta 8	16 hasta 12°	22 hasta 28°	35 hasta 45°
63					6 hasta 8			
80	8 hasta 10				6 hasta 8			
100	10 hasta 12				6 hasta 8			



Concretamente, se tienen dos ángulos de corte en la fresa Lateral con Agujero utilizada en la trituradora:

$$\gamma_p = 10^\circ \quad \alpha = 6^\circ$$

De los anteriores, se elige  $\alpha = 6^\circ$  porque es el ángulo que está en mismo plano que la fuerza tangencial, y que por tanto, define la fuerza radial. Esta magnitud, se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$F_r = W_t \cdot \text{tang } \phi_t$$

### 2.3 La fuerza axial.

En este caso, existe fuerza axial por el tipo de sesgo de los dientes, que al igual que los engranajes helicoidales, no es recto. Viene dada por el grado de su ángulo de rayado o hélice.

$$F_x = W_t \cdot \text{tang } \psi_r$$

Según los datos aportados por el fabricante, acordes a la referencia inferior, el ángulo de rayado para la fresa a utilizar es de  $30^\circ$ .

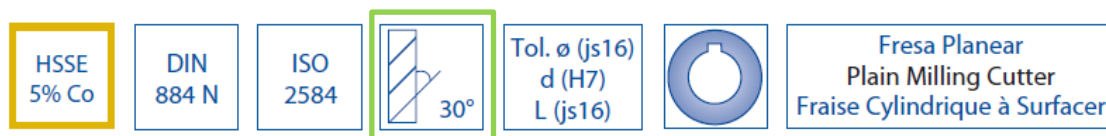


Figura 63: Referencias de la fresa [19]

De las tres fuerzas anteriores, la de mayor importancia corresponde a la tangencial, pues es la mayor, y la encargada de desbastar el material plástico contra las paredes laterales de la máquina.

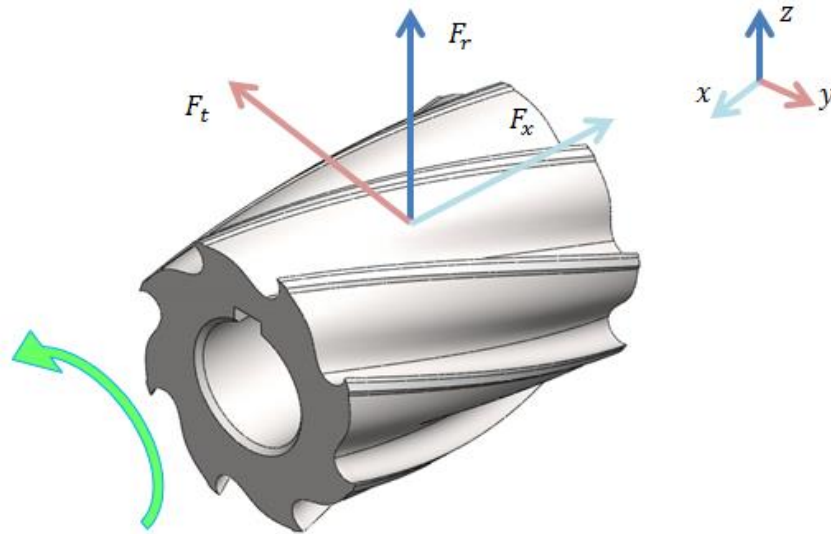


Figura 64: Fuerzas presentes en la fresa [Fuente propia]

La dirección de las fuerzas viene determinada por el eje de coordenadas al que están asociadas, mientras que su sentido depende de dos factores: el giro y el sesgado de los dientes. Hay que tener en cuenta que la figura anterior muestra una la distribución de las fuerzas en un punto determinado de la superficie de la fresa. Para otro punto, estas magnitudes varían.

## 2.4. Resultados

Para determinar los valores de las fuerzas, se han sustituido los parámetros característicos (potencia y velocidad de giro) de una serie de motores eléctricos, en las ecuaciones anteriormente planteadas. Concretamente estos parámetros se han obtenido de un catálogo de motores eléctricos Bosch para aplicaciones industriales. Se debe tener en cuenta que estos motores fueron proyectados originalmente para ser usados en la industria automovilística.

Se ha utilizado este catálogo con el propósito de encontrar motores de reducidas dimensiones, baja potencia y cuyo valor de fuerza tangencial estuviese dentro del rango admisible. De la información obtenida en este catálogo y la aplicación de las ecuaciones de fuerza, aparecen las tablas siguientes.

Tabla 13: Fuerzas producidas por motores eléctricos Bosch [Fuente propia]

$P$ (W)	rpm	$M_t$ (Nm)	$M_f$ (Nm)	$F_t$ (N)	$F_r$ (N)	$F_x$ (N)
55	4350	0,12	0,58	4,83	0,42	2,79
134	3400	0,38	1,81	15,05	1,32	8,69
70	3600	0,19	0,89	7,43	0,65	4,29
142	6800	0,20	0,96	7,98	0,70	4,61
100	3000	0,32	1,53	12,73	1,11	7,35
100	2700	0,35	1,70	14,15	1,24	8,17
35	2800	0,12	0,57	4,77	0,42	2,76
210	2655	0,76	3,63	30,21	2,64	17,44
240	3025	0,76	3,64	30,31	2,65	17,50
175	2200	0,76	3,65	30,38	2,66	17,54
245	3115	0,75	3,61	30,04	2,63	17,35
750	3300	2,17	10,42	86,81	7,60	50,12
750	3250	2,20	10,58	88,15	7,71	50,89
300	2800	1,0	4,91	40,93	3,58	23,63

En este mismo catálogo coexisten diferentes motores eléctricos, en los que varía la potencia, las revoluciones por minuto y el voltaje, entre otros. Esto ha permitido obtener rangos de fuerzas diferentes y disponer de más información con la que poder valorar la mejor elección. Así pues, se configura una tabla de valores para los motores eléctricos de la marca Bosch con reductor.

Tabla 14: Fuerzas generadas por motores con reductor Bosch [Fuente propia]

Potencia (W)	rpm	M torsor (Nm)	F tangencial (N)	F Radial (N)	F Axial (N)
5,50	28,00	1,88	75,03	4,50	43,32
6,50	42,00	1,48	59,11	3,55	34,13
12,00	38,00	3,02	120,62	7,24	69,64
6,00	35,00	1,64	65,48	3,93	37,81
22,00	250,00	0,84	33,61	2,02	19,41
24,00	26,00	8,81	352,59	21,16	203,57
28,00	43,00	6,22	248,73	14,92	143,60
57,00	75,00	7,26	290,30	17,42	167,60
13,00	28,00	4,43	177,34	10,64	102,39

20,00	40,00	4,77	190,99	11,46	110,27
46,00	45,00	9,76	390,46	23,43	225,43
50,00	28,00	17,05	682,09	40,93	393,81
67,00	75,00	8,53	341,23	20,47	197,01
4,00	38,00	1,01	40,21	2,41	23,21
11,10	106,00	1,00	40,00	2,40	23,09
8,90	85,00	1,00	39,99	2,40	23,09
11,60	110,50	1,00	40,10	2,41	23,15

Las filas destacadas corresponden a posibles candidatos, por ser los que mayor fuerza tangencial presentan. El primero de ellos, al tener una menor potencia y fuerza tangencial que el último, se descarta. El segundo, a pesar de tener una fuerza tangencial superior, tiene una velocidad de giro demasiado baja y puede no ser del todo favorable a la hora de triturar las piezas.

Así pues, los valores de fuerzas finalmente escogidos para los posteriores estudios son:

$$F_t = 341,23 \text{ N}$$

$$F_r = 35,86 \text{ N}$$

$$F_x = 197,01 \text{ N}$$

El motor que produce las componentes anteriores, también influenciadas por la utilización de la herramienta de corte, tiene las consecuentes características:

<b>24 V 67 W</b>	
$U_N$	24 V
$P_N$	67 W
$n_N$	75 rpm
$I_N$	10 A
$I_{max}$	42 A
$M_N$	10 Nm
$M_A$	70 Nm
$i$	80 : 2
Rot.	L / R
S	S1
IP	IP 33
kg	2,900 kg
Ⓢ	0 390 442 410

Figura 65: Características generales del motor eléctrico [43]

Con este motor se estudiarán los esfuerzos producidos en el eje y se comprobará que cumple con los requisitos mínimos. Tanto los resultados del mecanizado y como los estudios de SolidWorks se han realizado con los datos de potencia y velocidad de giro de este motor. La utilización de motores de mayor capacidad no se recoge en estos últimos estudios.

Por otra parte, volviendo a las cuestiones de esfuerzos, hay que tener en cuenta la aparición de una fuerza resultante entre la componente tangencial y la radial. Esta fuerza podría ser importante en el corte, porque es la que actúa directamente sobre las estructuras de la máquina. En principio, su magnitud no se alejaría demasiado de la obtenida para la fuerza tangencial, porque el valor de la fuerza radial es bastante inferior al de la fuerza tangencial. Aun así, se realiza la comprobación.

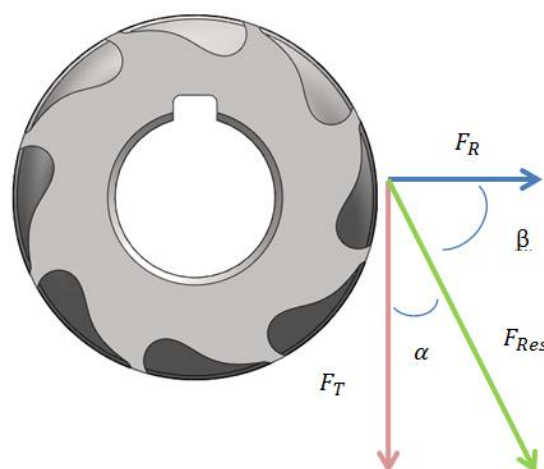


Figura 66: Fuerza resultante de corte [Fuente propia]

Esta fuerza es el producto de las dos magnitudes y queda determinada por sus respectivos valores e indirectamente, por los ángulos que las definen. A pesar de no disponer de este valor, se puede conocer su magnitud, a través de la tangente de cualquiera de los dos ángulos ( $\alpha$  o  $\beta$ ).

$$\text{tang } \alpha = \frac{F_R}{F_t}$$

$$\alpha = \text{tang}^{-1}\left(\frac{F_R}{F_t}\right)$$

Sustituyendo los valores correspondientes de fuerzas:

$$\alpha = \text{tang}^{-1}\left(\frac{30N}{342N}\right) = 5^\circ$$

Por lo que la fuerza resultante quedaría:

$$F_{Res} = \frac{F_R}{\text{sen}(5^\circ)} = \frac{30N}{\text{sen}(5^\circ)}$$

$$F_{Res} = 344 N$$

### 3. DIAGRAMAS DE MOMENTO FLECTOR

Con las fuerzas anteriormente calculadas, se obtendrán los diagramas de momento flector, torsor y cortante. Sus valores tendrán una gran importancia pues se utilizarán para obtener el diámetro mínimo del eje y verificar la resistencia frente a cargas del rodamiento. Se ha despreciado el peso propio del eje y de la herramienta de corte en los cálculos.

El diagrama de sólido libre para el eje quedaría:

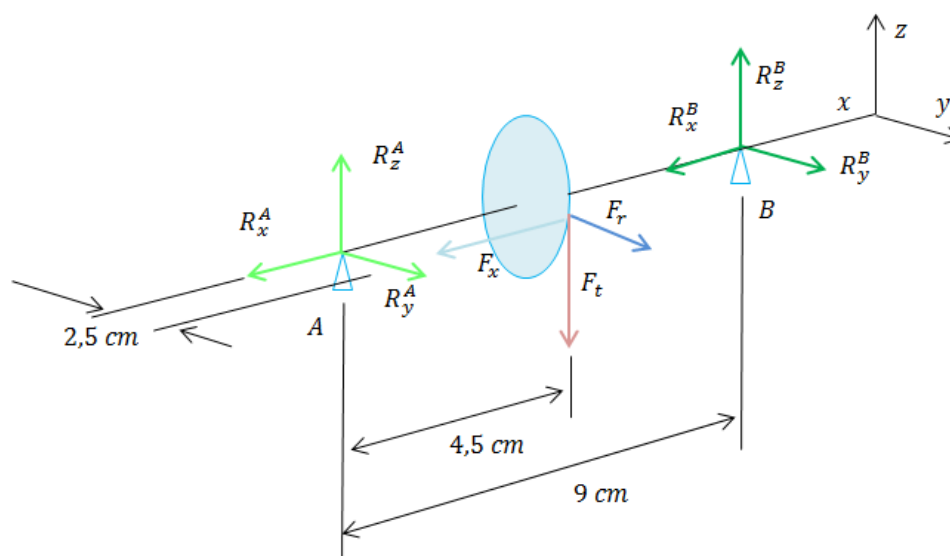


Figura 67: Diagrama de sólido libre del eje de transmisión [Fuente propia]

Siendo

- $F_t$  la fuerza tangencial = 341,23 N (34 Kgf)
- $F_r$  la fuerza radial = 35,86 N (3,6 Kgf)
- $F_x$  la fuerza axial = 197,01 N (19 Kgf)
- $R_x^A, R_y^A, R_z^A$  las fuerzas en el apoyo A (Rodamiento A)
- $R_x^B, R_y^B, R_z^B$  las fuerzas en el apoyo B (Rodamiento B)

Así pues, para cada plano, las respectivas fuerzas se dividirían de la siguiente forma.

PLANO XZ

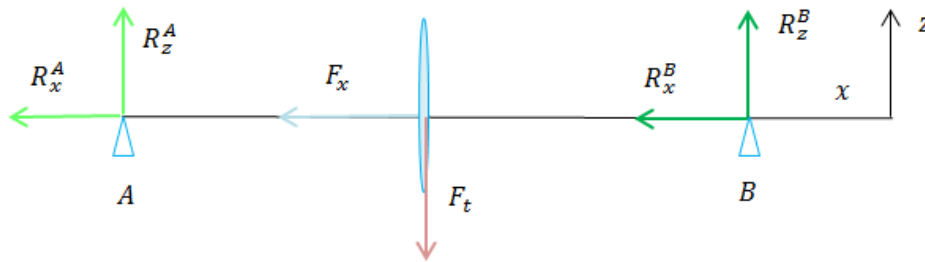


Figura 68: Diagrama de sólido libre del eje de transmisión (Plano XZ) [Fuente propia]

El criterio empleado para el convenio de signos será  $\frac{+}{-}$  para tracción y compresión de las fibras.

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0; & -R_x^A - R_x^B - F_x &= 0 \\ \sum F_z &= 0; & R_z^A + R_z^B - F_t &= 0 \\ \sum M_A &= 0; & F_t \cdot 4,5 \text{ cm} - R_z^B \cdot 9 \text{ cm} &= 0 \\ & & 34 \text{ kgf} \cdot 4,5 \text{ cm} - R_z^B \cdot 9 \text{ cm} &= 0 \\ & & R_z^B &= 17 \text{ Kgf} \quad (170 \text{ N}) \end{aligned}$$

Que sustituimos en  $\sum F_z = 0$

$$\begin{aligned} R_z^A + 17 \text{ Kgf} - 34 \text{ Kgf} &= 0 \\ R_z^A &= 17 \text{ Kgf} \quad (170 \text{ N}) \end{aligned}$$

Para este conjunto no hubiese hecho falta calcular las reacciones  $R_z^A, R_z^B$  porque nos encontramos ante una distribución de cargas simétricas. El sistema debe de estar en equilibrio y al ser simétrico, los apoyos, en esta dimensión (Z) tendrán las mismas magnitudes.

PLANO XY



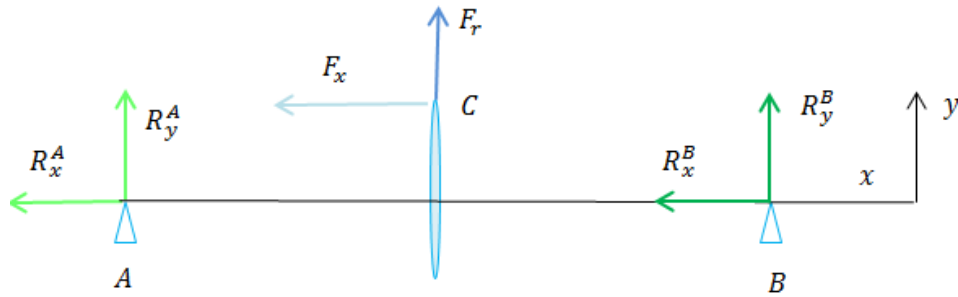


Figura 69: Diagrama de sólido libre del eje de transmisión (Plano XY) [Fuente propia]

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0; & -R_x^A - R_x^B - F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0; & R_y^A + R_y^B + F_r &= 0 \\ \sum M_A &= 0; & -F_x \cdot 2,5 \text{ cm} - F_r \cdot 4 \text{ cm} - R_y^B \cdot 9 &= 0 \\ & & -19 \cdot 2,5 \text{ cm} - 3,6 \cdot 4 \text{ cm} - R_y^B \cdot 9 &= 0 \\ & & R_y^B &= -6,88 \text{ Kgf} \quad (70 \text{ N}) \end{aligned}$$

Que se sustituye en  $\sum F_y = 0$

$$\begin{aligned} R_y^A - 7 \text{ Kgf} + 3,6 \text{ Kgf} &= 0 \\ R_y^A &= 3,4 \text{ Kgf} \end{aligned}$$

Para calcular y comprobar el valor de las reacciones en x se utilizará el sumatorio de momentos en el punto (C) de aplicación de las fuerzas: tangencial, radial y axial.

$$\begin{aligned} \sum M_C &= 0; & -R_x^A \cdot 2,5 \text{ cm} - R_y^A \cdot 4,5 \text{ cm} - R_x^B \cdot 2,5 \text{ cm} - R_y^B \cdot 4,5 \text{ cm} &= 0 \\ & & -R_x^A \cdot 2,5 \text{ cm} - 3,4 \text{ Kgf} \cdot 4,5 \text{ cm} - R_x^B \cdot 2,5 \text{ cm} - (-7) \text{ Kgf} \cdot 4,5 \text{ cm} &= 0 \\ & & -R_x^A \cdot 2,5 \text{ cm} - 15,3 \text{ Kgf} \cdot \text{cm} - R_x^B \cdot 2,5 \text{ cm} + 31,5 \text{ Kgf} \cdot \text{cm} &= 0 \end{aligned}$$

$$-R_x^A \cdot 2,5 \text{ cm} - R_x^B \cdot 2,5 \text{ cm} + 16,2 \text{ Kgf} \cdot \text{cm} = 0$$

$$R_x^A = \frac{16,2 \text{ Kgf} \cdot \text{cm} - R_x^B \cdot 2,5 \text{ cm}}{2,5 \text{ cm}}$$

$$R_x^A = 6,48 \text{ Kgf} - R_x^B$$

Sustituyendo este valor en el sumatorio de  $\sum F_x = 0$ :

$$R_x^A + R_x^B + F_x = 0$$

$$6,48 \text{ Kgf} - R_x^B - R_x^B - F_x = 0$$

$$6,48 \text{ Kgf} - R_x^B - R_x^B - 19 \text{ Kgf} = 0$$

$$R_x^B = -6,26 \text{ Kgf}$$

Y la otra componente.

$$R_x^A = 6,48 \text{ Kgf} - (-6,26 \text{ Kgf})$$

$$R_x^A = 12,74 \text{ Kgf}$$

PLANO XZ

Se presentan de izquierda a derecha.

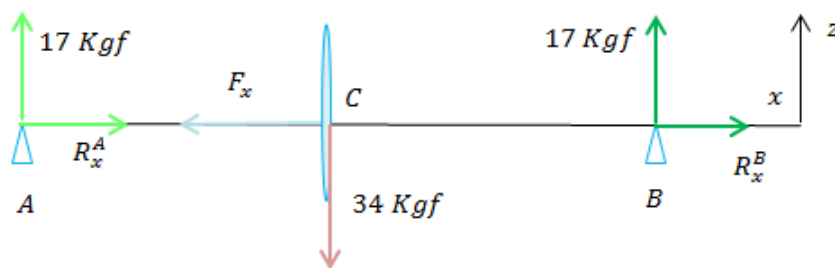


Figura 70: Diagrama de sólido libre eje transmisión (Plano XY con fuerzas calculadas) [Fuente propia]

$$M_A = 0$$

$$M_C = 34 \text{ Kgf} \cdot 4,5 \text{ cm} = 153 \text{ Kgf} \cdot \text{cm}$$

$$M_B = 34 \text{ Kgf} \cdot 4,5 \text{ cm} - 17 \text{ Kgf} \cdot 9 \text{ cm} = 0$$

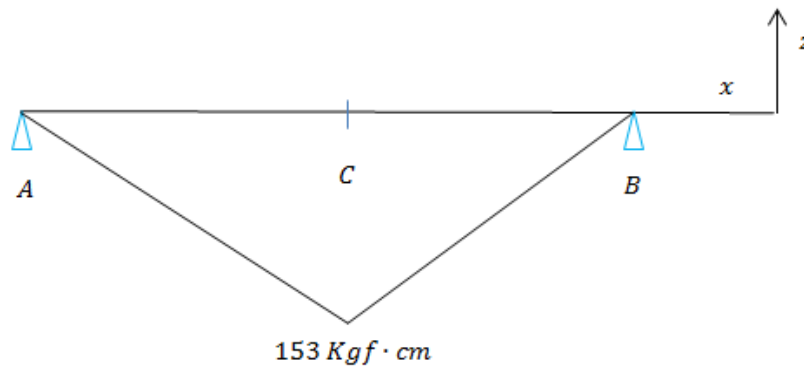


Figura 71: Diagrama de momento flector del eje de transmisión (Plano XZ) [Fuente propia]

PLANO XY

De derecha a izquierda.

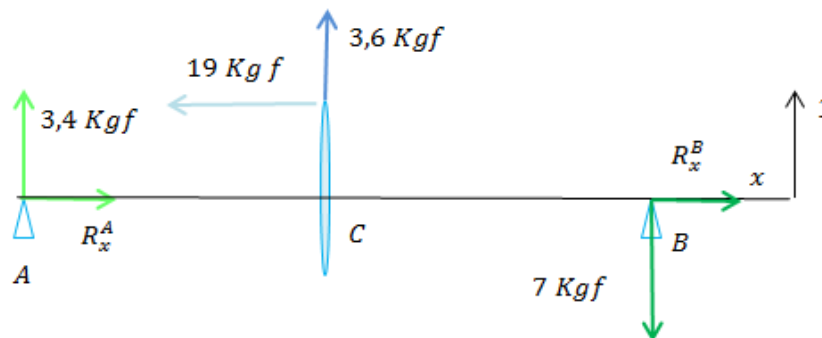


Figura 71: Diagrama de momento flector del eje de transmisión (Plano XZ) [Fuente propia]

$$M_A = 0$$

$$M_C = 7 \text{ Kgf} \cdot 4,5 \text{ cm} = 31,5 \text{ Kgf} \cdot \text{cm}$$

$$M_B = 7 \text{ Kgf} \cdot 9 \text{ cm} - 19 \text{ Kgf} \cdot 2,5 \text{ cm} - 3,6 \text{ Kgf} \cdot 4,5 \text{ cm} = 0$$

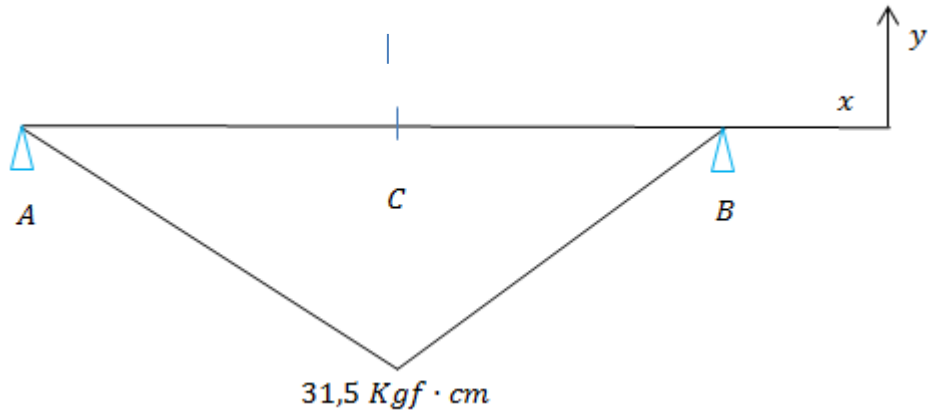


Figura 73: Diagrama de momento flector del eje de transmisión (Plano XY) [Fuente propia]

#### 4. DIÁMETRO MÍNIMO DEL EJE

Para realizar esta comprobación y admitir las dimensiones del eje, se han tomado varios criterios, que tienen en cuenta diferentes acciones: torsional, a flexión, a flexión y torsión combinadas y a fatiga. Para ello, se han realizado diversos cálculos y comprobaciones mediante el libro "Cálculo y diseño de Máquinas, R. Mott" [8], "Elementos de Máquinas G.Niemman" [9] y diversos apuntes de la asignatura "Resistencia de Materiales I" [13]. Dentro de estos cálculos se han hecho varias consideraciones. En primer lugar, se utiliza el momento flector máximo producido en el eje por la fuerza tangencial.

Datos:

1.  $P = \text{Potencia}$
2.  $n = n^{\circ} \text{ de vueltas}$
3.  $\zeta_{\text{adm}} = 760 \text{ kgf/cm}^2$
4.  $\sigma_{\text{adm}} = 1400 \text{ kgf}$

Ecuaciones:

En primer lugar se tienen las ecuaciones de potencia.

$$P = F \cdot \frac{d}{t} = F \cdot V \quad (4)$$

$$P = M_t \cdot n \quad (5)$$

##### 4.1 Comprobación frente a momento Torsor.

Para comprobar si el eje que está sometido a esfuerzos podrá soportar las cargas generadas por el triturado de las piezas, se ha empleado definición de la tensión admisible del acero.

$$\zeta_{adm} = \frac{M_t}{I_p} \quad (6)$$

Donde la inercia polar queda definida como:

$$I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32} \quad (6.1)$$

Por tanto, teniendo la tensión admisible del acero y despejando el momento torsor de la ecuación (5), se puede obtener el diámetro mínimo del eje. Concretamente, para obtener el momento torsor es necesario conocer la potencia del motor y su velocidad angular.

$$M_t = \frac{P}{n} \quad [Kgf \cdot cm]$$

Normalmente, la velocidad angular viene dado en revoluciones por minuto, así que para calcularlo, se debe tener en cuenta el cambio de unidades al SI, pasando las rpm a rad/s.

$$V_{ang} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (7)$$

Luego, una vez que se tiene la velocidad angular en unidades del S.I, se calcula el momento torsor y se emplea la ecuación (6), en la que se opera para despejar el diámetro mínimo del eje.

$$\zeta_{adm} = \frac{M_t}{\frac{\pi \cdot d^4}{32}} \cdot \frac{d}{2} \quad \left[ \frac{Kgf}{cm^2} \right]$$

Que simplificando queda:

$$\zeta_{adm} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d^3} \quad \left[ \frac{Kgf}{cm^2} \right]$$

Y despejando el diámetro:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot \zeta_{adm}}} \quad [cm] \quad (8)$$

#### 4.2 Comprobación frente a momento Flector.

Para el cálculo del diámetro mínimo del eje frente a esfuerzos flexionantes, se debe realizar prácticamente el mismo proceso que en el dimensionado a torsión. En este caso, se debe tener en cuenta que la tensión admisible, el momento y la inercia cambian. En especial, el momento flector es el planteado en los diagramas de momento de la sección anterior.

$$M_f = \frac{0,09}{2} \cdot F_t$$

Donde

- $F_t$  es la fuerza tangencial producida por el motor [N·m]
- 0,09 es la distancia entre los apoyos rodamientos [m]

Hay que tener en cuenta, que se ha utilizado para el cálculo del diámetro mínimo, el momento flector mayor de los presentes en el eje, aquel producido por la fuerza tangencial.

La expresión quedaría:

$$\sigma_{adm} = \frac{M_f}{\frac{\pi \cdot d^4}{64}} \cdot \frac{d}{2} \quad \left[ \frac{Kgf}{cm^2} \right]$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_f}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} \quad \left[ \frac{Kgf}{cm^2} \right]$$

En la que se distinguen:

- $M_f$  momento flector producido por la fuerza tangencial [Kgf · cm]

- $d$  diámetro mínimo del eje sometido a flexión.
- $\sigma_{adm}$  la tensión admisible del material, en este caso acero [ $Kgf/cm^2$ ]

Al igual que sucedía anteriormente, se opera en la expresión hasta despejar el diámetro:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_f}{\pi \cdot \sigma_{adm}}} \quad [cm] \quad (9)$$

## NIEMMAN

Se ha tenido en cuenta para este caso, otro criterio planteado por G.Niemman, cuya expresión que define la dimensión mínima del eje es:

$$d \geq 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_f}{\sigma_{adm}}} \quad [cm] \quad (10)$$

En la que intervienen los mismos factores que en la utilizada anteriormente.

### 4.3 Comprobación Momento Torsor y flector combinados.

La combinación de momentos flectores y torsores adquiere una gran importancia. Su fórmula característica es la siguiente:

$$\sigma_{adm} \geq \frac{1}{d^3} \cdot \sqrt{\left(\frac{M_f}{w_f}\right)^2 + \left(\frac{M_t}{w_p}\right)^2} \quad (11)$$

En la que  $w_f$  y  $w_p$  se definen como:



$$w_f = \frac{I_p}{\frac{d}{2}} = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = 0,2 \cdot d^3 \quad (11.1)$$

$$w_p = \frac{I_f}{\frac{d}{2}} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = 0,1 \cdot d^3 \quad (11.2)$$

Así pues, sustituyendo estos valores en la ecuación principal y operando para sacar el diámetro de la raíz, nos queda:

$$\sigma_{adm} \geq \frac{1}{d^3} \cdot \sqrt{\left(\frac{M_f}{0,1}\right)^2 + \left(\frac{M_t}{0,2}\right)^2}$$

Y despejando el diámetro:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{1}{\sigma_{adm}} \cdot \sqrt{\left(\frac{M_f}{0,1}\right)^2 + \left(\frac{M_t}{0,2}\right)^2}}$$

## NIEMAN

La fórmula que se utiliza en el libro de cálculo y diseño de máquinas G.Niemman, es diferente, en primera instancia, a la superior. En primer lugar, se define un momento combinado entre el momento flector y el torsor, que posteriormente se sustituirá para despejar el diámetro mínimo.

$$M_c = \sqrt{(M_f)^2 + \left(\frac{a}{2} \cdot M_t\right)^2} \quad (12)$$

Donde "a" proviene de la siguiente ecuación.

$$a = \frac{\sigma_{f adm}}{\zeta_{adm}} \quad (12.1)$$

Resultando

$a \approx 1$	<i>para <math>\zeta_t</math> y <math>\sigma_f</math> pulsatoria</i>
$a \cdot 1,7$	<i>para <math>\zeta_t</math> y <math>\zeta_f</math> alternativa</i>

Del cual, se ha empleado el más restrictivo:  $a \cdot 1,7$ .

Luego, el valor del momento combinado se utiliza para obtener el diámetro.

$$d \geq 2,17 \cdot \sqrt[3]{b \cdot \frac{M_c}{\sigma_{fadm}}} \quad [cm] \quad (13)$$

Donde hay que definir también la variable "b".

$b = 1$	<i>para árbol macizo</i>
$b = \frac{1}{-(d_i \cdot d)^4}$	<i>para árbol hueco</i>
$b = 1,065$	<i>para <math>d_i \cdot d = 0,5</math></i>

#### 4.4 Resultados.

Al igual que se ha realizado para el cálculo de las fuerzas, en el diámetro mínimo del eje, se han tomado datos de potencia y revoluciones por minuto para configurar tablas de valores con los datos resultantes de las tres consideraciones. La primera tabla, que se presenta, muestra los rangos de potencia y rpm del mismo catálogo de motores eléctricos Bosch. Para comprobar si el eje soportará las cargas basta con comprobar si la magnitud del diámetro mínimo para cualquiera de los tres criterios supera el valor real (22mm).

Tabla 15: Diámetros mínimos del eje para los motores eléctricos [Fuente propia]

Potencia	rpm	$M_t$ (Nm)	$M_f$ (Nm)	$d_{m\ torsor}$ (mm)	$d_{m\ flector}$ (mm)	$d_{m\ comb}$ (mm)
55	4350	0,12	0,22	2,01	1,98	2,17
134	3400	0,38	0,68	2,93	2,89	3,17
70	3600	0,19	0,33	2,32	2,29	2,50
142	6800	0,20	0,36	2,37	2,34	2,56
100	3000	0,32	0,57	2,77	2,74	2,99
100	2700	0,35	0,64	2,87	2,83	3,10
35	2800	0,12	0,21	2,00	1,97	2,16
210	2655	0,76	1,36	3,70	3,65	3,99
240	3025	0,76	1,36	3,70	3,65	4,00
175	2200	0,76	1,37	3,71	3,66	4,00
245	3115	0,75	1,35	3,69	3,64	3,98
750	3300	2,17	3,91	5,26	5,19	5,68
750	3250	2,20	3,97	5,29	5,21	5,70
300	2800	1,02	1,84	4,09	4,04	4,42

En el mismo catálogo coexisten motores con reductores, entre los cuales se presenta el escogido en la sección de cálculo de fuerzas.

Tabla 16: Diámetros mínimos del eje para motores eléctricos con reductor [Fuente propia]

Potencia	rpm	$M_t$ (Nm)	$M_f$ (Nm)	$d_{m\ torsor}$ (mm)	$d_{m\ flector}$ (mm)	$d_{m\ comb}$ (mm)
5,50	28,00	1,88	3,38	5,01	4,94	5,41
6,50	42,00	1,48	2,66	4,63	4,56	4,99
12,00	38,00	3,02	5,43	5,87	5,79	6,33
6,00	35,00	1,64	2,95	4,79	4,72	5,17
22,00	250,00	0,84	1,51	3,83	3,78	4,14
24,00	26,00	8,81	15,87	8,39	8,28	9,06
28,00	43,00	6,22	11,19	7,47	7,37	8,06
57,00	75,00	7,26	13,06	7,86	7,76	8,49
13,00	28,00	4,43	7,98	6,67	6,58	7,20
20,00	40,00	4,77	8,59	6,84	6,75	7,38
46,00	45,00	9,76	17,57	8,68	8,56	9,37
50,00	28,00	17,05	30,69	10,45	10,31	11,28
67,00	75,00	8,53	15,36	8,30	8,19	8,96
4,00	38,00	1,01	1,81	4,07	4,01	4,39
11,10	106,00	1,00	1,80	4,06	4,01	4,38
8,90	85,00	1,00	1,80	4,06	4,01	4,38
11,60	110,50	1,00	1,80	4,07	4,01	4,39

## 5. OPERACIONES DE MECANIZADO

Este apartado del anexo de cálculos agrupa todos los conceptos, parámetros y procesos característicos del corte por desbaste que sirven de soporte al modelo final. Hay que considerar la importante variación entre el mecanizado común y el utilizado por la trituradora (dureza y solidez de los materiales a mecanizar, disposición de las herramientas de corte, velocidades, etc.). Se han utilizado para configurar los siguientes apartados, las referencias [20] [21] [22] [23].

### 5.1 Introducción a los parámetros de corte

En los trabajos de mecanizado en general, son varios los factores que se deben en cuenta a la hora de seleccionar y establecer unos parámetros de corte adecuados. Esto es importante porque son los que permiten obtener resultados satisfactorios en los procesos.

De forma general, en el mecanizado hay cuatro elementos principales que determinan el proceso y que influyen directamente en la selección y aplicación de los parámetros de corte.

- El material a trabajar. En el caso del presente trabajo, se trata de estimar un mecanizado con materiales plásticos, concretamente PLA. Su dureza determinará el tipo de viruta, la potencia requerida, etc.
- Las herramientas. Se empleará una fresa de corte lateral con agujero de dimensiones normalizadas. En general, para las herramientas de corte, se suele escoger su geometría y composición atendiendo al del tipo del material a mecanizar, las operaciones a realizar y el acabado superficial esperado, entre otros.
- La propia máquina. Referente a las características de la máquina herramienta (capacidad, potencia, dimensiones, robustez, avances máximos etc.)

- El refrigerante. Se utilizan en un gran número de mecanizados, para enfriar la parte activa de la herramienta y aumentar así su vida útil. Este último elemento quedaría relegado puesto que durante el funcionamiento de la máquina no se contempla la aplicación de refrigerante.

Los parámetros de corte principales están directamente relacionados con los diferentes movimientos que se dan en el mecanizado:

- La velocidad de corte – movimiento de corte. Este parámetro coincide con el giro transmitido por el motor eléctrico, que se transmite a la herramienta de corte. Precisamente, se refiere la velocidad de corte en la superficie de la herramienta.
- El avance – movimiento de avance. Como la trituradora a diseñar no es una fresadora, el movimiento de avance queda como orientativo y se establecería como el movimiento de introducción de material en la máquina.
- La profundidad de la pasada – movimiento de penetración. En este caso viene determinado por el espesor de la pieza y la profundidad de corte de la herramienta.

## 5.2 Mecanizado con materiales plásticos

El mecanizado por arranque de viruta para piezas de plástico, es otro de los procesos de manufactura y producción de piezas funcionales, dimensionalmente estables y de larga vida útil. El término general "Mecanizado de plásticos" sugiere que todos los plásticos pueden mecanizarse con los mismos parámetros y herramientas. Sin embargo, al igual que los metales, en los plásticos se diferencian distintos grupos de materiales según sus propiedades durante el proceso.

Comparado con los metales, los plásticos presentan numerosas ventajas aunque también algunas limitaciones. Por norma, se recomienda utilizar plástico en aquellas aplicaciones en las cuales se exige una relación favorable entre peso y resistencia mecánica.

### Herramientas:

Para el proceso de mecanizado de productos semielaborados plásticos se puede utilizar maquinaria típica para mecanizar madera y metal con herramientas de acero rápido (HSS). Las herramientas con un ángulo de corte típico para aluminio son las adecuadas, aunque existen herramientas especiales para plástico con un ángulo muy pronunciado. Las herramientas de acero templado no se deberían utilizar en plásticos reforzados con fibras debido a los cortos tiempos de espera y al elevado tiempo de trabajo (problemas de evacuación de calor).

### **5.3 Método de fresado.**

En el fresado se produce un arranque progresivo de material mediante la combinación de los movimientos citados anteriormente. La herramienta de corte gira mientras la pieza a trabajar, avanza linealmente contra ella. En algunos casos, la pieza a trabajar es la que permanece fija, siendo la herramienta la que se mueve. Esta variación depende del tipo de máquina que se esté utilizando (bancada fija o móvil), y por ello en algunos casos los movimientos los tendrá la herramienta y en otros la pieza. Para la trituradora de plásticos se ha estimado la fijación de la herramienta y el movimiento de la pieza.

También, hay otros factores que intervienen y que están directamente relacionados con los parámetros de corte principales:

- La fuerza de corte
- La potencia de corte
- La sección de viruta
- La duración del filo de la herramienta
- Los acabados superficiales

Se puede decir, que al igual que en otros procedimientos de mecanizado, los movimientos de trabajo se descomponen en los anteriormente citados (movimiento de corte  $M_c$ , movimiento de avance  $M_a$  y movimiento de penetración  $M_p$ ) y que en el caso específico del fresado, pueden identificarse de diferentes formas atendiendo al tipo de fresado que se esté realizando.

Hay que tener en cuenta que el fresado es un procedimiento de mecanizado extremadamente versátil y por ello se puede realizar una primera clasificación de las operaciones elementales, atendiendo a la posición del eje de fresado respecto a la superficie a fresar. Así podemos diferenciar:

- El fresado frontal: cuando el eje de rotación de la fresa queda perpendicular respecto a la superficie mecanizada.

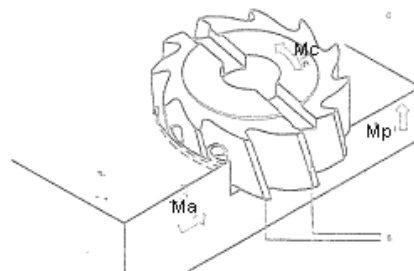


Figura 74: Fresado frontal [22]

- El fresado periférico: cuando el eje de rotación de la fresa queda paralelo a la superficie mecanizada.

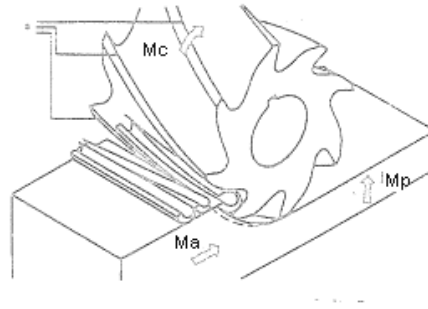


Figura 75: Fresado periférico [22]

### 5.3.1 Movimientos característicos del fresado.

En el mecanizado mediante fresadora existen diversos movimientos asociados a ciertos elementos o método utilizados (como la geometría de herramienta, los materiales empleados, el método de corte, etc.) que definen el resultado de la operación. Estos movimientos son el de corte, el de avance y el de penetración y se explican a continuación.

El **movimiento de corte** ( $M_c$ ) es el movimiento relativo existente entre la pieza y la herramienta. Es el encargado de realizar el esfuerzo necesario para que se produzca el arranque de viruta. Además, es el que define la velocidad con que se realizará el corte. En el fresado el movimiento de corte es circular y lo posee la herramienta al girar sobre su eje.

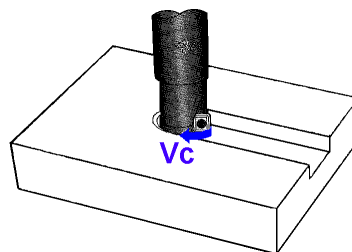


Figura 76: Movimiento de corte en el fresado [22]



El movimiento de corte tiene una velocidad asociada, a la que se denomina Velocidad de Corte  $V_c$ , y es la velocidad lineal con la cual los filos de corte de la herramienta se desplazan a lo largo de la pieza, midiéndose en metros por minuto (m/min).

La velocidad de corte está directamente relacionada con la velocidad de giro de la pieza, y con el diámetro de la herramienta de corte. Así la velocidad de corte se define como:

$$V_c = D \cdot \pi \cdot n$$

Aunque si se quiere introducir el valor del diámetro directamente en milímetros:

$$V_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000}$$

Donde,

- $V_c =$  velocidad de corte [m/min]
- $D =$  diámetro de la herramienta [mm]
- $n =$  velocidad de giro [rpm]

La velocidad de corte a aplicar en un mecanizado depende principalmente del material de la pieza a trabajar, material del filo de la herramienta, del refrigerante, tipo de operación y los otros dos parámetros de corte principales, la profundidad de pasada y el avance. Para la trituradora, estimamos la velocidad de corte como la velocidad producida por el motor eléctrico.

$$V_c = \frac{50 \text{ mm} \cdot \pi \cdot 75 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}{1000}$$

$$V_c = 11,78 \text{ m/min}$$

El **movimiento de avance** ( $M_a$ ), es el movimiento mediante el cual se pone bajo la acción de la herramienta nuevo material a separar. Este movimiento es generalmente rectilíneo y en el fresado lo puede tener la pieza o la herramienta, dependiendo del tipo de máquina que se esté utilizando. En nuestro caso, el movimiento de avance lo tiene la pieza.

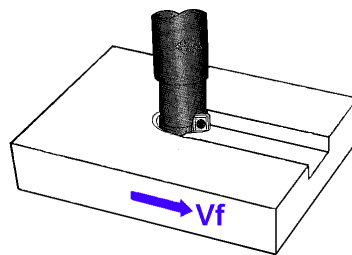


Figura 77: Movimiento de avance en el fresado [22]

El movimiento de avance tiene una velocidad característica que indica la distancia recorrida por el número de dientes o revoluciones de la herramienta. Esta magnitud se conoce como velocidad de avance ( $V_f$ ) y se expresa generalmente en milímetros por minuto ( $V_f = \text{mm/min}$ ). Aunque en ocasiones, puede darse en milímetros por diente ( $f_z = \text{mm/z}$ ), o milímetros por vuelta ( $f_n = \text{mm/v}$ ).

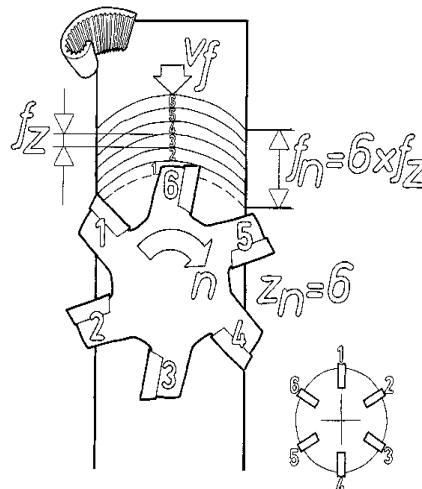


Figura 78: Parámetros que definen el movimiento de avance [22]

Atendiendo a las variables y consideraciones anteriores, se puede determinar el movimiento de avance a través de la siguiente fórmula:

$$V_f = f_z \times Z \times n$$

Donde

- $f_z$  Es el avance por diente de la fresa [mm/rev o mm/diente]
- $Z$  es el número de dientes o filos de la herramienta
- $n$  es la velocidad de giro [rpm]

De esta forma, se determina el valor de la velocidad de avance que tendrá la trituradora. Normalmente, para establecer un valor de avance recomendable, se deben tener en cuenta una serie de consideraciones. Este parámetro depende de las características del material a trabajar, del filo de la herramienta, del tipo de operación, del estado superficial que se desea obtener, de la potencia y rigidez de máquina y de la relación con la profundidad de pasada, entre otros. Para la trituradora de plástico, este valor se ha determinado utilizando las condiciones de trabajo recomendadas por el fabricante.

Tabla 17: Condiciones de trabajo recomendadas por IZAR Tools [19]

Material	Avance (mm/rev)	Velocidad de corte (m/min)
Aceros construcción/carbono ( $< 250 HB / < 850 N/mm^2$ )	0,18	20-30
Aceros aleados ( $< 300 HB / < 1000 N/mm^2$ )	0,15	15-30
Aceros aleados tratados/ bonificados ( $300 - 400 HB / 850 - 1300 N/mm^2$ )	0,10	12-16
INOX austenítico ( $< 250 HB / < 850 N/mm^2$ )	0,12	15-20
INOX ferrítico / martensítico ( $< 320 HB / < 850 N/mm^2$ )	0,10	15-20
Fundición ( $< 200 HB / < 700 N/mm^2$ )	0,25	12-18
Fundición ( $200-300 HB / 700-1000 N/mm^2$ )	0,20	12-18
Aleaciones Titanio	0,13	20-30
Cobre-Bronce-Latón viruta corta ( $< 200 HB / < 700 N/mm^2$ )	0,20	25-32
Cobre-Bronce-Latón viruta larga ( $< 200 HB / < 700 N/mm^2$ )	0,25	60-100
Al-Mg no aleado ( $< 100 HB / < 350 N/mm^2$ )	0,20	180-250
Aleaciones Al-Mg Si $< 10\%$ ( $< 180 HB / < 600 N/mm^2$ )	0,20	180-250
Aleaciones Al-Mg Si $> 10\%$ ( $< 180 HB / < 600 N/mm^2$ )	0,12	50-60
<b>Termoplásticos</b>	<b>0,16</b>	<b>100-150</b>
Duroplásticos	0,16	100-150

La tabla superior muestra los avances por vuelta y las velocidades de corte recomendables para la fresa de corte lateral con agujero. En este caso, se ha utilizado el avance (0,16 mm/rev), pero no se ha empleado la velocidad de corte recomendada. Se ha utilizado la velocidad de corte generada por el motor eléctrico, calculada anteriormente. El avance obtenido por revolución dado por el fabricante coincidiría con el expresado en la siguiente figura.

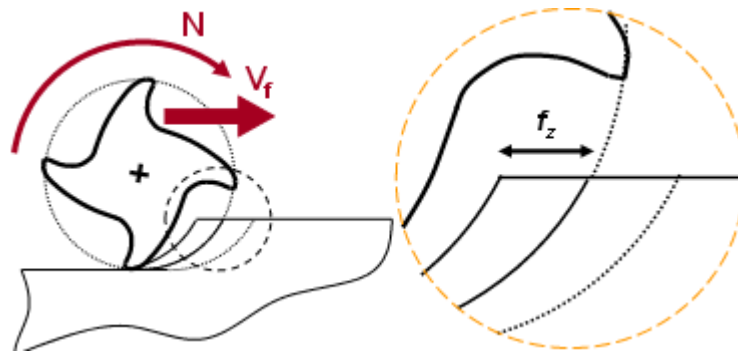


Figura 79: Avance por vuelta en el fresado en concordancia [20]

Numéricamente:

$$V_f = 0,16 \frac{mm}{rev} \times 8 \text{ dientes} \times 78 \text{ rev/min}$$

$$V_f = 99,48 \text{ mm/min}$$

*NOTA 1:* Utilizando la velocidad de corte recomendada por el fabricante, se obtendría un valor diferente de velocidad de avance, puesto que cambia la velocidad de corte y por tanto, la de giro. Tendríamos  $V_c = 100 \text{ m/min}$  y por tanto  $n=636,6 \text{ rpm}$ , quedando finalmente el movimiento de avance como  $V_f = 814,8 \text{ mm/min}$ .

### 5.3.2 Tipos de fresado según la relación entre el giro y el avance.

La relación entre el movimiento de corte de la herramienta y el avance de la pieza puede tener dos variantes, que influirán de diferente forma en el mecanizado.

- Fresado en concordancia. Se denomina así al proceso de mecanizado cuando la dirección de giro de la fresa es la misma que la dirección del movimiento de avance. Es el mejor de los sistemas, ya que parte del espesor máximo de viruta y esto permite al diente de la fresa incidir correctamente en la pieza. Tiene el inconveniente de que si

la máquina no es suficientemente rígida y los husillos no están exentos de holgura, la fresa al girar puede arrastrar a la pieza junto con la mesa, con el consiguiente riesgo de rotura de la fresa e incluso avería en la máquina.

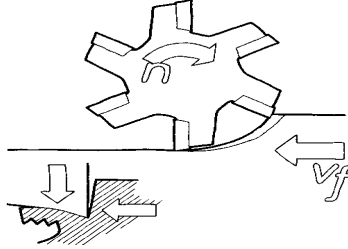


Figura 80: Fresado en concordancia [22]

- Fresado en oposición. Es el que se produce cuando la dirección de giro de la fresa es opuesta al movimiento de avance. En el fresado en oposición el espesor de la viruta se inicia en cero y va aumentando hasta alcanzar su máximo valor al final del corte. Esto implica una acción de "abrasión" antes de que el filo penetre en el material y comience a arrancar viruta. La acción de abrasión además de ser más perjudicial para el filo que la misma acción de corte, influye negativamente en el grado de acabado superficial, y por otra parte, en este caso se consume más potencia debido a los fuertes rozamientos de la fresa sobre la pieza.

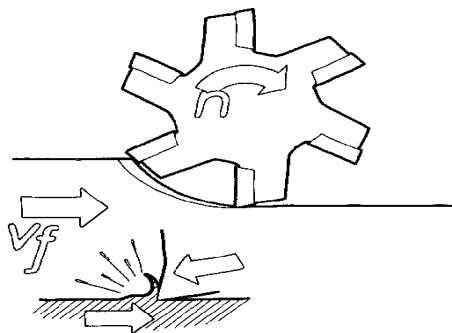


Figura 81: Fresado en oposición [22]

**Movimiento de penetración ( $M_p$ ).** Es el movimiento rectilíneo que regula la profundidad de penetración de la herramienta en la pieza, o viceversa. A su vez, define otros parámetros de

suma importancia en el fresado, como la profundidad de pasada. En este caso se explicará este parámetro desde el punto de vista de fresado periférico.

- Profundidad de pasada ( $A_r$ ). Este valor corresponde a la profundidad radial de corte de la fresa. Hay que tener cuidado, puesto que en el fresado frontal este valor no es la distancia radial, sino coincide con el ancho de la fresa. Se puede diferenciar claramente en el proceso porque es la longitud de la fresa que entra en la pieza al planear. Depende principalmente del material a arrancar, del grado de precisión dimensional a conseguir, de la potencia de la máquina y de la relación con respecto al avance seleccionado.

En el fresado aparecen una serie de variables que no vienen determinadas por un movimiento del mecanizado, sino por la propia operación que se está realizando y la herramienta utilizada durante ella. Una de estas variables es el ancho de corte.

- Ancho de corte ( $A_a$ ). Es la profundidad axial de corte y se mide a lo largo del ancho de la fresa. Es un parámetro a tener en cuenta por la influencia que tiene en el cálculo de la sección de viruta y consecuentemente, en la fuerza de corte necesaria para poder realizar el mecanizado.

El de ancho de corte y profundidad de pasada son parámetros que suelen confundirse con facilidad en el fresado. Por ello, con el fin de esclarecer sus definiciones se adjunta la figura siguiente.

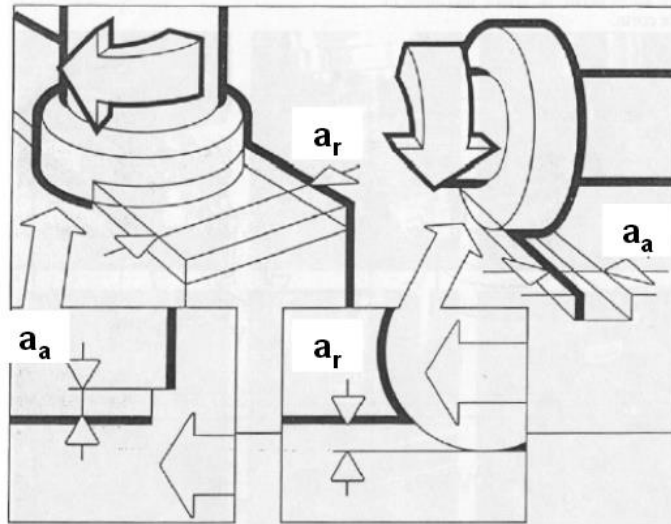


Figura 82: Profundidad de corte en el fresado frontal y el periférico [21]

Una vez vistos los tres principales movimientos de fresado, con sus correspondientes parámetros determinantes, las velocidad de corte, de avance y profundidades de corte, se procede a nombrar las variables resultantes.

- Espesor de viruta
- Sección de viruta.
- Potencia de corte
- Volumen de material arrancado

El fresado, al ser un procedimiento de mecanizado extremadamente versátil tiene una gran cantidad de operaciones y cada una de ellas, tiene sus peculiaridades. Las variables resultantes pueden ser diversas y muy numerosas. En ellas influyen los ángulos de placa, la inclinación del cabezal, posición de fresa en el mecanizado y otros muchos. Sin embargo, específicamente ~~para~~ este proyecto se centra en obtener un espesor de viruta, una sección de viruta y una potencia requerida simplificando el procedimiento. El control de estas variables, es un factor importante a la hora de determinar el proceso de mecanizado.



### 5.3.3 Espesor medio de viruta ( $h_m$ )

El espesor de viruta varía a lo largo del recorrido del diente. Depende de la posición radial del diente y definido por la profundidad de pasada, el diámetro de la herramienta y el avance por diente.

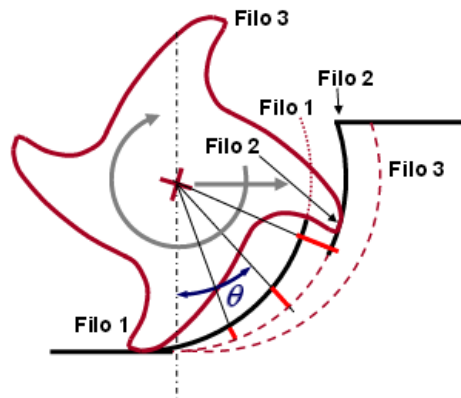


Figura 83: Espesor de viruta variable a lo largo del corte [20]

El espesor de viruta es una cantidad variable a lo largo del recorrido que siguen los filos de la herramienta. En la figura superior, se puede ver esta variabilidad, consecuencia de la geometría de la viruta (forma de media luna). En este apartado se ha empleado una simplificación de este cálculo, estimando para ello esta magnitud como una cantidad media.

$$h_m = f_z \cdot \sqrt{\frac{A_r}{D}} \geq 0,04 \text{ mm/rev}$$

Donde

- $f_z$  es el avance por diente o revolución [mm/rev]
- $A_r$  la profundidad de pasada [mm]
- $D$  es el diámetro de la fresa [mm]

Existen también otras consideraciones para el cálculo del espesor medio de viruta. Como por ejemplo:

$$h_m = \frac{f_z \cdot A_r \cdot 360}{D \cdot \pi \cdot \arccos\left(1 - \frac{2 \cdot A_r}{D}\right)}$$

Resultando la sustitución de los valores:

$$h_m = 0,16 \text{ mm/rev} \cdot \sqrt{\frac{5 \text{ mm}}{50 \text{ mm}}}$$

$$h_m = 0,05 \text{ mm/rev}$$

Y para la segunda consideración:

$$h_m = \frac{0,16 \text{ mm/rev} \cdot 5 \text{ mm} \cdot 360}{50 \text{ mm} \cdot \pi \cdot \arccos\left(1 - \frac{2 \cdot 5 \text{ mm}}{50 \text{ mm}}\right)}$$

$$h_m = 0,0497 \text{ mm/rev} \approx 0,05 \text{ mm/rev}$$

Teóricamente, cuanto menor sea el espesor de la viruta en el momento del arranque, la carga del filo sería superior, lo que permitiría aplicar mayores velocidades de avance por diente. Para la trituradora de plásticos, se tienen unas velocidades bajas en el avance por diente y corte, en comparación a las que pueden permitirse las fresadoras. Esto es una consideración que favorece la duración de los filos de corte de la fresa, pues las altas velocidades, junto con las altas resistencias de los materiales a fresar, suelen ser las causantes de los daños en estos elementos. Al igual, es sumamente importante la variación de la profundidad de corte.

#### 5.3.4 Sección media de la viruta. ( $A_m$ )

La sección de viruta representa la sección de material que está siendo arrancada por un diente. Al igual que el espesor de viruta es una simplificación de su valor y se toma por tanto una media representativa para el cálculo. A la hora de definir cuál es la sección de viruta que arranca cada diente en el fresado, hay que distinguir entre los dos tipos de fresado principales

anteriormente nombrados. Sin embargo, se opta por enfocar el cálculo en el fresado periférico, que es el método elegido.

- En el fresado periférico, la sección de viruta arrancada por un diente viene determinada por el ancho de pasada ( $A_a$ ), el espesor medio de la viruta arrancada ( $h_m$ ) y el ángulo de posición de la herramienta en el corte ( $k$ ).

$$A_m = h_m \cdot \frac{A_a}{\text{sen}(k)}$$

Siendo

- $h_m$  es espesor de viruta medio [mm/rev]
- $A_a$  el ancho de corte [mm]
- $k$  el ángulo de posición de la fresa con respecto a la superficie [mm]. Es el ángulo de posición de la herramienta frente a la pieza. Para determinar su valor, es necesario tener en cuenta ciertas consideraciones:
  1. Afecta a la dirección de las fuerzas de corte y el espesor de la viruta
  2. Para fresados frontales suele utilizarse  $90^\circ$
  3. Los ángulos más frecuentes varían entre  $45$  y  $75^\circ$ .
  4. Un ángulo menor de  $90^\circ$  favorece la robustez del corte y evacúa mejor las virutas.
  5. El contacto inicial con las piezas es más favorable con ángulos pequeños.
  6. El espesor de la viruta es máximo para un ángulo de  $90^\circ$ .
  7. Cuanto mayor es  $k$ , menor es la fuerza axial.
  8. Para mecanizado pesado es recomendable utilizar un ángulo de  $45^\circ$  ya que se igualan las componentes de los esfuerzos y aumenta la robustez.

En la trituradora, el ángulo de posición es de  $90^\circ$ .

Por tanto, el espesor medio de la viruta queda determinado por la expresión anterior y los valores anteriormente obtenidos.

$$A_m = 0,05 \frac{mm}{rev} \cdot \frac{63 mm}{\sin(90^\circ)}$$

$$A_m = 3,15 \frac{mm^2}{rev}$$

### 5.3.5. Potencia de corte ( $P_c$ ).

Este parámetro también depende del tipo de fresado escogido. Teniendo en cuenta que una potencia viene determinada por un momento y una velocidad de giro:

$$P = M \cdot w$$

La potencia de corte estimada, para el arranque de viruta en el fresado periférico, viene determinada por el par de corte y la velocidad angular de la fresa. Así pues, quedaría la expresión anterior de la siguiente forma:

$$P_c = M_c \cdot w$$

Quedando el momento de corte definido como:

$$M_c = F_m \cdot Z_{corte} \cdot \frac{D}{2}$$

Siendo

- $D$  es el diámetro de la fresa [mm]
- $Z_{corte}$  el número medio de dientes cortando en un momento dado [mm]. Como La Fuerza de corte  $F_c$  es variable con el tiempo y en un cierto instante puede haber varios dientes en corte, el cálculo se complica. Por ello, debe hacerse una simplificación del número medio de dientes cortando en un determinado momento. Vienen determinados por el ángulo de corte y los dientes de la fresa.

$$Z_{corte} = Z \cdot \frac{\emptyset}{360}$$

$$Z_{corte} = 8 \cdot \frac{90}{360} = 2$$

- $F_m$  la fuerza media de los filos cortantes [mm/rev]. Determinada por:

$$F_m = K_{sm} \cdot A_m$$

Y  $K_{sm}$  a su vez, es el valor medio de la fuerza específica de corte del material a triturar. Es un valor típico para los mecanizados, que varía en función del espesor medio de viruta, de la herramienta y del plástico. Se recoge para mecanizados convencionales en tablas como la inferior.

Material	Resistencia a la tracción (MPa) y dureza	Fuerza de corte específica Kc (MPa)				
		0.1mm/diente	0.2mm/diente	0.3mm/diente	0.4mm/diente	0.6mm/diente
Acero dulce	520	2200	1950	1820	1700	1580
Acero medio	620	1980	1800	1730	1600	1570
Acero duro	720	2520	2200	2040	1850	1740
Acero para herramientas	670	1980	1800	1730	1700	1600
Acero para herramientas	770	2030	1800	1750	1700	1580
Acero al cromo-manganeso	770	2300	2000	1880	1750	1660
Acero al cromo-manganeso	630	2750	2300	2060	1800	1780
Acero al cromo-molibdeno	730	2540	2250	2140	2000	1800
Acero al cromo-molibdeno	600	2180	2000	1860	1800	1670
Acero al cromo-niquel-molibdeno	940	2000	1800	1680	1600	1500
Acero al cromo-niquel-molibdeno	352HB	2100	1900	1760	1700	1530
Acero inoxidable austenítico	155HB	2030	1970	1900	1770	1710
Fundición	520	2800	2500	2320	2200	2040
Fundición dura	46HRC	3000	2700	2500	2400	2200
Fundición meehanita	360	2180	2000	1750	1600	1470
Fundición gris	200HB	1750	1400	1240	1050	970
Latón	500	1150	950	800	700	630
Aleación ligera (Al-Mg)	160	580	480	400	350	320
Aleación ligera (Al-Si)	200	700	600	490	450	390
Aleación ligera (Al-Zn-Mg-Cu)	570	880	840	840	810	720

Figura 84: Valores característicos de la fuerza específica de corte [23]

Para el PLA, resulta un dato complicado de encontrar. En la ciencia de materiales, la fuerza específica de corte está relacionada con resistencia a la fractura. Este valor en el PLA varía entre  $[4,5 - 5,5 \text{ MPa } \sqrt{m}]$ . Como el valor de  $K_{sm}$  también depende la herramienta emplearemos una magnitud más restrictiva. Se empleará para los cálculos el límite elástico del material  $60 \text{ MPa } \left(\frac{N}{\text{mm}^2}\right)$ .

Con todo esto, el momento de corte transforma en la siguiente expresión:

$$M_c = K_{sm} \cdot A_m \cdot Z_{corte} \cdot \frac{D}{2}$$

Y la potencia,

$$P_c = K_{sm} \cdot A_m \cdot Z_{corte} \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

$$P_c = 60 \frac{N}{mm^2} \cdot 3,25 \frac{mm^2}{rev} \cdot \frac{1 rev}{2\pi rad} \cdot 2 \cdot \frac{50mm}{2} \cdot \frac{2\pi \cdot 75 rad}{60 seg}$$

$$P_c = 60 \frac{N}{mm^2} \cdot 3,25 \frac{mm^2}{rev} \cdot 50 mm \cdot \frac{75 rad}{60 seg} = 12187,5 \frac{Nmm}{s}$$

$$6093 \frac{Nmm}{s} \cdot \frac{1m}{1000mm} = 12,187 \frac{Nm}{s}$$

Y teniendo en cuenta que 1 W equivale a 1  $\frac{Nm}{s}$

$$P_c = 12,187 W$$

*NOTA 2:* En caso de haber utilizado los parámetros recomendados por el fabricante, se habría obtenido otro valor de potencia de corte, puesto que la velocidad de giro es diferente. Se tendría  $n = 646,6$  rev/min y una potencia de 103,5 W.

Existen otras consideraciones más sencillas para obtener la potencia requerida. La primera de ellas, por ejemplo, la expresada en la referencia [22]. En él, es calculada multiplicando el volumen de arranque de viruta por la fuerza específica de corte

$$P_c = \frac{A_a \cdot A_r \cdot V_f \cdot K_c}{60000} [W]$$

Esta fórmula también puede encontrarse como:

$$P_c = \frac{A_a \cdot A_r \cdot V_f \cdot K_c}{60 \cdot 102 \cdot 9,81} W$$

$$P_c = \frac{63 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm} \cdot 99,5 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \cdot \frac{60N}{\text{mm}^2}}{60000}$$

$$P_c = 31,34 W$$

*NOTA 3:* Al utilizar los parámetros recomendados por el fabricante, aparece un valor diferente de potencia de corte, puesto que cambia la velocidad de avance. Resultaría  $V_f = 814,8 \text{ mm/min}$  y una potencia de  $256,7 \text{ W}$ .

#### 5.3.4 Volumen medio de viruta ( $Q$ )

El volumen de arranque de viruta, al igual que todos los parámetros anteriores es variable, pues depende del espesor y la sección de viruta. Define la cantidad de metal arrancado en unidad de tiempo. De una forma bastante simplificada puede obtenerse multiplicando el ancho de pasada, la profundidad de pasada y la velocidad de avance. Es un valor estimativo, una mera aproximación al valor real.

$$Q = \frac{A_a \cdot A_r \cdot V_f}{1000}$$

Donde

- $Q = \text{volumen de arranque de viruta } [cm^3/\text{min}]$
- $A_a = \text{ancho de pasada } [mm]$
- $A_r = \text{profundidad de pasada } [mm]$
- $v_f = \text{velocidad de avance } [mm/\text{min}]$

Al emplear esta ecuación, el volumen de viruta arrancado en  $\left[\frac{cm^3}{m}\right]$  sería

$$Q = \frac{63 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm} \times 99,48 \text{ mm/min}}{1000}$$

$$Q = \frac{63 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm} \times 99,48 \text{ mm/min}}{1000} = 31 \text{ cm}^3$$







Universidad  
de La Laguna

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

**SECCIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

# **ANEXO III: ESTUDIOS CON SOLIDWORKS**

**TRITURADORA DE PLÁSTICOS MEDIANTE  
ELEMENTOS REPLICADOS EN IMPRESORA 3D**

**Titulación**

Grado en Ingeniería Mecánica

**Autor**

Pablo Armas Correa

**Tutoras**

María M. Laz Pavón

Rosa E. Navarro Trujillo

Septiembre 2015



# ÍNDICE ANEXO III

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	190
<b>2. MODIFICACIONES ESTRUCTURALES AUTOMÁTICAS</b> .....	191
<b>3. SIMULACIÓN DE PIEZAS</b> .....	195
3.1 Estructuras de aluminio .....	195
3.1.1 Estructura Lateral de Aluminio .....	198
3.1.2 Estructura Frontal de Aluminio .....	200
3.2 Rejilla de corte .....	201
3.3 Fresa .....	206
3.4 Estructuras de plástico .....	213
3.4.1 Estructuras laterales y frontales de plástico .....	215
3.4.2 Estructura superior de plástico .....	222



## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente anexo, se exponen los estudios y modificaciones realizadas mediante el Software CAD SolidWorks. Este software CAD, entre muchas otras de sus funciones, permite crear diseños paramétricos de piezas en tres dimensiones, modelar ensamblajes y mediante una de sus aplicaciones, SolidWorks Simulation, estudiar el comportamiento de esas piezas o estructuras bajo diferentes condiciones de contorno (materiales, cargas, etc). Así pues, SolidWorks Simulation es una herramienta de validación de diseño integrada en SolidWorks, que permite simular el comportamiento de piezas y ensamblajes mediante la aplicación del FEA.

En este Anexo, se diferencian por tanto, ajustes automáticos dimensionales y simulaciones de los materiales que componen la trituradora bajo cargas externas y determinadas condiciones de contorno.

## 2. MODIFICACIONES ESTRUCTURALES AUTOMÁTICAS

Para no tener que repetir constantemente el proceso de modificación dimensional, se ha tomado una medida preventiva específica. El software SolidWorks [6] permite la utilización de ecuaciones en las cotas de los croquis de sus piezas. Estas ecuaciones se vinculan a un fichero externo, normalmente, de texto txt. Posteriormente, al abrir el documento de texto, se debe comprobar la lista de todas las dimensiones que tienen una ecuación predefinida. Cuando se desea modificar alguno de estos valores, simplemente hay que abrir el documento de texto, darle los nuevos valores a las cotas y guardar el fichero. Finalmente, dentro del software, se reconstruye la pieza, quedando con los nuevos valores establecidos en el fichero.

Como ejemplo, puede aplicarse a una de las piezas de la trituradora, replicada en impresión 3D. Se trata de una de las estructuras laterales de plástico.

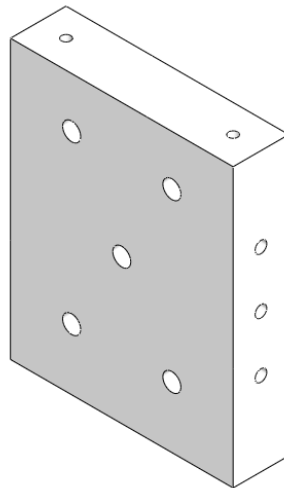


Figura 85: Estructura lateral de plástico [Fuente propia]

A continuación, se presentan las cotas del modelo. Como se puede comprobar, algunas tienen referencias con un signo de sumatorio. Estas corresponden a las cotas de ecuación y aparecerán en el documento de texto que podremos modificar. Las cotas sin

este símbolo, no tienen asignada una ecuación y por tanto, permanecerán invariables tras la modificación.

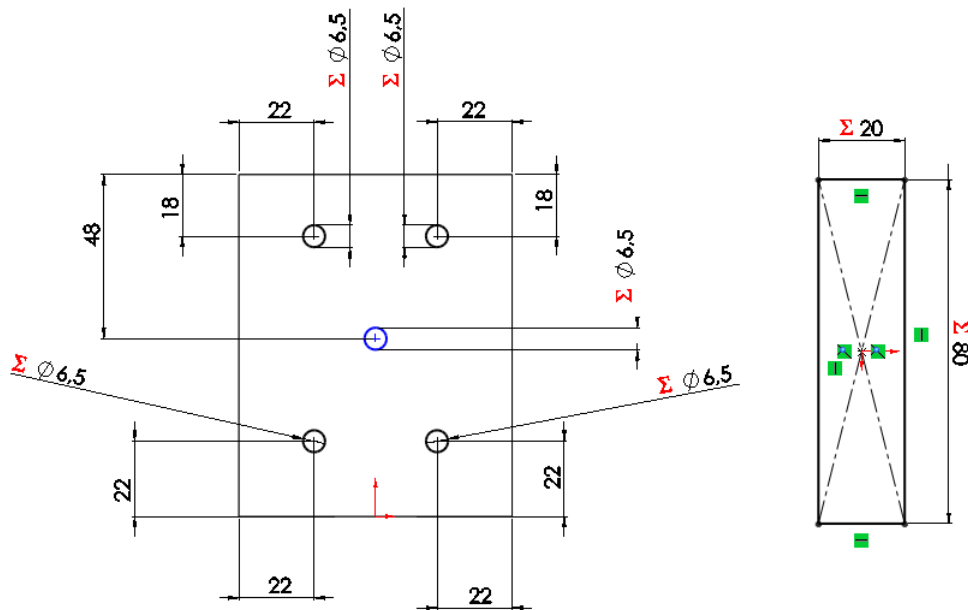


Figura 86: Cotas de la estructura lateral de plástico [Fuente propia]

El siguiente paso, tras asignar los valores a las cotas y aplicar las referencias correspondientes, es comprobar que estas cotas han sido definidas como ecuaciones. Luego, se exportan estas ecuaciones a un documento externo txt.

Activo	Ecuación	Evaluar a	Comentario
<input checked="" type="checkbox"/>	"Largo@Croquis1" = 80	80mm	
<input checked="" type="checkbox"/>	"espesor@Croquis1" = 20	20mm	
<input checked="" type="checkbox"/>	"Agujero1x10@Croquis2" = 6.5	6.5mm	
<input checked="" type="checkbox"/>	"Agujero2x10@Croquis2" = 6.5	6.5mm	
<input checked="" type="checkbox"/>	"Agujero3x10@Croquis2" = 6.5	6.5mm	
<input checked="" type="checkbox"/>	"Agujero4x10@Croquis2" = 6.5	6.5mm	
<input checked="" type="checkbox"/>	"Agujero5x10@Croquis2" = 6.5	6.5mm	

Figura 87: Ecuaciones de SolidWorks (Estructura lateral plástico) [Fuente propia]

Acto seguido, abrimos el documento texto txt y modificaremos los valores de las cotas que tienen ecuación.



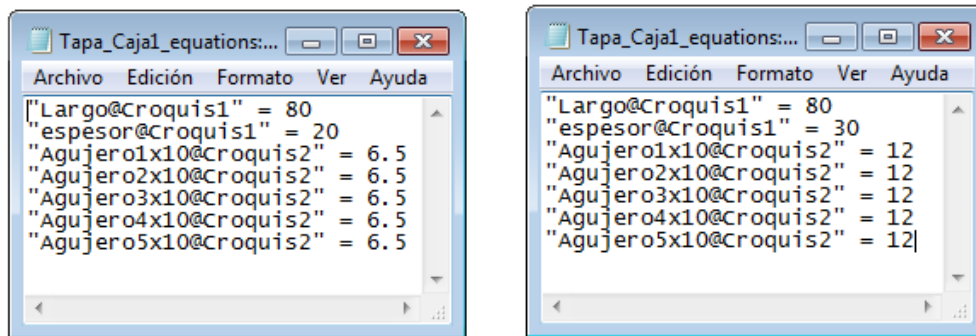


Figura 88: Valores de las ecuaciones asociadas a la Estructura lateral de plástico (real y modificada) [Fuente propia]

Se ha modificado el espesor de la pieza, de 20 a 30 mm y también los diámetros de los agujeros, pasando de 6,5 a 12 mm. Para visualizar el resultado, hay que volver a la ventana de SolidWorks, reconstruir la figura y comprobar que las dimensiones modificadas coinciden con las que la pieza tiene actualmente.

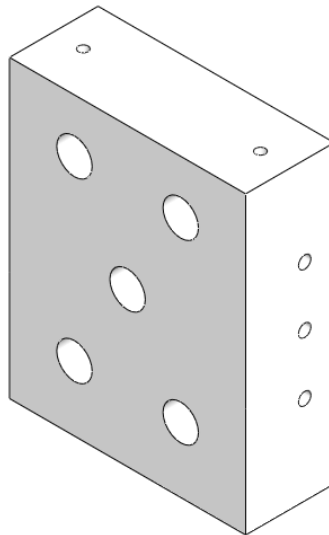


Figura 89: Estructura lateral plástico (dimensiones modificadas) [Fuente propia]

A simple vista se comprueba el aumento del espesor y los agujeros frontales, pero para cerciorarnos de que el proceso se ha realizado correctamente, visualizar los valores de las cotas.

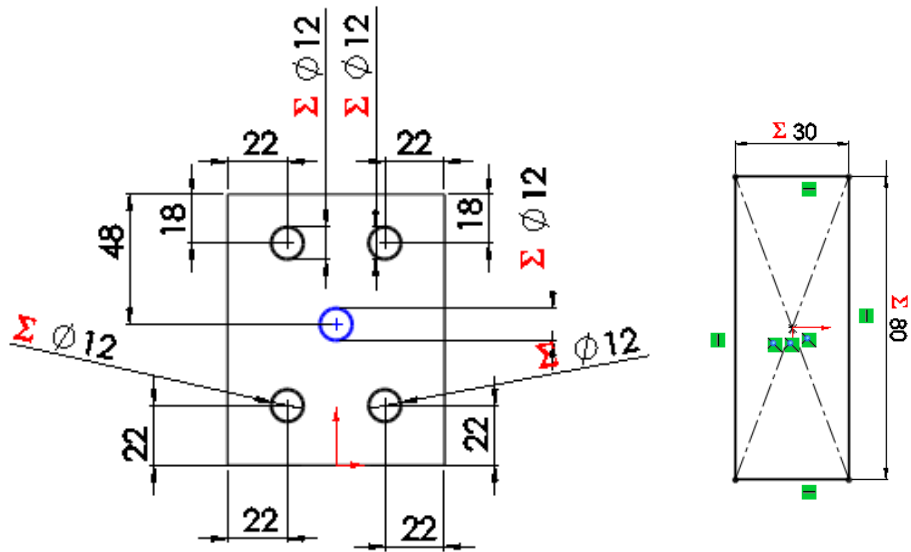


Figura 90: Cotas de la Estructura lateral de plástico (valores modificados) [Fuente propia]

Aunque pueda parecer algo tedioso, este método permite obtener nuevas piezas en cuestión de segundos. Evitando con ello, tener que abrir la pieza en el programa, editar las operaciones, modificar los croquis y cambiar los valores, cada vez que se pretenda rectificar la magnitud de una cota.

### 3. SIMULACIÓN DE PIEZAS

La simulación se ha realizado a nivel individual, aplicando las sujeciones, material y cargas correspondientes a cada pieza. La aplicación SolidWorks Simulation permite obtener las tensiones y deformaciones en las piezas de la máquina, concretamente, una sección dentro de SolidWorks que utiliza el método FEA para simular su comportamiento frente a determinadas condiciones de contorno.

#### 3.1 Estructuras de aluminio

Las primeras piezas a estudiar corresponden a las estructuras de aluminio, laterales y frontales, de la trituradora.

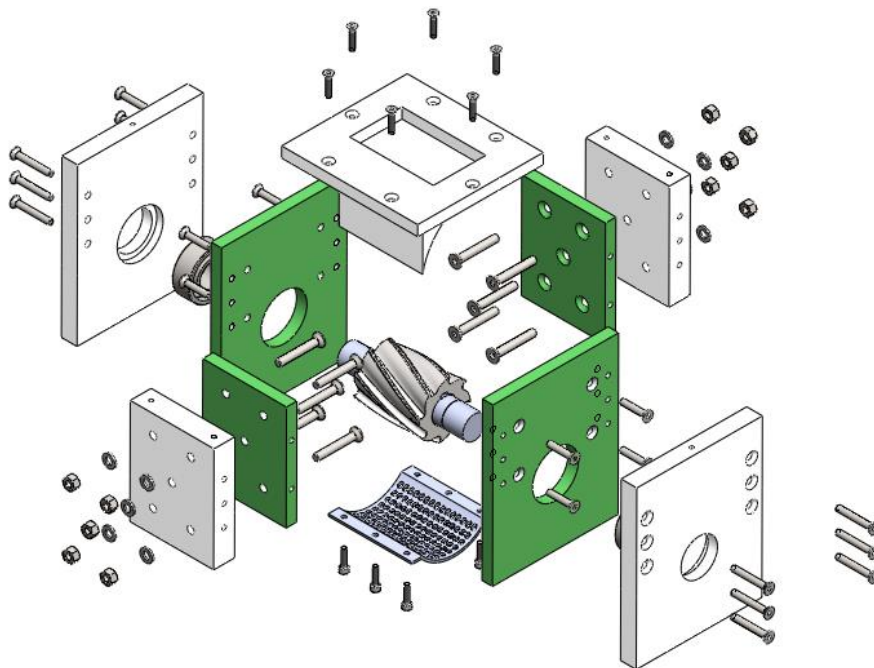


Figura 91: Conjunto explosionado (detalle Estructuras plástico) [Fuente propia]

## Material

El material que se ha escogido para su estudio es Aluminio 6060 y 6063. Concretamente, estas aleaciones de aluminio se definen como EN-AW 6060 y EN-AW 6063, conformes con la Norma UNE-EN-573-3 para “*Extrusión de perfiles de arquitectura*”. Esto se debe a que es el material para pletinas que dispone una de las empresas canarias más importantes en extrusión de sistemas de aluminio para arquitectura e ingeniería: ALUCANSA. Durante el desarrollo del proyecto, se contactó con la empresa para consultar opciones de manufactura en piezas de reducidas dimensiones. De esta consulta se obtuvo información acerca de las pletinas que trabaja y comercializa la empresa, cuyas dimensiones encajan con las planteadas para las estructuras de aluminio. El material de las pletinas concuerda con el predefinido en la lista de materiales de SolidWorks.

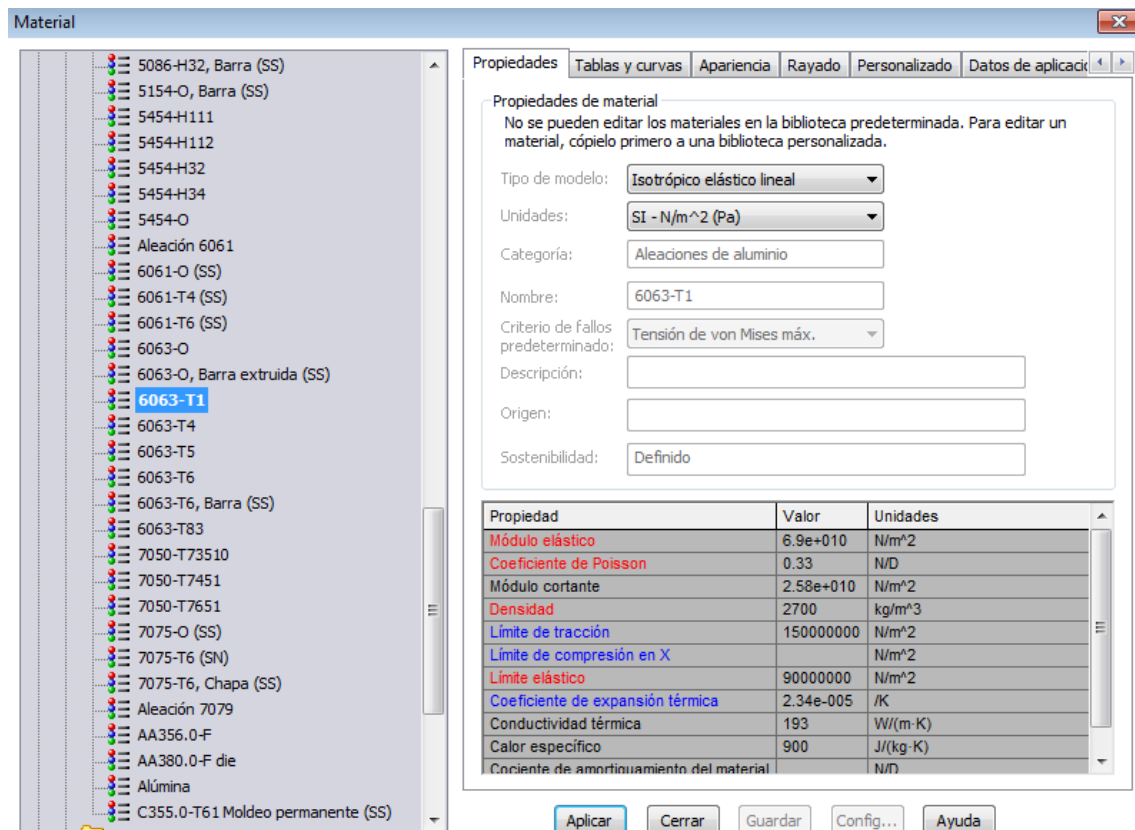


Figura 92: Aluminios predefinidos por SolidWorks (Propiedades Aluminio 6060 T1) [Fuente propia]

Se ha escogido entre los Aluminios 6060 de la tabla del programa, el T1, por tener el menor límite elástico y ser por tanto el más restrictivo.

### Cargas aplicadas

En referencia a las cargas aplicadas, se han asignado los valores de fuerza tangencial y fuerza axial producidos por el giro de la fresa y dado en el *Apartado 4.1: Fuerzas de corte del Anexo: Cálculos*. Asimismo, se han simplificado como masas remotas aplicadas en un punto, concretamente en el centro (horizontal) de cada estructura y en el centro de la fresa (vertical). Para las estructuras laterales, la mitad del diámetro de la fresa 27,5 mm, y para las frontales, la altura del agujero del eje, pues se han considerado como puntos más críticos.

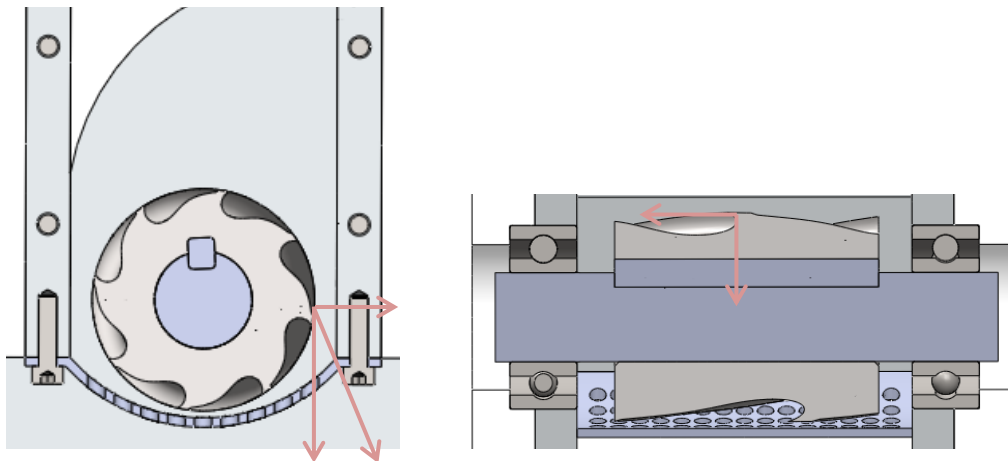


Figura 93: Cargas aplicadas sobre la estructuras de aluminio [Fuente propia]

### Sujeciones

Con respecto al tipo y distribución de las sujeciones asignadas, se ha empleado geometría fija en todos los agujeros que presentan las piezas, salvo una excepción. En el caso de las estructuras frontales de aluminio, se ha estudiado el comportamiento solamente con geometría fija en los agujeros que unen las demás estructuras de aluminio. Se han obviado los taladros para sujetar la estructura plástico lateral, lo que ha generado un modelo más restrictivo.

### 3.1.1 Estructura Lateral de Aluminio

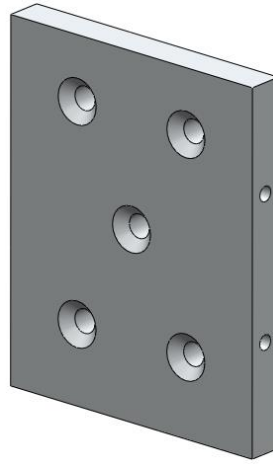


Figura 94: Estructura Lateral de aluminio SolidWorks [Fuente propia]

### Tensiones de Von Mises

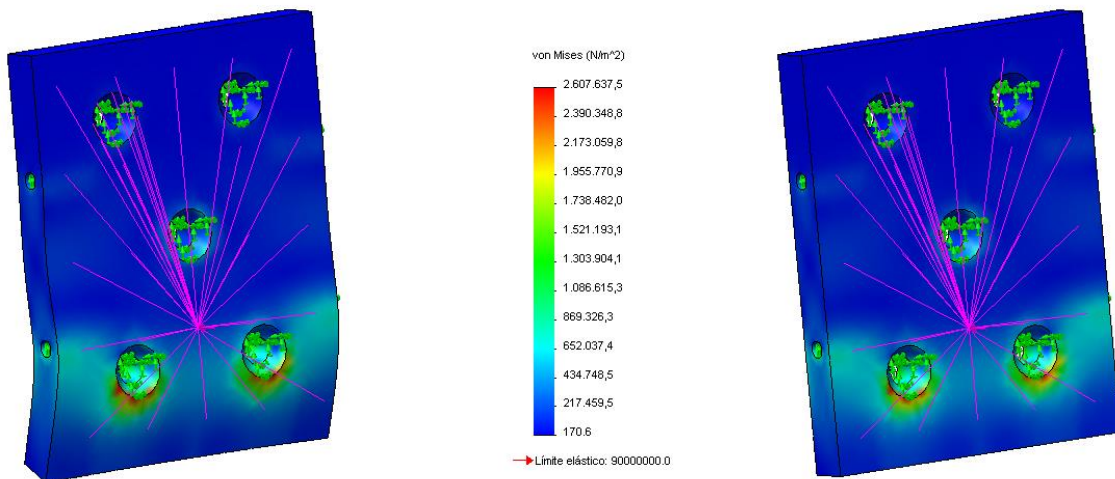


Figura 95: Tensiones automática y real de la Estructura Lateral de Aluminio [Fuente propia]

La figura superior muestra los resultados del estudio de tensiones en  $N/m^2$  de la estructura. En la pieza izquierda se refleja la simulación automática del software, la cual indica el comportamiento tendencial de la pieza frente a los esfuerzos. Por el contrario,

en la derecha se muestra el comportamiento real de la estructura. La tensión máxima soportada por la pieza ( $2.607.637,5 \text{ N/m}^2$ ) corresponde a un 3% del límite elástico del material ( $90000000 \text{ N/m}^2$ ).

## Desplazamientos

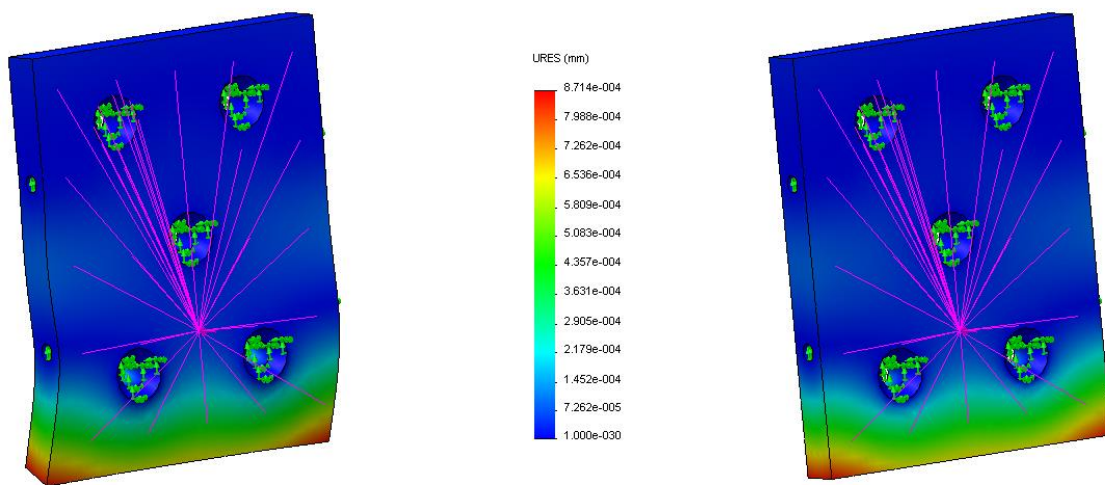


Figura 96: Desplazamientos automáticos y reales de la Estructura Lateral de Aluminio [Fuente propia]

Sucede prácticamente lo mismo que en el caso anterior, a excepción de que ahora se trata de desplazamientos y no de tensiones. La pieza de la izquierda presenta los desplazamientos automáticos generados por SolidWorks y la derecha, los reales. Los valores de estos desplazamientos están representados en la tabla central, siendo el máximo  $8,71 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$  ( $0,000871 \text{ mm}$ ).

### 3.1.2 Estructura Frontal de Aluminio

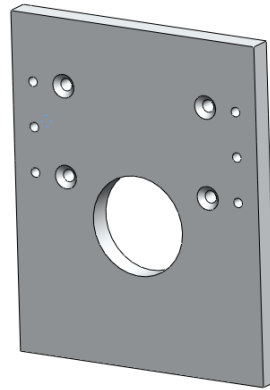


Figura 97: Estructural frontal Aluminio [fuente propia]

Este estudio se ha realizado bajo las mismas condiciones que el anterior. Sin embargo, hay que destacar, que no se ha considerado el agujero principal como una superficie de sujeción. A pesar de que es el espacio en el que irá colocado a presión el rodamiento, no se ha tomado tal consideración, a fin de aumentar la criticidad del conjunto.

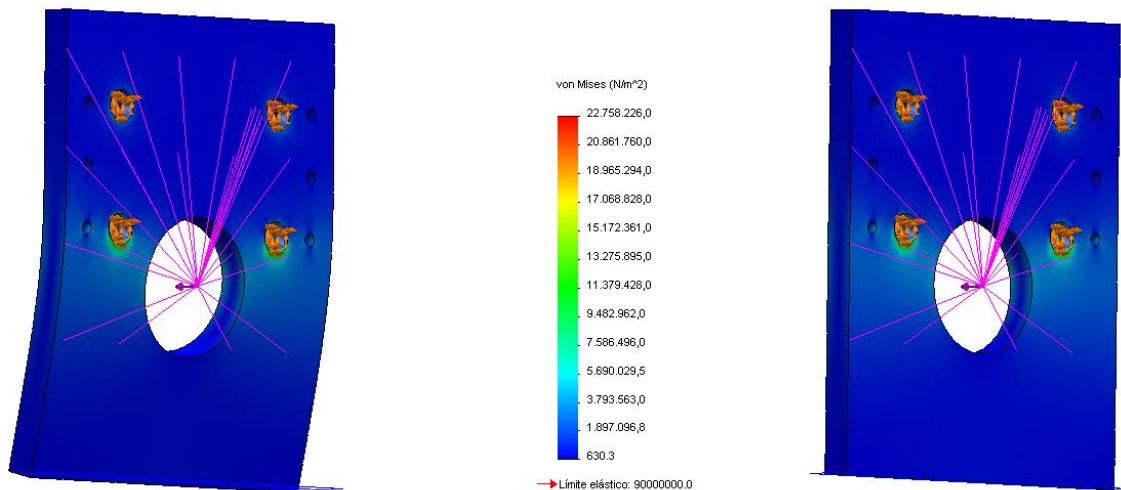


Figura 98: Tensiones automática y real de las Estructuras Frontales de Aluminio [Fuente propia]



El resultado de tensiones de Von Mises es muy similar al anterior. Únicamente destacar en este caso el incremento en los valores máximos. La tensión de  $22.758.226 \text{ N/m}^2$  representa un 25% del límite elástico del Aluminio. A pesar de aplicar una carga de menor magnitud, el resultado de tensión máxima es mayor. Esto se debe a la menor cantidad de sujeciones fijas con respecto al estudio anterior.

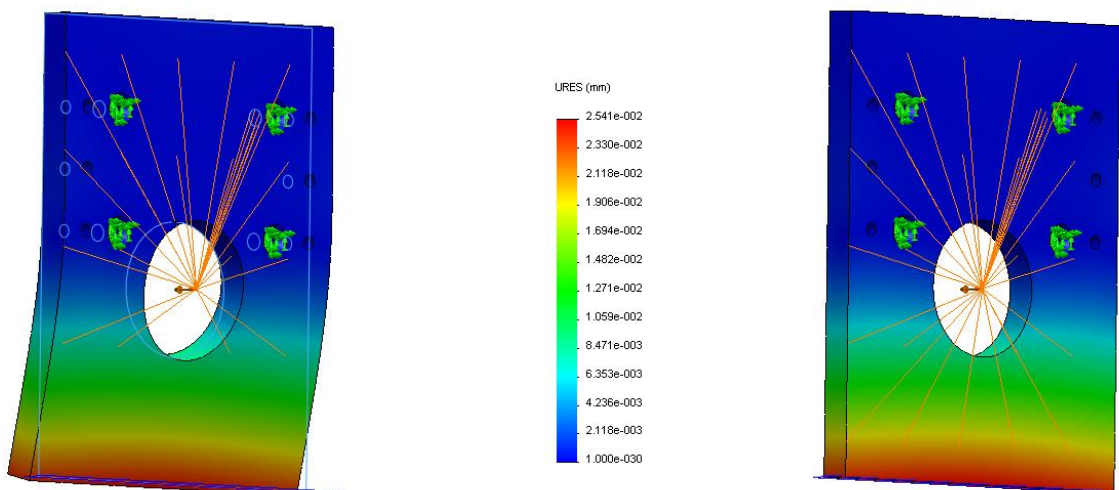


Figura 99: Desplazamientos automáticos y reales de las Estructuras Frontales de Aluminio [Fuente propia]

En cuanto a los desplazamientos, se aprecia a simple vista como la pieza permanece invariable. El desplazamiento máximo que presenta esta estructura frente a las cargas aplicadas es de  $2,541 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$  ( $0,02541 \text{ mm}$ ). Al igual que para las tensiones, este valor a disminuido drásticamente a consecuencia de estar soportado solamente por cuatro tornillos.

### 3.2 Rejilla de corte

Este elemento es una parte esencial de la trituradora, no solo porque determina el tamaño máximo de las piezas trituradas, sino porque debe soportar la presión generada por los plásticos. Esta presión viene de la fuerza de corte, que en este caso es similar a la que se da en las paredes de aluminio.

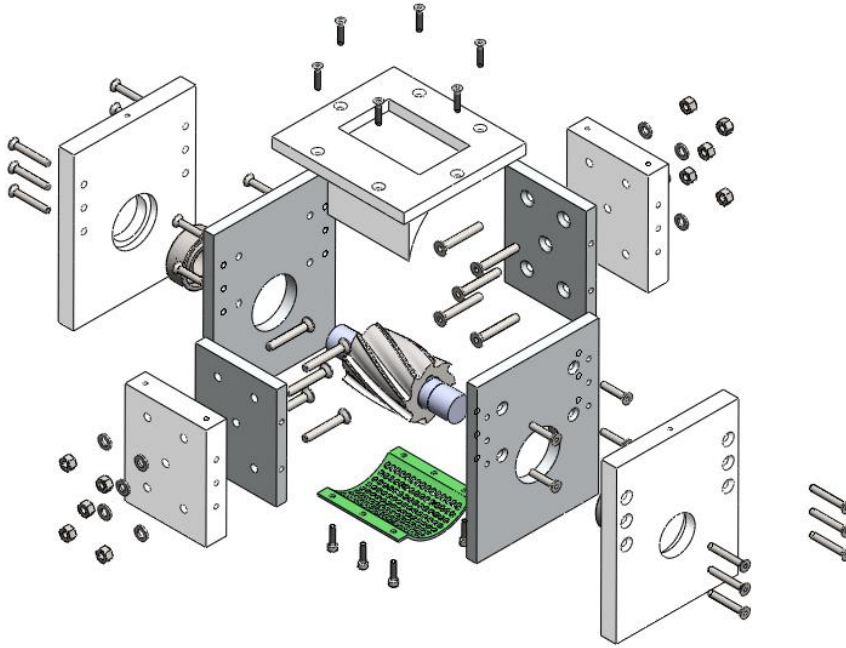


Figura 100: Conjunto explosionado (detalle rejilla de corte) [Fuente propia]

## Material

Para este elemento se ha utilizado Acero inoxidable, decisión tomada por varios motivos: el par galvánico entre acero y aluminio que podría oxidar las piezas; la fabricación del tamiz o rejilla en la trituradora FilaMaker.

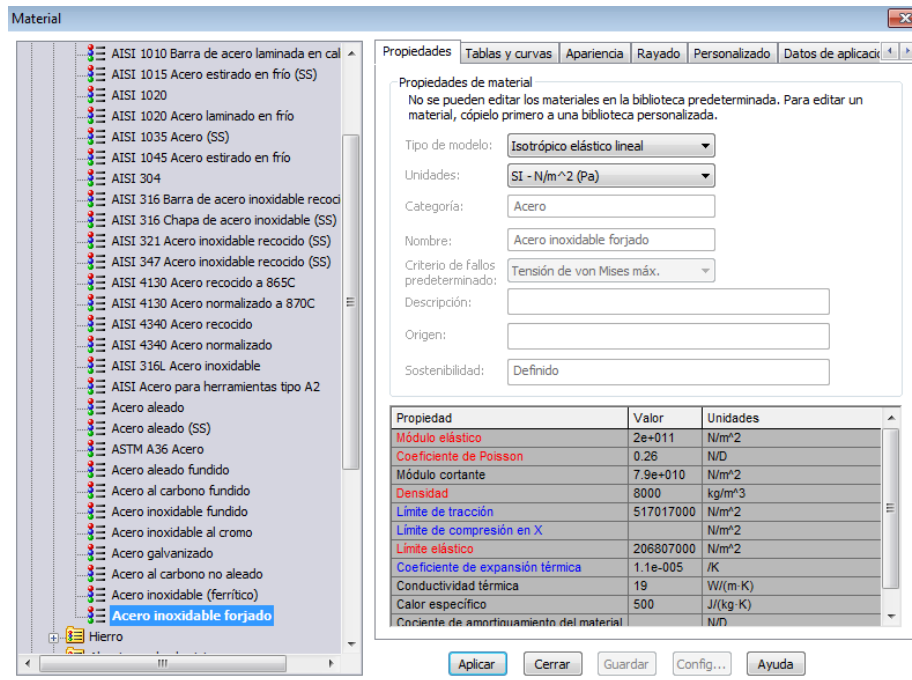


Figura 101: Aceros predefinidos por SolidWorks (Propiedades del Acero inoxidable forjado) [Fuente propia]

## Sujeciones

Sus sujeciones (de geometría fija) se concentran a ambos lados de la pieza, puesto que corresponden a los agujeros donde irán colocados los tornillos. Estos seis agujeros (tres a cada lado) coinciden con los inferiores de las Estructuras laterales de aluminio. No son taladros roscados, sino agujeros pasantes, que permiten el paso del tornillo y su roscado posterior en la pieza de aluminio lateral.

## Cargas aplicadas

Los valores de carga asignados, se concentran en la definición de fuerza tangencial de la fresa. Para simular esta fuerza, ha sido necesario localizar su punto de aplicación, su dirección y su sentido, que vienen determinados por coordenadas x,y,z.

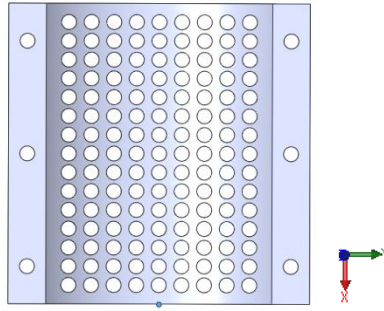


Figura 102: Rejilla de corte con origen de coordenadas [Fuente propia]

En la imagen siguiente tenemos el origen y el sistema de coordenadas de la estructura, algo que es esencial para poder localizar el punto de actuación la fuerza. Para la pieza en tres dimensiones, el sistema de coordenadas quedaría:

Siendo las coordenadas del punto de la fuerza:

- X: 40 mm
- Y: 60 mm
- Z: -12 mm



En el plano ZY se tiene la descomposición

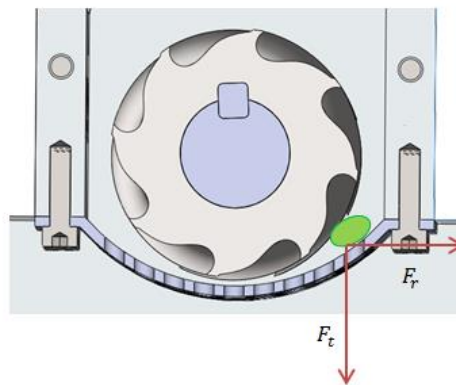


Figura 103: Fuerzas en la rejilla de corte [Fuente propia]

### Tensiones de Von Mises

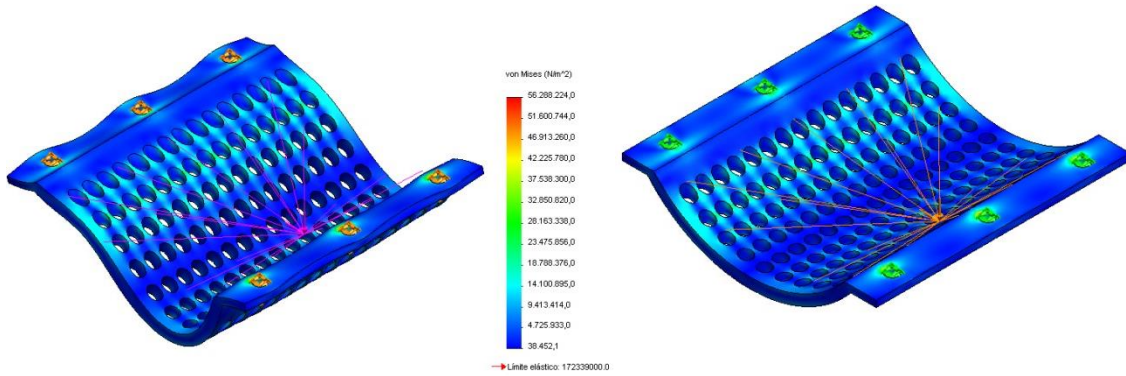


Figura 104: Tensiones automática y real de la Rejilla de corte [Fuente propia]

En el presente estudio, se ha obtenido un valor máximo de tensión de  $56.288.224 \text{ N/m}^2$ , cifra que representa un 32% del límite elástico.

### Desplazamientos

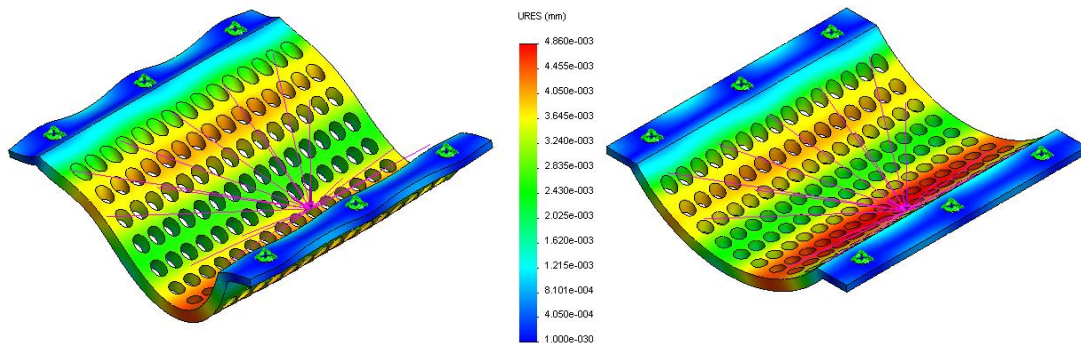


Figura 105: Deformaciones automática y real de la Rejilla de corte [Fuente propia]

Los desplazamientos que se darían en la estructura rondan los  $0,005 \text{ mm}$ , en la tabla de la imagen,  $4,86 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$ . En la figura izquierda aparece el comportamiento que

tendría la pieza aumentando de forma sobredimensionada el valor de los desplazamientos. En la derecha queda reflejada la pieza con los desplazamientos reales, prácticamente despreciables.

### 3.3 Fresa

Es el elemento principal del modelo, el que define el tipo de triturado y el que determina las dimensiones de las estructuras. En teoría, su estudio de tensiones y deformaciones en SolidWorks, no sería tan necesario como el de las demás estructuras del modelo.

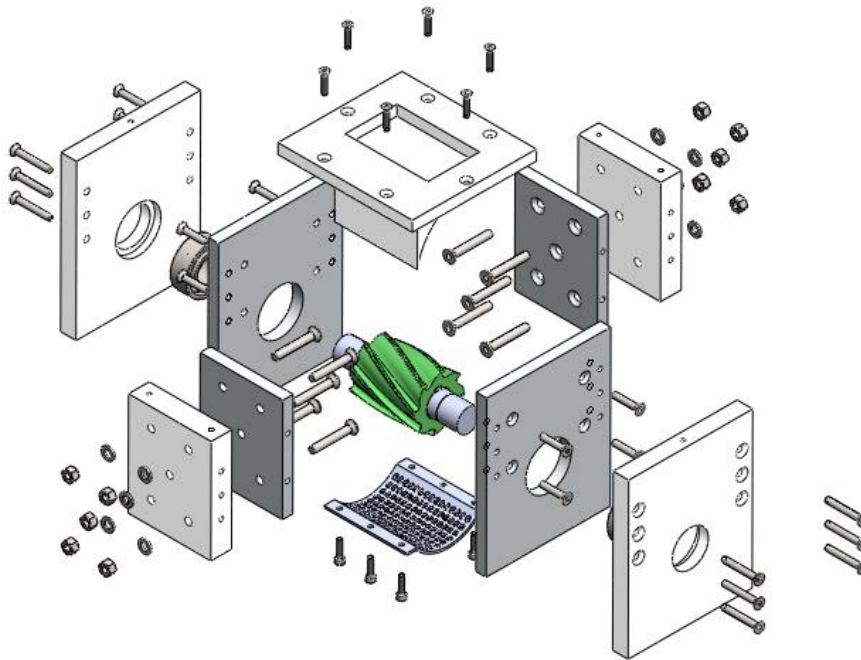


Figura 106: Conjunto explosionado (Indicación Fresa) [Fuente propia]

Para la correcta parametrización de este elemento en SolidWorks, se han tomado varias referencias. En primer lugar, se ha partido de las dimensiones dadas por el fabricante, que están definidas a su vez, por la norma “*Medidas para Fresas Cilíndricas*” DIN-884N. En ella, quedan determinados los diámetros de los agujeros, la dirección del rayado y la geometría de los cortes.

Ref. 4010

FRESA FRONTAL 2 CORTES HSSE 5% CO DESBASTE MEDIO

Roughing & Finishing HSSE 5% Co Shell End Mill  
Fraise 2 Tailles HSSE 5% Co Semi-Finition

HSSE  
5% Co

DIN  
884 N

ISO  
2584

30°

Tol.  $\phi$  (js16)  
d (H7)  
L (js16)

Fresa Planear  
Plain Milling Cutter  
Fraise Cylindrique à Surfacer

D mm	L mm	d mm	Z	N° Art. 5% Co	€
50	40	22	8	53952	110,33
50	63	22	8	53961	117,58
50	80	22	8	53970	175,27
63	50	27	8	54015	154,30
63	70	27	8	54024	187,73
80	63	32	8	54096	260,05
80	100	32	8	54123	382,29
100	70	40	10	54141	404,61

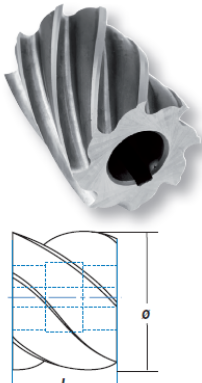


Figura 107: Características generales de la herramienta de corte [19]

Asimismo, para las dimensiones de los chaveteros, se ha seguido la norma utilizada por IZAR Tools: ISO 240, equivalente a UNE 16004 y DIN 138 referente a “*Agujeros normalizados, construcción y tolerancias para herramientas con agujero cilíndrico y chavetero longitudinal*”.

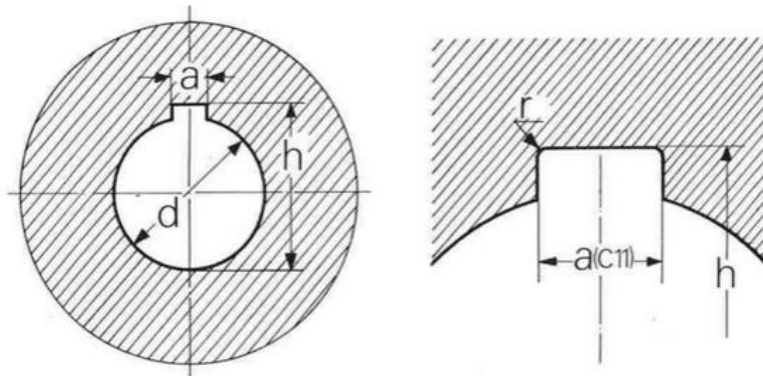


Figura 108: Dimensiones del chavetero en la fresa [2]

Las medidas relacionadas con las cotas de la ilustración superior, se exponen en la tabla siguiente. Han sido contrastadas mediante el libro A.M Casilla [12]

DIAMETRO NORMAL AGUJERO d (mm.)	Tol. H7 mm.	ANCHO		ALTO		RADIO	
		a mm.	Tol. C11 mm.	h mm.	Dif. admis. mm.	r mm.	Dif. admis. mm.
8	+0,015	2	+ 0,120 + 0,060	8,9	+ 0,1	0,4	-0,1
10	+0,015	3	+ 0,120 + 0,060	11,5	+ 0,1	0,4	- 0,1
13	+ 0,018	3	+ 0,120 + 0,060	14,6	+ 0,1	0,6	- 0,2
16	+ 0,018	4	+ 0,145 + 0,070	17,7	+ 0,1	0,6	- 0,2
22	+0,021	6	+ 0,145 + 0,070	24,1	+ 0,2	1	- 0,3
27	+0,021	7	+ 0,270 + 0,080	29,8	+ 0,2	1	- 0,3
32	+0,025	8	+ 0,270 + 0,080	34,8	+ 0,2	1,2	- 0,3
40	+0,025	10	+ 0,270 + 0,080	43,5	+ 0,2	1,2	- 0,3
50	+0,025	12	+ 0,205 + 0,095	53,6	+ 0,2	1,6	- 0,5
60	+0,030	14	+ 0,205 + 0,095	64,2	+ 0,2	1,6	- 0,5

Figura 109: Dimensiones y tolerancias del chavetero en la fresa [2]

Como vemos en la tabla, al escoger un diámetro del agujero de 22 mm, con tolerancia H7 + 0,021 mm, las dimensiones del chavetero quedan fijadas directamente:

Tabla 18: Dimensiones del chavetero de la fresa [Fuente propia]

Dimensiones del chavetero	Valor (mm)	Tolerancia (mm)
Ancho	6	+ 0,145 / +0,070
Alto	24	+ 0,2
Radio	1	+ 0,3



## Material

En referencia al material que compone la fresa, es Acero HSS con un 5% de Cromo, como indica la tabla de características generales de la herramienta de corte. El cromo se agrega para aumentar la resistencia al desgaste y la tenacidad de la herramienta. Sin embargo, en SolidWorks no se encuentran exactamente aceros con aleaciones de cromo en la lista de materiales predefinidos. Por este motivo, se escoge Acero Aleado SS para el estudio de tensiones y deformaciones. Estos aceros, también conocidos como aceros rápidos, son utilizados para herramientas y suelen tener concentraciones de diferentes metales (wolframio, cromo, vanadio, molibdeno y otros).

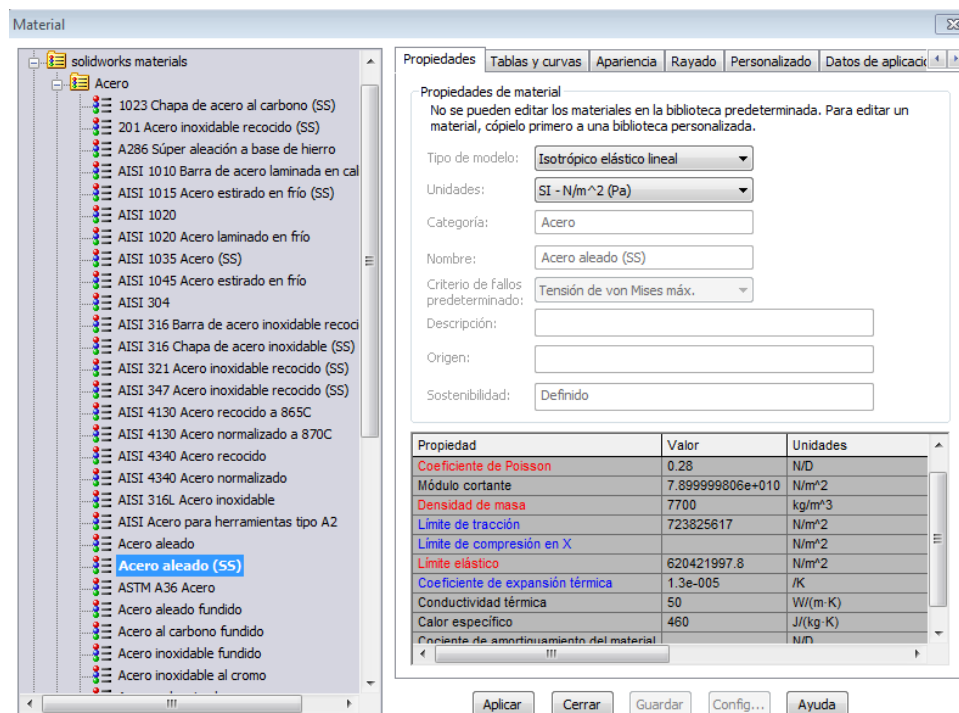


Figura 110: Aluminios predefinidos por SolidWorks (propiedades del Acero aleado SS) [Fuente propia]

Como vemos en la imagen superior, el software contiene una gran lista de aceros predefinidos, algunos definidos por AISI. Dentro del abanico de posibilidades, se ha escogido para el estudio acero SS, por ser el que más similitudes tiene con el de la fresa.

## Sujeciones

Por otra parte, el tipo de sujeciones utilizadas (geometría fija), se ha distribuido a lo largo del chavetero de la fresa. Al ser la chaveta el elemento que mantiene unidos solidariamente a la Fresa y al Eje, queda el espacio en el que se encuentra como la superficie de sujeción.

## Carga

El tipo de carga empleada ha sido de masa distribuida, y se ha aplicado de dos formas:

1. A lo largo de cada una de las hélices o dientes de la fresa.
2. A lo largo de una sola hélice o diente.

Esta acción ha dado dos estudios diferentes, que se presentan a continuación:

## Tensiones de Von Mises

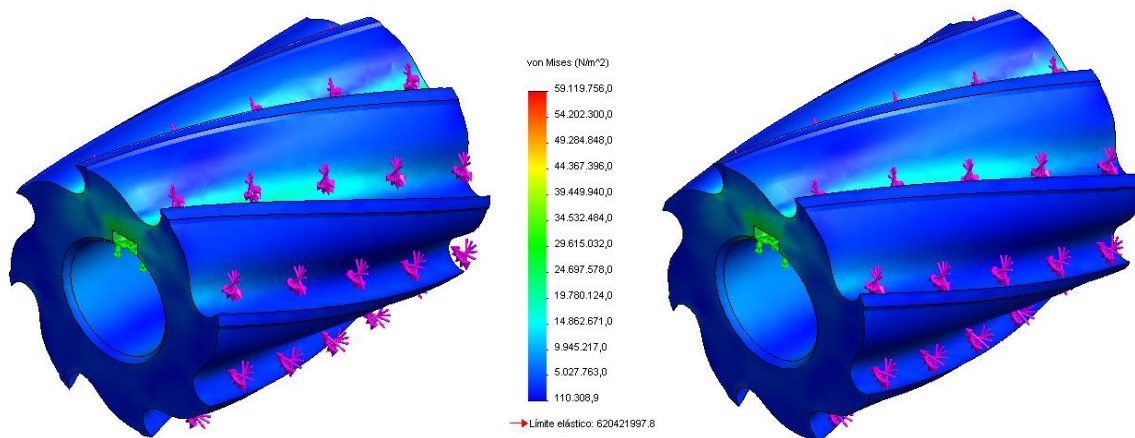


Figura 111: Tensiones de Von Mises en la Fresa (cargas distribuidas en todos los dientes) [Fuente propia]

El estudio anterior muestra las tensiones generadas en la fresa (máxima  $59.119.756 \text{ N/m}^2$ ) y dentro del rango elástico. Como se puede observar,

presenta en la mayor parte de su superficie, tensiones muy bajas y altas concentraciones en el chavetero. La figura de la izquierda muestra el comportamiento automático y orientativo dado por SolidWorks, muy similar al real de la figura derecha.

## Desplazamientos

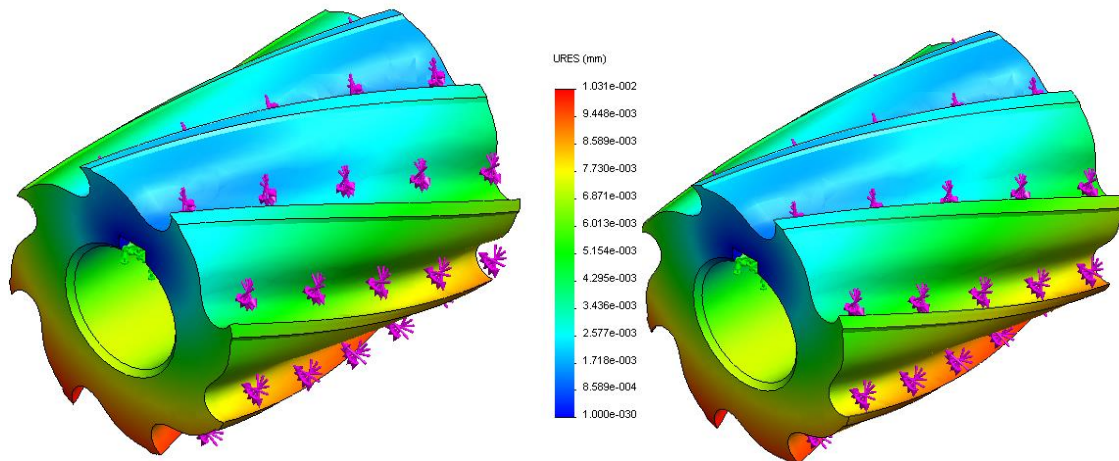


Figura 112: Desplazamientos Fresa (Carga distribuida en todos los dientes) [Fuente propia]

En cuestiones de desplazamientos, se puede comprobar como los mayores están situados en los dientes más alejados del chavetero y viceversa. Aun así, el valor máximo no supera los 0,01 mm y teniendo en cuenta que el material escogido tiene menor límite elástico que el real de la herramienta, es un valor aceptable.

El segundo estudio que se ha decidido realizar tiene la particularidad de situar las cargas en un solo diente de la herramienta. Durante el funcionamiento de la trituradora, la fresa deberá desbastar el plástico con una de sus cuchillas, mediante la presión ejercida tanto en los laterales de aluminio, como en la rejilla de corte. La consecuencia de esta acción es que a los dientes contrarios al corte, se quedan sin carga.

### Tensiones de Von Mises

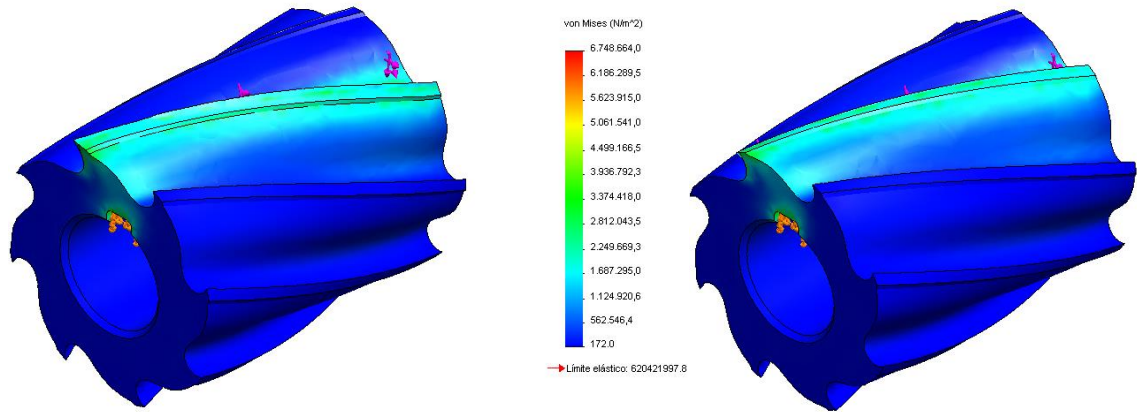


Figura 13: Tensiones de Von Mises en la Fresa (Carga distribuida en un diente) [Fuente propia]

Esta ilustración, es completamente similar a la planteada en el estudio anterior, con la excepción de la reducción en las cargas y en las tensiones máximas: 6.748.664 N/m<sup>2</sup>.

### Desplazamientos

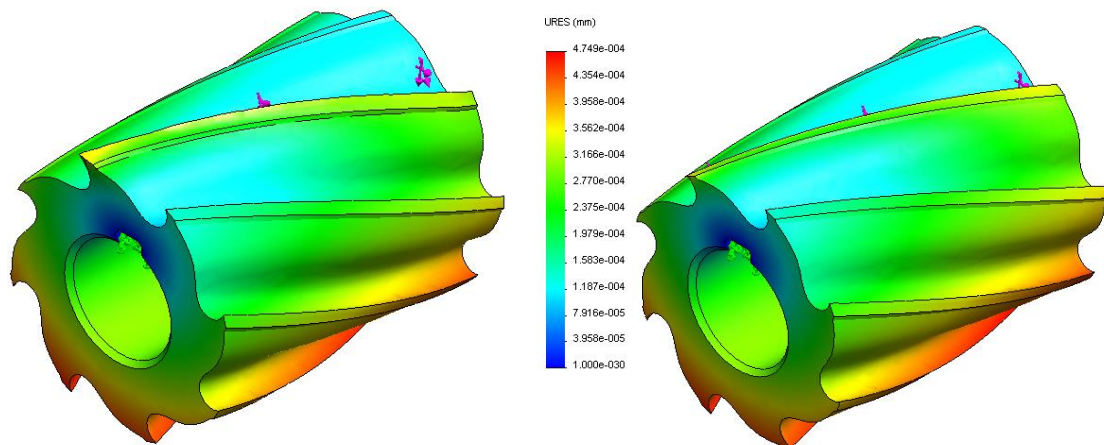


Figura 114: Desplazamientos en la Fresa (Carga distribuida en un diente) [Fuente propia]

Los desplazamientos en este estudio, son considerablemente inferiores a los del primero. Al presentar la fuerza en un solo diente se reduce su valor máximo, pasando de 0,01 mm a 0,00047mm.

### **3.4 Estructuras de plástico**

Este grupo engloba los elementos de la máquina replicados mediante impresión 3D, por FDM. Dada la finalidad de la máquina, las características del material a tratar y las cualidades del material a replicar, solo es posible en la actualidad replicar en impresión 3D estos elementos, a los que se ha designado por:

- Estructuras laterales de plástico
- Estructuras frontales de plástico
- Estructura superior de plástico

### **Materiales**

Para el estudio con SolidWorks, las piezas de plástico deben ser sólidas, puesto que aplicar un tipo de relleno complica los cálculos y hace prácticamente imposible la simulación. Para realizar el cálculo con un porcentaje de relleno inferior al 100%, normalmente del 10%, 20% o 25%, se tendría que modelar la pieza en SolidWorks con las estructuras internas definidas por el software de impresión (estructuras cruzadas, panal de abeja, etc.). Esto se podría realizar creando operaciones de extrusión con las dimensiones de dichas estructuras. Sin embargo, se ha optado por estudiar como sólidos y simplificar los modelos. Así pues, todas estas piezas simuladas, corresponden a elementos impresos con un 100% de relleno. A pesar de los inconvenientes de esta consideración (aumento de horas de impresión, gasto de material, elevado costo), tiene algunas variantes provechosas.

1. Aumenta la rigidez de la propia pieza, y del conjunto. El resultado de esta consideración mejoraría las prestaciones de la máquina, aumentando notablemente su resistencia.
2. Se podría estudiar la reducción del espesor de las piezas de aluminio. Con unas estructuras de plástico al 100% como las que se han diseñado en este proyecto, se podría valorar la reducción del espesor de las paredes de aluminio. Serían objeto de estudio y habría que realizar otros estudios de tensiones para los demás elementos pero podría ser una oportunidad para aumentar las posibilidades autoreplicables de la máquina.

Para la implementación del PLA en el software, hay que tener en cuenta que en el desarrollo de este proyecto se ha empleado SolidWorks 2011, una versión que no cuenta con este material en su lista predefinida. Por ello, se han tenido que introducir las propiedades de este plástico en una lista de materiales personalizados.

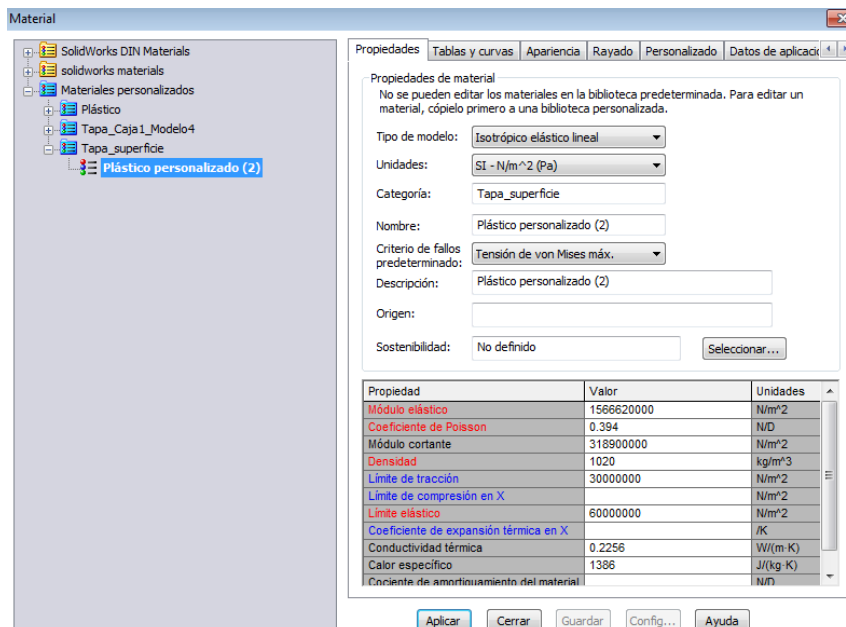


Figura 115: Materiales personalizados en SolidWorks (Propiedades del PLA) [Fuente propia]

Para adquirir las propiedades físico-químicas características del PLA, se han utilizado datos facilitados por la empresa NatureWorks [40].

A continuación, se exponen los citados estudios:

### **3.4.1 Estructuras laterales y frontales de plástico**

Como sucede con las estructuras de aluminio, estos elementos son opuestos y están expuestos a diferentes condiciones de carga. Las estructuras laterales están sometidas a la fuerza tangencial y radial y las estructuras frontales a la fuerza axial. El estudio se ha realizado aplicando directamente las cargas sobre la superficie de las piezas, obviando el hecho de que las estructuras de aluminio absorben gran cantidad de tensiones.

#### **Sujeciones**

Los tipos de sujeciones utilizados en este caso son idénticos a los planteados para las estructuras de aluminio. Dependen de cada elemento y se presentan en las secciones siguientes.

#### **Cargas**

Las cargas que se mencionan, tienen los mismos valores que las aplicadas en las piezas de aluminio. Sin embargo, su método de aplicación difiere en algunos estudios. Por ello, cada estructura tendrá la explicación correspondiente.

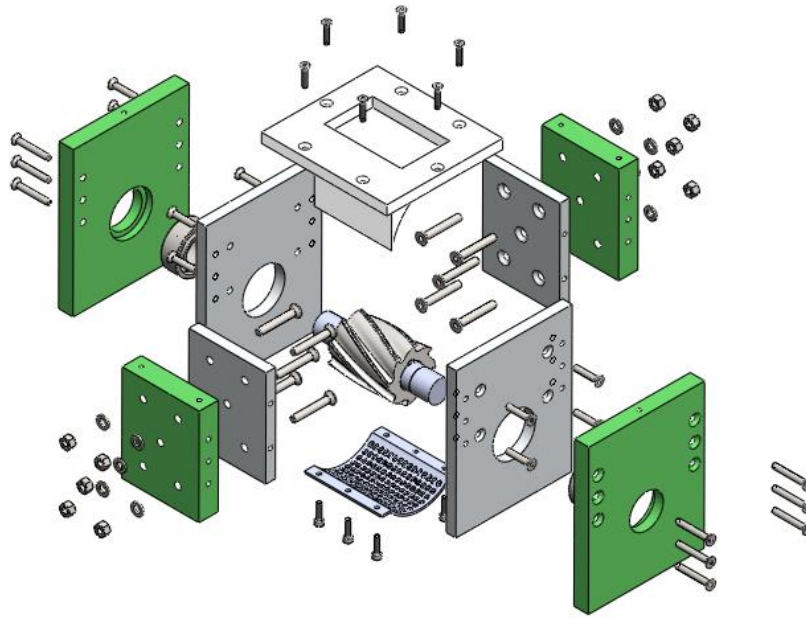


Figura 116: Conjunto explosionado (Detalle estructuras plástico) [Fuente propia]

En primer lugar se abordarán los estudios realizados a las piezas laterales de plástico y posteriormente a las frontales. En estas últimas, se han llevado a cabo dos ensayos, diferenciados por la aplicación de la carga axial (de masa remota y distribuida).

#### ***3.4.1.1 Estructuras laterales de plástico***

##### **Sujeciones**

La geometría fija se localiza en los agujeros avellanados de la cara frontal de la pieza. No se han incluido los agujeros laterales con el propósito de comprobar si con menos sujeciones la pieza sigue siendo capaz de soportar las cargas.



## Cargas

Se ha seguido el mismo criterio que para las piezas de aluminio, el de simplificar la fuerza en una componente puntual aplicada en la mitad de la estructura y a 27,5 mm de altura.

## Tensiones de Von Mises

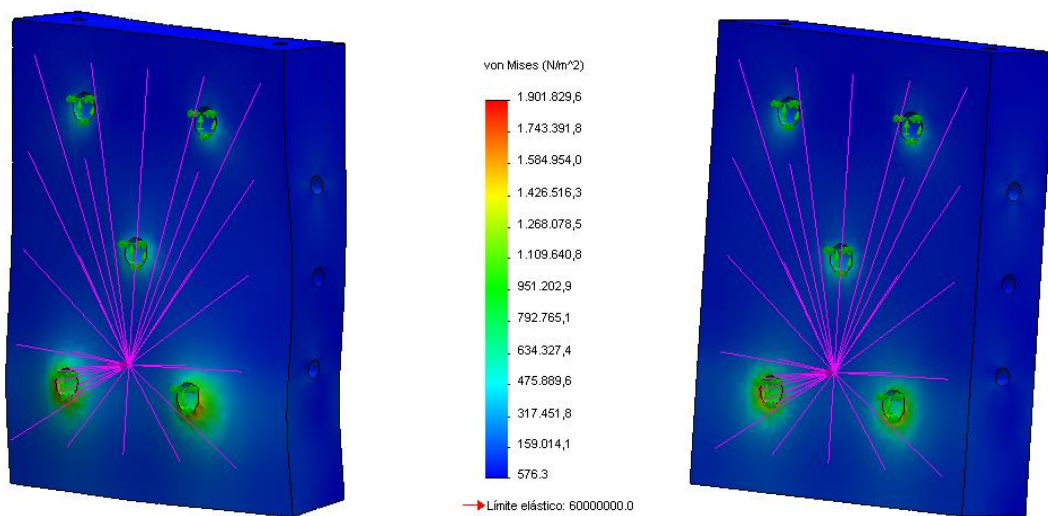


Figura 117: Tensiones de Von Mises (Estructura lateral de aluminio) [Fuente propia]

Los resultados son similares a los obtenidos con las estructuras de aluminio. La carga puntual aplicada en la pared de la estructura provoca una acumulación de tensiones en los agujeros de los tornillos (más pronunciada en los agujeros inferiores). Su valor máximo  $1901829,5 \text{ N/mm}^2$  está muy por debajo del límite elástico del PLA.

## Desplazamientos

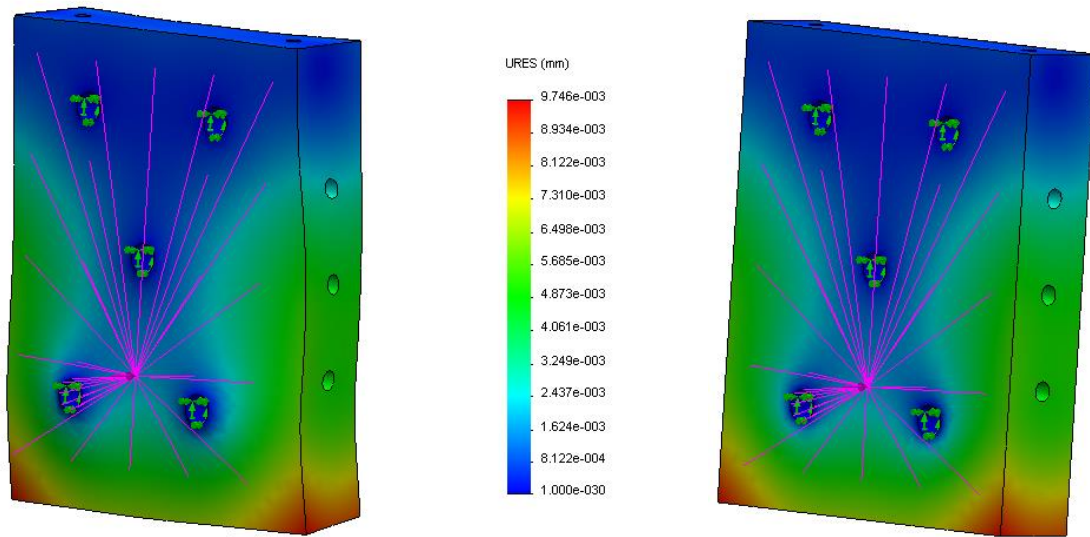


Figura 118: Desplazamientos (Estructuras laterales de plástico) [Fuente propia]

Los desplazamientos máximos, al igual que las tensiones son prácticamente despreciables, pues su valor es de aproximadamente 0,01mm y se dan en las esquinas de la pieza.

### 3.4.1.2 Estructura frontal de plástico

#### Sujeciones

En este caso, la sujeción de geometría fija se localiza también en los agujeros avellanados de la cara frontal de la pieza. No se han incluido los agujeros laterales con el propósito de comprobar si con menos sujeciones la pieza sigue siendo capaz de soportar las cargas.

#### Cargas

Aquí se han planteado dos casos, que han llevado a la realización de dos estudios. En el primero de ellos la carga se aplica de forma puntual, como masa remota en el centro del

agujero principal de la estructura. Recuérdese que este agujero es el alojamiento del rodamiento y que es este elemento el que transmite las fuerzas axiales producidas por la fresa. En el segundo, se aplica la fuerza como componente distribuida a lo largo de la pared que está en contacto con el rodamiento.

### Tensiones de Von Mises

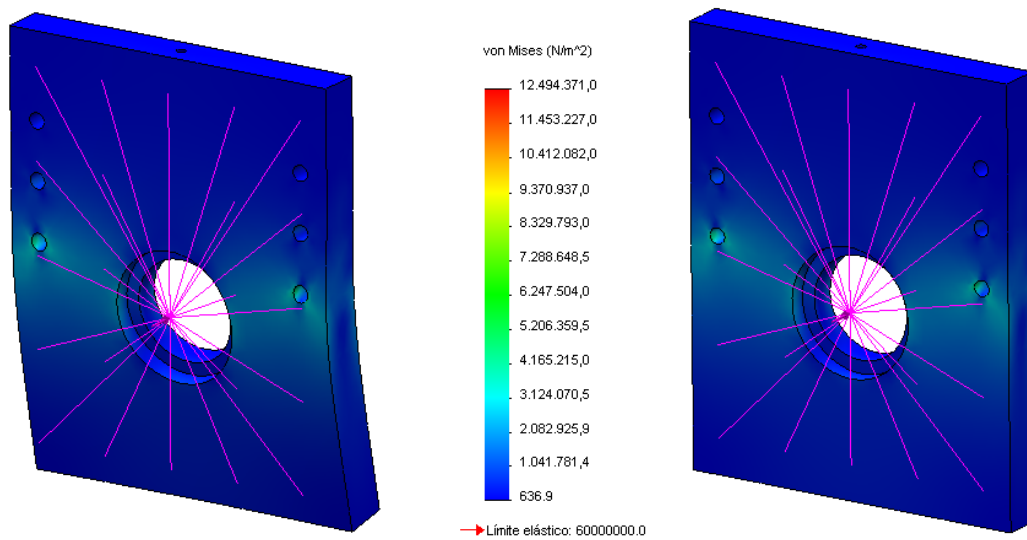


Figura 119: Tensiones de Von Mises (Estructura Frontal Plástico, carga puntual) [Fuente propia]

En la figura anterior se puede apreciar las pocas tensiones que se generan en la pieza, solamente concentradas en los taladros más próximos al punto de aplicación de la fuerza axial.

## Desplazamientos

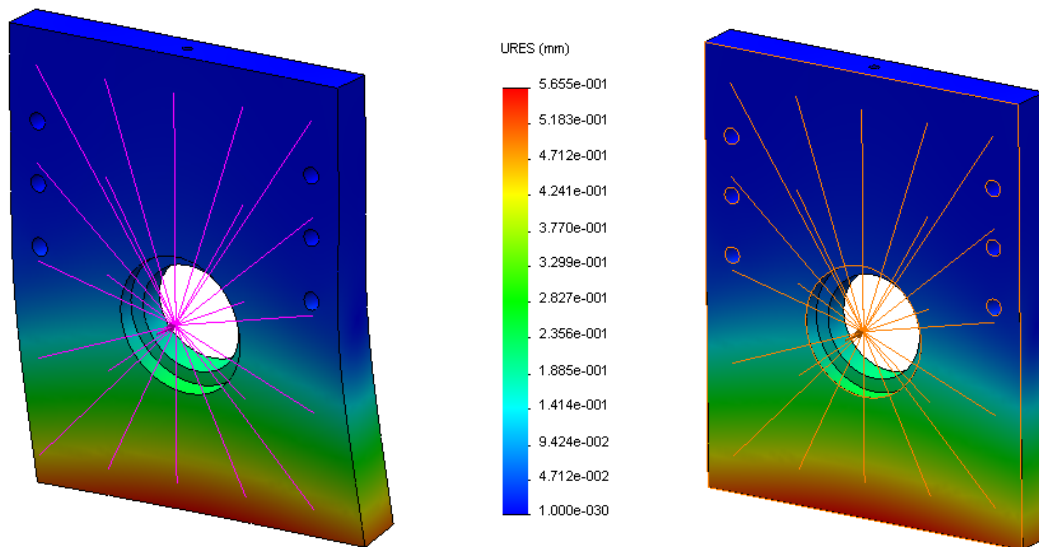


Figura 120: Desplazamientos (Estructura Frontal de plástico, carga puntual) [Fuente propia]

Los desplazamientos máximos se dan en la zona inferior de la pieza por la ausencia de sujeciones en esa zona. Los máximos son de 0,56 mm.

En el siguiente estudio se modifica la aplicación de la carga.

## Tensiones de Von Mises

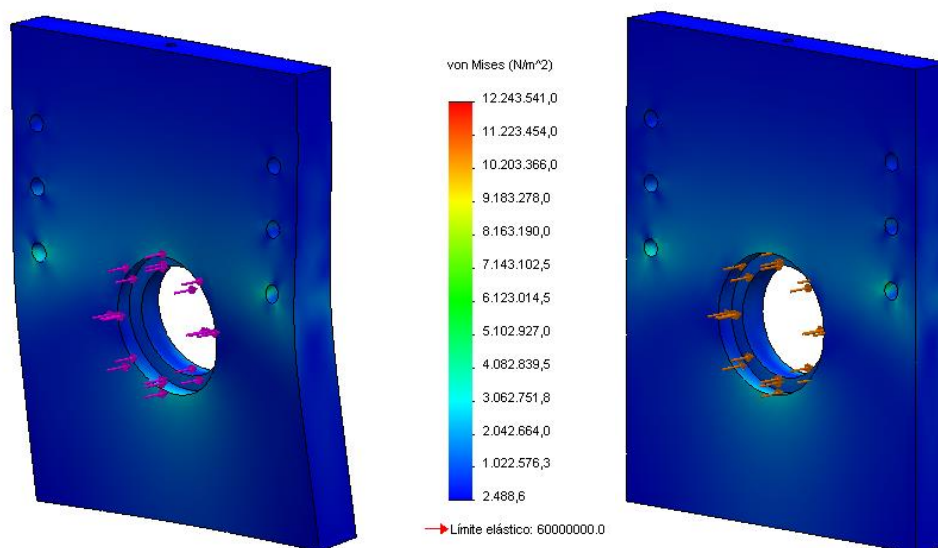


Figura 121: Tensiones de Von Mises (Estructura Frontal Plástico, carga distribuida) [Fuente propia]

Los valores de tensiones son prácticamente exactos a los obtenidos con la masa puntual.

## Desplazamientos

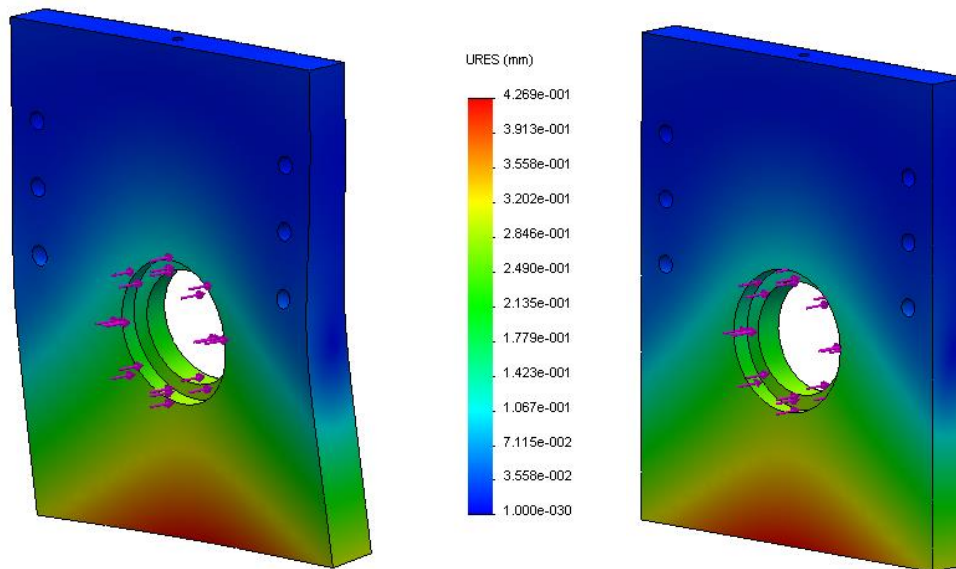


Figura 122: Desplazamientos (Estructura Frontal de plástico, carga distribuida) [Fuente propia]

Sucede lo mismo con los valores máximos de los desplazamientos, que también concuerdan con los obtenidos en la primera simulación.

### 3.4.2 Estructura superior de plástico

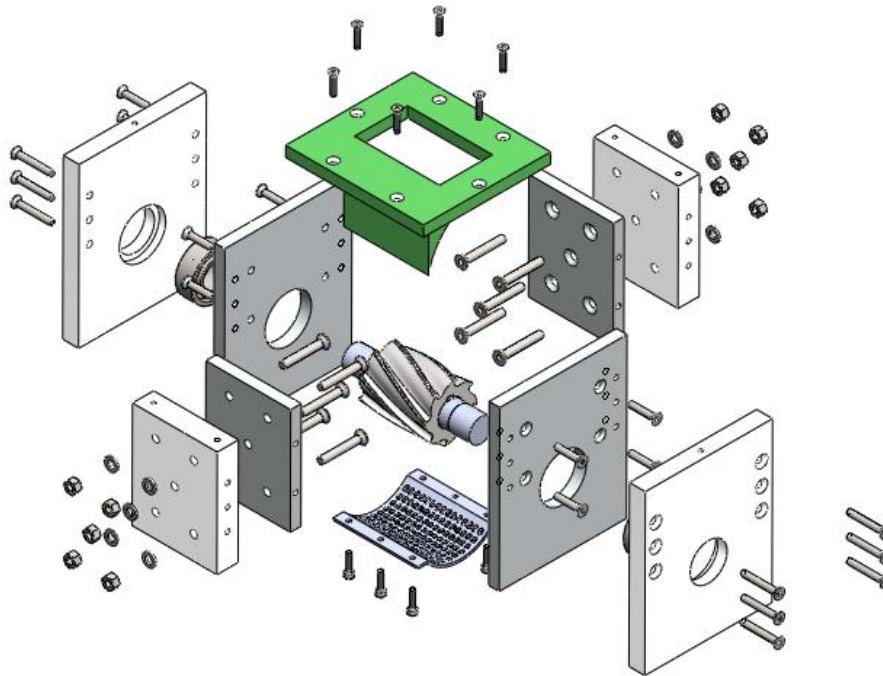


Figura 123: Conjunto explosionado (Indicación estructura superior plástico) [Fuente propia]

Esta pieza se ha comentado durante todo el trabajo y tiene varias funciones: guiar el plástico hacia la zona de triturado y evitar las proyecciones de fragmentos.

#### Sujeciones

Está unida a las estructuras laterales y frontales de plástico mediante tornillos de métrica 4. Está en contacto con una las estructura lateral de aluminio y una parte entra en el espacio de triturado. Para la simulación en SolidWorks, se ha aplicado geometría fija en las hendiduras de los tornillos y las cargas de fuerza tangencial en su curvatura inferior. Se supone por tanto, que las estructuras laterales y frontales absorben los demás esfuerzos (cargas radiales y axiales). Es un estudio sobreestimado puesto que la pieza

está en contacto con otros componentes y en su parte curva no llega directamente la carga tangencial.

## Cargas

Esta carga que se comenta, se ha supuesto como distribuida a lo largo de la superficie curva inferior. Realmente tendría sentido si una pieza fuese presionada por la fresa hacia esta parte de la estructura. Es una consideración que aumenta la criticidad en las condiciones y por tanto, en cierto modo, la seguridad.

## Tensiones de Von Mises

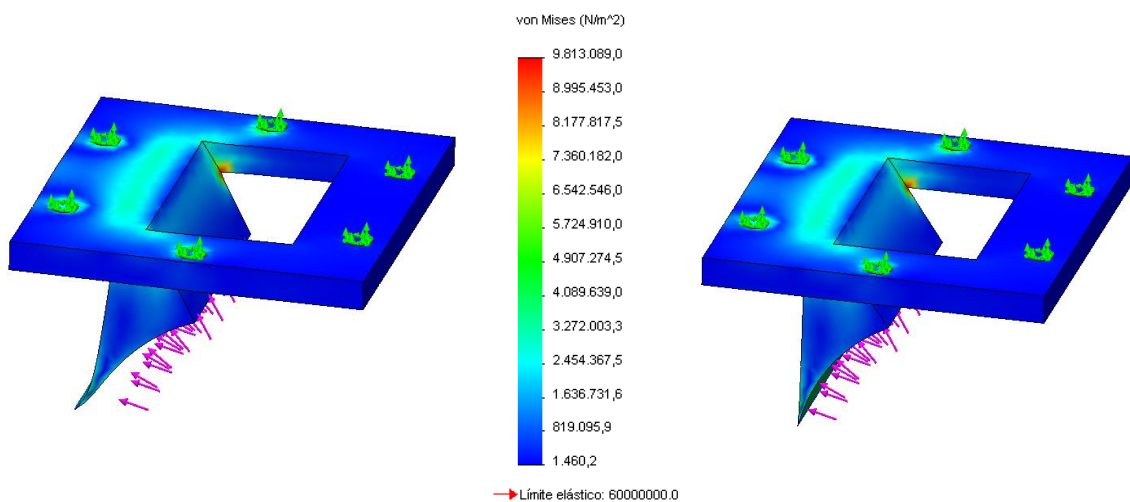


Figura 124: Tensiones de Von Mises (Estructura Superior de Plástico) [Fuente propia]

La fuerza aplicada a lo largo de la superficie curva, produce una concentración de tensiones en las aristas mas sensibles y pronunciadas. Justamente esta concentración se encuentra en las aristas que unen la pendiente con sus partes laterales. La tensión máxima que se da en esta zona es de  $9.813.089 \frac{N}{m^2}$ . Este valor está dentro del límite elástico del material (PLA). Representa un 16% del mismo.

## Desplazamientos

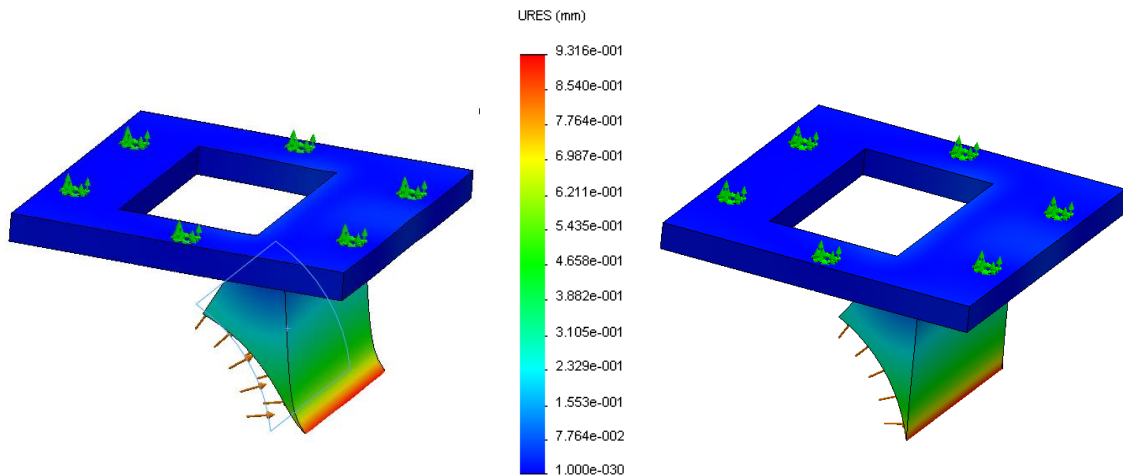


Figura 125: Desplazamientos (Estructura Superior Plástico) [Fuente propia]

En esta pieza se dan los mayores desplazamientos de todos los componentes de la trituradora. Esto se debe a dos motivos principales:

1. Parte inferior es demasiado delgada. El diseño tiene unos bordes muy finos en su parte inferior, que podrían ocasionar algún problema durante el funcionamiento y también a lo largo del tiempo. Este elemento se podría desgastar a medida que se incrementase el triturado de plásticos.
2. Simulación sin contacto entre componentes. La pieza fue simulada en SolidWorks como sólido sin conexiones. En la realidad, la pared inferior de la estructura estaría en contacto con la pared de aluminio, por lo que no habría penetración y quedaría el desplazamiento reducido.



#### **4. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO**

Los resultados de tensiones y desplazamientos mostrados por las estructuras de la trituradora tras la simulación por el método de elementos finitos, reflejan unos valores inferiores a los máximos que puede soportar el material. Esto quiere decir que todas las piezas de la máquina, incluidas las replicadas mediante impresión 3D, soportan las cargas generadas por el motor eléctrico, y por consiguiente la que se traduce hasta la herramienta de corte.





Universidad  
de La Laguna

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

**SECCIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

# **ANEXO IV: SELECCIÓN DE RODAMIENTOS**

**TRITURADORA DE PLÁSTICOS MEDIANTE  
ELEMENTOS REPLICADOS EN IMPRESORA 3D**

**Titulación**

Grado en Ingeniería Mecánica

**Autor**

Pablo Armas Correa

**Tutoras**

María M. Laz Pavón

Rosa E. Navarro Trujillo

Septiembre 2015



# ÍNDICE ANEXO IV

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	231
<b>2. CLASE DE RODAMIENTO ESCOGIDO</b> .....	232
<b>3. DIMENSIONES DEL RODAMIENTO</b> .....	234
<b>4. TOLERANCIAS DEL RODAMIENTO</b> .....	235
<b>5. TIPO DE AJUSTE RECOMENDADO</b> .....	238



## **1. INTRODUCCIÓN**

En este documento de anexos, se adjunta información complementaria a la memoria. Se abordara en este caso, la elección de los rodamientos y sus características principales, así como su tolerancia y ajuste.

## 2. CLASE DE RODAMIENTO ESCOGIDO

Se han elegido los rodamientos rígidos de bolas de una sola hilera para la máquina trituradora. Como queda reflejado en la figura 126, tienen unas buenas características, sobre todo con respecto a características como altas velocidades, precisión y ruido.

Tipos de Rodamiento		Rodamientos Rígidos de Bolas de una Hilera	Rodamientos para Magnetos	Rodamientos de Bolas de Contacto Angular	Rodamientos de Bolas de Contacto Angular de Hilera Doble	Rodamientos de Bolas de Contacto Angular Duplex	Rodamientos de Bolas de Cuatro Puntos de Contacto	Rodamientos de Bolas Autoalineantes	Rodamientos de Rodillos Cilíndricos	Rodamientos de Rodillos Cilíndricos de Doble Hilera	Rodamientos de Rodillos Cilíndricos con una Sola Guía Lateral
		Características									
Capacidad de Carga	Cargas radiales	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Cargas axiales	↔	←	↔	↔	↔	↔	↔	×	×	←
	Cargas combinadas	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○
Alta Velocidad		◎	○	◎	○	○	○	○	◎	○	○
Alta Precisión		◎		◎		◎	○		◎	◎	
Bajo ruido y par		◎							○		

◎ Excelente    ○ Buena    ○ Correcta    ○ Pobre    × Imposible    ← Una dirección sólo    ↔ Dos direcciones

Figura 126: Características comunes de los rodamientos [42]

También interesan al diseño por su capacidad de carga, en especial la axial (en dos direcciones). Como se expresa en el Anexo Cálculos, la utilización de una fresa con ángulo de hélice de 30°, produce una fuerza axial. Se hace necesario por tanto, disponer de rodamientos que soporten cargas axiales, por mínimas que sean.

En el caso de que la trituradora del presente diseño, tuviese unas condiciones de trabajo más exigentes (cargas axiales o radiales y/o velocidades superiores) tendría que valorarse la utilización de otro tipo de rodamientos.





Figura 127: Rodamiento de bolas de ranura profunda [42]

Los rodamientos de bolas de ranura profunda y una sola hilera son, hasta el momento, el tipo de rodamientos más utilizados. Además de las cargas radiales, también pueden soportar cargas axiales en cualquier dirección. Debido a su bajo par, son altamente adecuados en aplicaciones en que se necesitan altas velocidades y bajas pérdidas de potencia. Además de los rodamientos de tipo abierto, este tipo de rodamientos suelen contar con blindaje de acero o con sellados de goma instalados en una o ambas caras.

Para la trituradora, ha sido sencillo escoger el rodamiento adecuado, puesto que se tenía el diámetro del eje como medida prefijada.

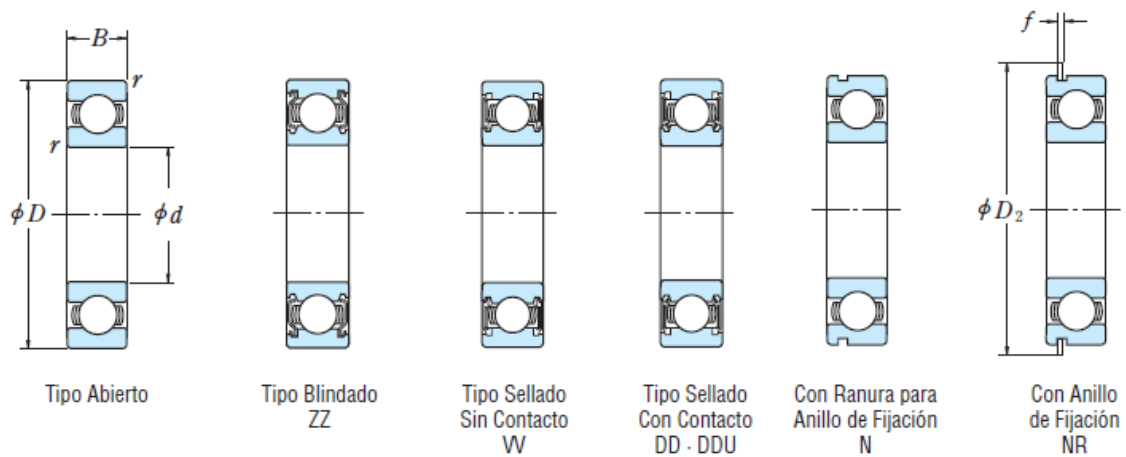


Figura 128: Tipo de rodamientos de ranura profunda [42]

Se han elegido rodamientos tipo blindado ZZ como el segundo de la figura superior. Su utilización se debe a que durante el corte, se generan pequeños fragmentos de plástico, que podrían introducirse en el interior de las carcasas y producir averías. Con el sellado,

se mantiene la zona interior limpia y se evita con ello, posibles fallos o problemas de funcionamiento.

### 3. DIMENSIONES DEL RODAMIENTO

El rodamiento finalmente escogido viene determinado por la figura 129, en la que se muestran las dimensiones ofertadas, los índices de capacidad de carga, las velocidades límite y los números de rodamientos.

Dimensiones (mm)				Índices de Carga Básica (N)				Factor $f_0$	Velocidad Límite (rpm)			Números de Rodamiento			
$d$	$D$	$B$	$r$ mín.	$C_r$	$C_{0r}$	$C_r$	$C_{0r}$		Grasa		Aceite	Abierto	Blindado	Sellado	
								Abierto Z · ZZ V · VV	DU DDU	Abierto Z					
10	19	5	0.3	1 720	840	175	86	14.8	34 000	24 000	40 000	6800	ZZ	VV	DD
	22	6	0.3	2 700	1 270	275	129	14.0	32 000	22 000	38 000	6900	ZZ	VV	DD
	26	8	0.3	4 550	1 970	465	201	12.4	30 000	22 000	36 000	6000	ZZ	VV	DDU
	30	9	0.6	5 100	2 390	520	244	13.2	24 000	18 000	30 000	6200	ZZ	VV	DDU
	35	11	0.6	8 100	3 450	825	350	11.2	22 000	17 000	26 000	6300	ZZ	VV	DDU
	12	21	5	0.3	1 920	1 040	195	106	15.3	32 000	20 000	38 000	6801	ZZ	VV
24		6	0.3	2 890	1 460	295	149	14.5	30 000	20 000	36 000	6901	ZZ	VV	DD
28		7	0.3	5 100	2 370	520	241	13.0	28 000	—	32 000	16001	—	—	—
28		8	0.3	5 100	2 370	520	241	13.0	28 000	18 000	32 000	6001	ZZ	VV	DDU
32		10	0.6	6 800	3 050	695	310	12.3	22 000	17 000	28 000	6201	ZZ	VV	DDU
37		12	1	9 700	4 200	990	425	11.1	20 000	16 000	24 000	6301	ZZ	VV	DDU
15	24	5	0.3	2 070	1 260	212	128	15.8	28 000	17 000	34 000	6802	ZZ	VV	DD
	28	7	0.3	4 350	2 260	440	230	14.3	26 000	17 000	30 000	6902	ZZ	VV	DD
	32	8	0.3	5 600	2 830	570	289	13.9	24 000	—	28 000	16002	—	—	—
	32	9	0.3	5 600	2 830	570	289	13.9	24 000	15 000	28 000	6002	ZZ	VV	DDU
	35	11	0.6	7 650	3 750	780	380	13.2	20 000	14 000	24 000	6202	ZZ	VV	DDU
	42	13	1	11 400	5 450	1 170	555	12.3	17 000	13 000	20 000	6302	ZZ	VV	DDU
17	26	5	0.3	2 630	1 570	268	160	15.7	26 000	15 000	30 000	6803	ZZ	VV	DD
	30	7	0.3	4 600	2 550	470	260	14.7	24 000	15 000	28 000	6903	ZZ	VV	DDU
	35	8	0.3	6 000	3 250	610	330	14.4	22 000	—	26 000	16003	—	—	—
	35	10	0.3	6 000	3 250	610	330	14.4	22 000	13 000	26 000	6003	ZZ	VV	DDU
	40	12	0.6	9 550	4 800	975	490	13.2	17 000	12 000	20 000	6203	ZZ	VV	DDU
	47	14	1	13 600	6 650	1 390	675	12.4	15 000	11 000	18 000	6303	ZZ	VV	DDU
20	32	7	0.3	4 000	2 470	410	252	15.5	22 000	13 000	26 000	6804	ZZ	VV	DD
	37	9	0.3	6 400	3 700	650	375	14.7	19 000	12 000	22 000	6904	ZZ	VV	DDU
	42	8	0.3	7 900	4 450	810	455	14.5	18 000	—	20 000	16004	—	—	—
	42	12	0.6	9 400	5 000	955	510	13.8	18 000	11 000	20 000	6004	ZZ	VV	DDU
	47	14	1	12 800	6 600	1 300	670	13.1	15 000	11 000	18 000	6204	ZZ	VV	DDU
	52	15	1.1	15 900	7 900	1 620	805	12.4	14 000	10 000	17 000	6304	ZZ	VV	DDU
22	44	12	0.6	9 400	5 050	960	515	14.0	17 000	11 000	20 000	60/22	ZZ	VV	DDU
	50	14	1	12 900	6 800	1 320	695	13.5	14 000	9 500	16 000	62/22	ZZ	VV	DDU
	56	16	1.1	18 400	9 250	1 870	940	12.4	13 000	9 500	16 000	63/22	ZZ	VV	DDU

Figura 129: Dimensiones y características de los rodamientos de ranura profunda ( $d$  interior 10 - 22 mm) [42]

Como se ha comentado, el diámetro interior del rodamiento es una magnitud prefijada, dado que viene determinada por el diámetro del eje y este a su vez por el diámetro del agujero de la fresa. Es cierto que la sección del eje a la altura de las paredes laterales de aluminio podría ser menor, pues los 22 mm cumplen ampliamente con los requisitos mínimos. De haber sido así, el diámetro interior del rodamiento podría ser más pequeño. El cambio de sección, mejoraría la resistencia frente a cargas axiales e incluso dejaría al rodamiento menos expuesto a la acción del corte y a los fragmentos que se generan en él. Sin embargo, esta resistencia se presenta en la dirección opuesta a la fuerza axial de corte, lo que no beneficia demasiado.

Se aprecia también en la tabla los índices de carga básica, que superan ampliamente los valores de las reacciones radiales y axiales obtenidos en el *Anexo Cálculos*.

#### **4. TOLERANCIAS DEL RODAMIENTO**

Las tolerancias para las dimensiones geométricas y la precisión de funcionamiento de los rodamientos vienen especificadas por la norma *ISO 492/199/582 “Precisiones de los Rodamientos”*.

En relación con las clases de precisión de los rodamientos, se ha escogido de tipo ISO normal, cuyos valores se exponen en la figura 130.

Tipos de Rodamientos		Clases de Tolerancia Aplicables					Tablas Aplicables	Páginas de Referencia
Rodamientos de Bolas de Ranura Profunda	Normal	Clase 6	Clase 5	Clase 4	Clase 2	Tabla 8.2	A60 -A63	
Rodamientos de Bolas de Contacto Angular	Normal	Clase 6	Clase 5	Clase 4	Clase 2			
Rodamientos de Bolas Autoalineantes	Normal	Clase 6 equivalente	Clase 5 equivalente	—	—			
Rodamientos Cilíndricos	Normal	Clase 6	Clase 5	Clase 4	Clase 2			
Rodamientos de Agujas (tipo sólido)	Normal	Clase 6	Clase 5	Clase 4	—			
Rodamientos Esféricos	Normal	Clase 6	Clase 5	—	—			
Rodamientos de Rodillos Cónicos	Diseño Métrico	Normal Clase 6X	—	Clase 5	Clase 4	—	Tabla 8.3	A64 -A67
	Diseño en Pulgadas	ANSI/ABMA CLASE 4	ANSI/ABMA CLASE 2	ANSI/ABMA CLASE 3	ANSI/ABMA CLASE 0	ANSI/ABMA CLASE 00	Tabla 8.4	A68 -A69
Rodamientos para Magnetos	Normal	Clase 6	Clase 5	—	—	Tabla 8.5	A70 -A71	
Rodamientos de Bolas de Empuje Axial	Normal	Clase 6	Clase 5	Clase 4	—	Tabla 8.4	A72 -A74	
Rodamientos Esféricos de Empuje	Normal	—	—	—	—	Tabla 8.7	A75	
Estándares equivalentes (Referencia)	JIS(1)	Clase 0	Clase 6	Clase 5	Clase 4	Clase 2	—	—
	DIN(2)	P0	P6	P5	P4	P2	—	—
	ANSI/ABMA(3)	Rodamientos de Bolas	ABEC 1	ABEC 3	ABEC 5 (CLASE 5P)	ABEC 7 (CLASE 7P)	ABEC 9 (CLASE 9P)	Tabla 8.2
Rodamientos de Rodillos		RBEC 3	RBEC 3	RBEC 5	—	—	Tabla [ 8.8 ]	
Rodamientos de Rodillos cónicos		CLASE 4	CLASE 2	CLASE 3	CLASE 0	CLASE 00	Tabla [ 8.4 ]	

Figura 130: tipo de rodamientos y clase de tolerancia [42]

La clase de tolerancia aplicable en el presente caso es “normal”, para rodamientos de bolas de ranura profunda. En la figura se indican otras páginas de referencia y otras tablas de aplicación, donde vendrán determinadas las tolerancias a aplicar. Antes de comprobar estos valores, es necesario familiarizarse con una serie de símbolos que determinan las dimensiones globales y precisiones de los rodamientos.

Símbolos para Dimensiones Globales y Precisión de Funcionamiento			
$d$	Diám. interior del rod., nominal	$D$	Diám. exterior del rod., nominal
$\Delta_{ds}$	Desviación de un único diám. interior	$\Delta_{Ds}$	Desviación de un único diám. exterior
$\Delta_{dmp}$	Desviación media del diám. interior de un solo plano	$\Delta_{Dmp}$	Desviación media del diám. exterior de un solo plano
$V_{dp}$	Variación del diám. interior de un solo plano radial	$V_{Dp}$	Variación del diám. exterior de un solo plano radial
$V_{dmp}$	Variación media del diám. interior	$V_{Dmp}$	Variación media del diám. exterior
$B$	Anchura del anillo interior, nominal	$C$	Anchura del anillo exterior, nominal
$\Delta_{Bs}$	Desviación de la anchura de un solo anillo interior	$\Delta_{Cs}$	Desviación de la anchura de un solo anillo exterior
$V_{Bs}$	Variación de la anchura del anillo interior	$V_{Cs}$	Variación de la anchura del anillo exterior
$K_{ia}$	Salto radial del anillo interior de un rodamiento montado	$K_{ea}$	Salto radial del anillo exterior de un rodamiento montado
$S_d$	Salto de la cara de referencia del anillo interior (cara posterior, donde sea aplicable) con el diámetro	$S_D$	Variación de la inclinación de la generatriz de la superficie exterior del rod. con el lado de referencia del anillo exterior (posterior)
$S_{ia}$	Salto de la cara (posterior) del anillo interior de un rodamiento montado con el camino de rodadura	$S_{ea}$	Salto del lado (posterior) del anillo exterior de un rod. montado con camino de rodadura
$S_i, S_e$	Variación de grosor entre el camino de rodadura y la cara posterior del rod. de empuje		
$T$	Anchura del rod., nominal		
$\Delta_{Ts}$	Desviación de la anchura real del rod.		

Figura 131: Métodos de medición para la precisión de funcionamiento de rodamientos [42]

Diámetro Interior Nominal $d$ (mm)		$\Delta_{dmp}$ (°)								$\Delta_{ds}$ (°)					
		Normal		Clase 6		Clase 5		Clase 4		Clase 2		Clase 4		Clase 2	
		alta	baja	alta	baja	alta	baja	alta	baja	alta	baja	alta	baja	alta	baja
más de	hasta														
0.6 <sup>(1)</sup>	2.5	0	-8	0	-7	0	-5	0	-4	0	-2.5	0	-4	0	-2.5
2.5	10	0	-8	0	-7	0	-5	0	-4	0	-2.5	0	-4	0	-2.5
10	18	0	-8	0	-7	0	-5	0	-4	0	-2.5	0	-4	0	-2.5
18	30	0	-10	0	-8	0	-6	0	-5	0	-2.5	0	-5	0	-2.5
30	50	0	-12	0	-10	0	-8	0	-6	0	-2.5	0	-6	0	-2.5
50	80	0	-15	0	-12	0	-9	0	-7	0	-4	0	-7	0	-4
80	120	0	-20	0	-15	0	-10	0	-8	0	-5	0	-8	0	-5
120	150	0	-25	0	-18	0	-13	0	-10	0	-7	0	-10	0	-7
150	180	0	-25	0	-18	0	-13	0	-10	0	-7	0	-10	0	-7
180	250	0	-30	0	-22	0	-15	0	-12	0	-8	0	-12	0	-8
250	315	0	-35	0	-25	0	-18	-	-	-	-	-	-	-	-
315	400	0	-40	0	-30	0	-23	-	-	-	-	-	-	-	-
400	500	0	-45	0	-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500	630	0	-50	0	-40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
630	800	0	-75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
800	1 000	0	-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 000	1 250	0	-125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 250	1 600	0	-160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 600	2 000	0	-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 132: Tolerancia para rodamientos radiales [42]

## 5. TIPO DE AJUSTE RECOMENDADO

Es importante elegir el ajuste más adecuado para evitar el deslizamiento entre el anillo y la estructura circundante. Si se produce este tipo de deformación, las superficies de ajuste se desgastan y causan daños en el eje. Las partículas de metal también pueden acabar en el interior del rodamiento y provocar daños que a su vez pueden sobrecalentar el rodamiento y generar vibraciones. Hay que tener en cuenta varios factores al elegir el ajuste más adecuado, tales como la magnitud y el tipo de cargas a las que está sometido el rodamiento, las diferencias de temperatura y las herramientas utilizadas en el montaje y desmontaje.

Tal como se ha descrito previamente, al seleccionar el ajuste correcto, deben tenerse en cuenta muchos factores, como por ejemplo: las características y la magnitud de la carga del rodamiento, las diferencias de temperatura, los medios para el montaje y desmontaje del rodamiento. Si el alojamiento es delgado o si el montaje se realiza sobre un eje hueco, es posible que se necesite un ajuste con mayor apriete de lo normal. Un alojamiento partido, a menudo, deforma el rodamiento en forma oval; por lo tanto, debe evitarse un alojamiento partido si se necesita un ajuste más apretado para el anillo exterior.

Los ajustes de los anillos interior y exterior deben tener mucho apriete en aplicaciones en las que el eje esté sujeto a vibraciones considerables. Los ajustes aconsejados para algunas de las aplicaciones más comunes se indican en la Figura 133. Para la precisión y acabado de los ejes y alojamientos, consultar la Figura 134.

Condiciones de carga	Ejemplos	Diámetro del eje (mm)			Tolerancia del Eje	Observaciones	
		Rodamientos de bolas	Rod. de Rodillos Cilíndricos, Rod. de Rodillos Cónicos	Rod. de Rodillos Esféricos			
<b>Rodamientos Radiales con Diámetros Interiores Cilíndricos</b>							
Carga Rotatoria sobre el Anillo Exterior	Deseable un fácil desplazamiento axial del anillo interior sobre el eje.	Ruedas en Ejes Estacionarios	Diámetros de todos los Ejes			g6	Use g5 y h5 donde se necesite precisión. En rodamientos grandes, puede usarse f6 para facilitar movimiento axial.
	Innecesario el fácil desplazamiento axial del anillo interior sobre el eje	Poleas de tensión Levas				h6	
Carga Rotatoria del Anillo Interior o Dirección de Carga Indeterminada	Cargas Ligeras o Variables (< 0.06C <sub>r</sub> ( <sup>1</sup> ))	Dispositivos Eléctricos Domésticos, Bombas, Compresores, Vehículos de Transporte, Maquinaria de Precisión, Máquinas Herramienta	<18	—	—	js5	k6 y m6 se pueden usar para rodamientos de rodillos cónicos de una sola hilera y en rodamientos de bolas de contacto angular de una sola hilera en lugar de k5 y m5.
			18~100	<40	—	js6(j6)	
			100~200	40~140	—	k6	
			—	140~200	—	m6	
	Cargas normales (0.06 a 0.13C <sub>r</sub> ( <sup>1</sup> ))	Aplicaciones Generales de Rodamientos, Motores de Tamaño Medio y Grande, Turbinas, Bombas, Rodamientos Principales para Motores, Engranajes, Maquinaria para Madera	<18	—	—	js5-6 (j5-6)	
			18~100	<40	<40	k5-6	
			100~140	40~100	40~65	m5-6	
			140~200	100~140	65~100	m6	
			200~280	140~200	100~140	n6	
			—	200~400	140~280	p6	
			—	—	280~500	r6	
	—	—	over 500	r7			
	Cargas grandes o Cargas de impacto (> 0.13C <sub>r</sub> ( <sup>1</sup> ))	Soportes para Ejes Ferroviarios, Vehículos Industriales, Motores para Tracción, Material de Construcción, Trituradoras	—	50~140	50~100	n6	
			—	140~200	100~140	p6	
—			over 200	140~200	r6		
—			—	200~500	r7		
Sólo cargas axiales		Cualquier diámetro de eje			js6 (j6)	—	

Figura 133: Ajustes de los rodamientos radiales con ejes [42]

De entre todos los ajustes posibles, el tipo finalmente el escogido es un apriete con tolerancia n6.

Se utiliza, entre otros casos, para cargas grandes o de impacto, en soportes para ejes ferroviarios, vehículos industriales y trituradores. La máquina que se está diseñando, pese a ser una trituradora, no presenta unas cargas de impacto elevadas, por lo que aplicar un apriete de este tipo, tiene un impacto positivo.

Por un lado, hay que recordar que el eje tiene una sección regular de 22 mm a lo largo de toda su longitud, lo que impide al rodamiento tener una pared de apoyo. Un apriete de este tipo ajustaría mejor al rodamiento con el eje y aumentaría la seguridad. Por otro lado, en caso excepcional de cambiar el motor o modificar las condiciones de la

máquina, este apriete sería de ayuda. La cara negativa de escoger un ajuste con tolerancia n6 es la complicación de su montaje.

Como el rodamiento va ajustado a una estructura de aluminio, es necesario conocer los ajustes de este elemento con aquellos alojamientos destinados a su colocación. El catálogo de NSK, cuenta con una tabla referente a estos ajustes, en la que se indican las condiciones de carga, las tolerancias y la posibilidad de desplazamientos axiales en el anillo exterior del rodamiento.

Condiciones de Carga		Ejemplos	Tolerancias para Diám. Int. de los Alojamiento.	Desplaz. Axial Anillo Ext.	Observaciones	
Alojamientos Sólidos	Carga rotatoria en anillo exterior	Cargas Pesadas en Rod. en Alojamientos de Paredes Finas o Cargas Pesadas con Impacto	Cubos de Ruedas Automóviles (Rodamientos de Rodillos), Ruedas de Grúas Móviles	P7	Imposible	—
		Cargas Normales o Pesadas	Cubos de Ruedas Automóviles (Rodamientos de Bolas), Cubos	N7		
		Cargas Ligeras o Variables	Rodillos Transporte Leves, Poleas tensoras	M7		
Alojamientos Sólidos o Partidos	Dirección de Carga Indeterminada	Cargas Pesadas de Impacto	Motores de Tracción	K7	Generalmente Imposible	Si no se necesita desplazamiento axial del anillo exterior.
		Cargas Normales o Pesadas	Bombas Rodamientos Principales para Cigüeñales Motores de Tamaño Medio y Grande			
Alojamientos Sólidos o Partidos	Carga rotatoria en anillo interior	Cargas de Todo Tipo	Aplicaciones Generales de Rodamientos, Soportes para Ejes Ferroviarios	H7	Fácilmente Posible	—
		Cargas Normales o Ligeras	Soportes de fundición	H8		
		Alta Elevación de Temperatura del Anillo Interior a Tráves del Eje	Secadoras de Papel	G7		
Alojamiento Sólido	Dirección de Carga Indeterminada	Deseable Funcionamiento Preciso bajo Cargas Normales o Ligeras	Rodamientos de Bolas Traseros de Cabezas de Rectificadoras, Rodamientos Libres para Compresores Centrífugos de Alta Velocidad	JS6 (J6)	Posible	—
		Cargas Pesadas	Rodamientos delanteros de los Cabezas de Rectificadoras, Rodamientos fijos de Compresores Centrífugos de alta velocidad.	K6	Generalmente Imposible	
	Carga rotatoria sobre el anillo interior	Deseables Funcionamiento Preciso y Alta Rigidez bajo Cargas Variables	Rodamientos de Rodillos Cilíndricos para Husillos Principales de Máquinas Herramienta	M6 o N6	Imposible	
Observaciones		Se necesita un nivel de ruido mínimo	Dispositivos Eléctricos Domésticos	H6	Fácilmente Posible	—

Figura 134: Ajustes de rodamientos radiales con alojamientos [42]

De la misma forma que se ha escogido un apriete elevado para el eje, se ha determinado el apriete para el alojamiento en la estructura de aluminio. Esta elección se ha basado en



las condiciones de carga de la trituradora, que pese a no ser elevadas pueden ser variables. Correctamente, se enfocan las condiciones de carga en las rotatorias sobre el anillo interior y estas a su vez en las condiciones deseables de funcionamiento: Preciso y alta rigidez bajo cargas variables. Con ello, queda definida la tolerancia para el diámetro interior del alojamiento (M6 o N6) y se comprueba la imposibilidad de desplazamiento axial del anillo exterior. Es importante subrayar las observaciones del fabricante, en las que se recomienda elevar el ajuste para alojamientos de aleaciones ligeras.





Universidad  
de La Laguna

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

**SECCIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

# **ANEXO V: CATÁLOGOS Y OTROS DOCUMENTOS**

**TRITURADORA DE PLÁSTICOS MEDIANTE  
ELEMENTOS REPLICADOS EN IMPRESORA 3D**

**Titulación**

Grado en Ingeniería Mecánica

**Autor**

Pablo Armas Correa

**Tutoras**

María M. Laz Pavón

Rosa E. Navarro Trujillo

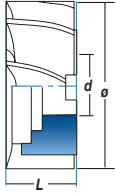
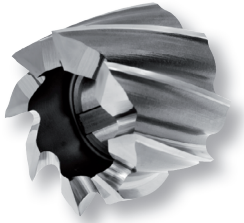
Septiembre 2015



Ref. **4040**

### FRESA FRONTAL AGUJERO HSSE 5% CO ACABADO

Finishing HSSE 5% Co Milling Cutter  
Fraise à Trou HSSE 5% Co Finition



HSSE 5% Co	DIN 1880 N	ISO 2586	30°	Tol. $\phi$ (js16) d (H7) L (K16)		
---------------	---------------	-------------	-----	---	--	--

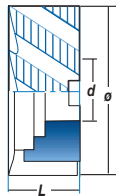
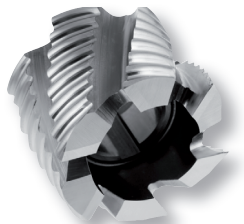
D mm	L mm	d mm	Z	N° Art. 5% Co	€
40	32	16	8	55557	93,87
50	36	22	8	55575	129,15
63	40	27	8	55593	176,45
80	45	27	10	55611	249,87
100	50	32	12	55647	402,34
125	56	40	14	55665	646,10
*160	63	50	16	55674	1154,73

\*  $\phi > 125$  mm bajo demanda / upon request / sur demande

Ref. **4080**

### FRESA FRONTAL AGUJERO HSSE 5% CO DESBASTE GRUESO

Coarse Roughing HSSE 5% Co Milling Cutter  
Fraise à Trou HSSE 5% Co Ebauche



HSSE 5% Co	DIN 1880 NR	ISO 2586	30°	Tol. $\phi$ (js16) d (H7) L (K16)		
---------------	----------------	-------------	-----	---	--	--

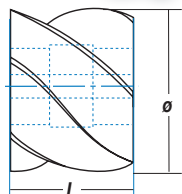
D mm	L mm	d mm	Z	N° Art. 5% Co	€
40	32	16	6	77752	136,07
50	36	22	6	77754	168,97
63	40	27	8	77755	223,97
80	45	27	8	42863	328,92
100	50	32	10	42866	542,70
125	56	40	12	42869	920,69
*160	63	50	14	42872	1597,56

\*  $\phi > 125$  mm bajo demanda / upon request / sur demande

Ref. **4010**

### FRESA FRONTAL 2 CORTES HSSE 5% CO DESBASTE MEDIO

Roughing & Finishing HSSE 5% Co Shell End Mill  
Fraise 2 Tailles HSSE 5% Co Semi-Finition



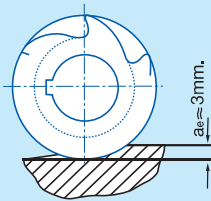
HSSE 5% Co	DIN 884 N	ISO 2584	30°	Tol. $\phi$ (js16) d (H7) L (js16)		Fresa Planear Plain Milling Cutter Fraise Cylindrique à Surfacier
---------------	--------------	-------------	-----	--	--	---

D mm	L mm	d mm	Z	N° Art. 5% Co	€
50	40	22	8	53952	110,33
50	63	22	8	53961	117,58
50	80	22	8	53970	175,27
63	50	27	8	54015	154,30
63	70	27	8	54024	187,73
80	63	32	8	54096	260,05
80	100	32	8	54123	382,29
100	70	40	10	54141	404,61

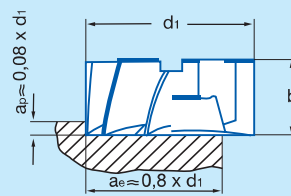
## FRESAS AGUJERO Milling Cutters Fraises à Trou

# GRUPOS TRABAJO Working Groups Groupes Travail

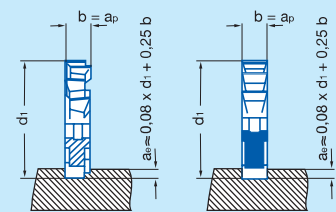
**Grupo 1: Fr. Planear**  
Plain Milling Cut. Fraises à surfacer



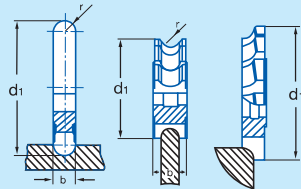
**Grupo 2: Fr. Cilíndricas Frontales**  
Shell End Mills Fraises Cylindriques frontales



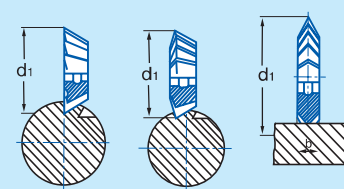
**Grupo 3: Fresas Fresadas Agujero**  
Side & Face Milling Cutters Fraises à trou



**Grupo 4: Convexas y Cóncavas**  
Convex & Concave Half Circle Fraises convexas et concaves demi-cercle



**Grupo 5: Cónicas Frontales e Isósceles**  
Angular & Double Angle Fraises cónicas frontales et isocèle



Material		Velocidad Corte Cutting Speed Vitesse de coupe (m/min.)			Avance (disminuir hasta 0,35 x fz al incrementar ap) Feed (reduce up to 0,35 x fz when growing ap) Avance : Réduire jusqu'à 0,35 x fz si augmente ap (fz/rev.)				
		HSS	HSSE 5% Co	PMX	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
1.	1.1 <850 N/mm <sup>2</sup>	17-25	24-35	31-41	0,18	0,15	0,06	0,04	0,06
	1.2 < 1000 N/mm <sup>2</sup>	13-17	18-24	23-30	0,15	0,12	0,07	0,04	0,04
	1.3 850-1300 N/mm <sup>2</sup>	10-13	14-19	18-24	0,10	0,08	0,04	0,04	0,03
2. INOX Stainless Steel Aciers Inox	2.1 AUSTENÍTICO Austenitic - Austenitique	13-17	18-24	23-30	0,12	0,10	0,08	0,06	0,03
	2.2 MARTENSÍTICO Martensitic - Martensitique				10-14	14-20	18-24	0,04	0,03
3. FUNDICIÓN Cast Iron Fonte	3.1 < 700 N/mm <sup>2</sup>	10-14	14-20	18-24	0,25	0,22	0,08	0,08	0,01
	3.2 700-1000 N/mm <sup>2</sup>				21-27	30-38	39-51	0,06	0,06
4. TITANIO - TITANIUM - TITANE		17-24	24-35	31-41	0,13	0,11	0,07	0,05	0,04
5. Cu - BRONCE - LATÓN Copper - Bronze - Brass Cuivre - Bronze - Laiton	5.1 VIRUTA CORTA Short Chip - Coupeaux Courts	21-27	30-38	39-51	0,20	0,15	0,10	0,08	0,05
	5.2 VIRUTA LARGA Long Chip - Coupeaux Longs	49-84	70-120	91-183	0,25	0,20	0,10	0,08	0,08
6. ALUMINIO - MAGNESIO Aluminium - Magnesium	6.1 NO ALEADO Unalloyed - Sans Alliage	147-210	210-300	273-355	0,20	0,15	0,07	0,05	0,07
	6.2 < 10% Si	147-210	210-300	273-355					
	6.3 > 10% Si	42-49	60-70	78-101					
7. TERMOPLÁSTICOS Thermo-Plastics Thermoplastiques	7.1	84-126	120-180	156-203	0,16	0,12	0,06	0,05	0,06
	7.2 DUROPLÁSTICOS Hard-Plastics Plastiques Durs								

$$r.p.m. = \frac{Vc \times 1.000}{\pi \times \phi}$$

# TABLA MATERIALES

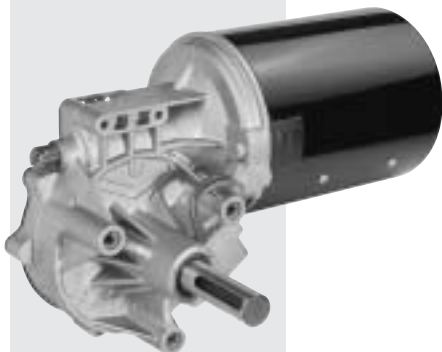
Material Table

Tableau de Materiaux

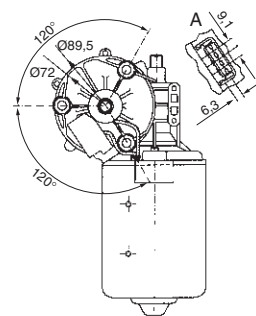
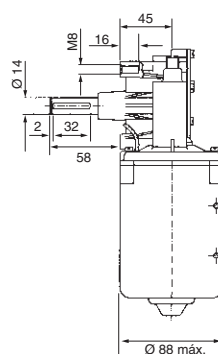
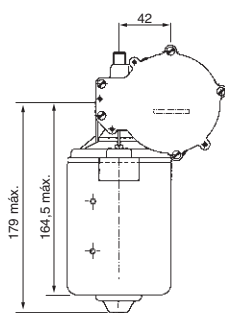
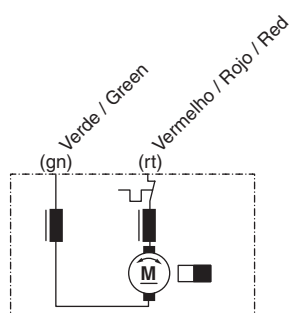
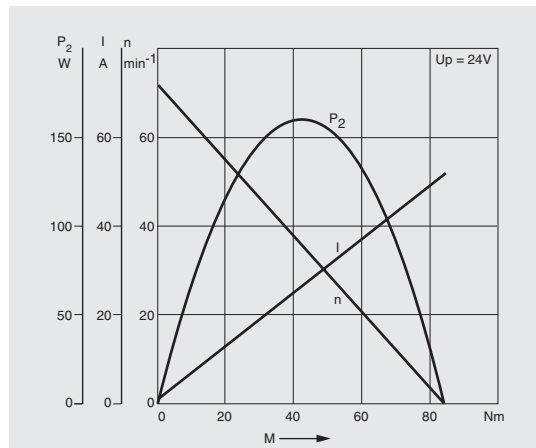
GRUPO GROUP GROUPE	SUBGRUPO SUBGROUP S. GROUPE	MATERIALES MATERIALS MATERIAUX	DUREZA (HB) Hardness (HB) Dureté (HB)	TRACCIÓN (N/mm <sup>2</sup> ) Tensile (N/mm <sup>2</sup> ) Traction (N/mm <sup>2</sup> )
1. ACERO STEEL ACIER	1.1	Aceros Construcción - Aceros Cementación Structural Steels - Case Hardening Steels Aciers de Construction - Aciers Superieurs	<250	<850
		Aceros al Carbono No Aleados - Aceros Bonificados Unalloyed Carbon Steels - Heat-Treatable Steels Acieurs au Carbone Sans Alliage - Aciers Superieurs		
	1.2	Aceros Aleados Alloyed Steels Aciers Allies	<300	<1000
	1.3	Aceros Aleados Tratados - Aceros Bonificados Heat-Treatable Alloyed Steels Aciers Allies Superieurs	300-400	850-1300
	1.4	Materiales resistentes al desgaste Wear-Resistant Materials - Matériaux résistant a l'usure	400-500	1330-1600
2. INOX STAINLESS STEEL INOX	2.1	INOX Austeníticos Austenitic Stainless INOX Austenitiques	<250	<850
	2.2	INOX Ferríticos-Martensíticos Ferritic-Martensitic Stainless INOX Ferritiques-Martensitiques	<320	<1100
3. FUNDICIÓN CAST IRON FONTE	3.1	Fundición Gris Grafito Esferoidal - Fundición Maleable Spheroidal Graphite Cast Iron - Malleable Cast Iron Fonte Grise Graphite Spherique	<200	<700
	3.2	Fundición Gris Grafito Esferoidal - Fundición Maleable Spheroidal Graphite Cast Iron - Malleable Cast Iron Fonte Grise Graphite Spherique	>200<300	>700<1000
4. TITANIO TITANIUM TITANE		Aleaciones Titanio / Alloyed Titanium / Alliages Titane		
5. COBRE BRONZE - LATÓN COPPER BRONZE - BRASS CUIVRE BRONZE - LAITON	5.1	Cobre - Bronce - Latón Viruta Corta Copper - Bronze - Brass (Short Chips) Cuivre - Bronze - Laiton (Coupeaux Courts)	<200	<700
	5.2	Cobre - Bronce - Latón Viruta Larga Copper - Bronze - Brass (Long Chips) Cuivre - Bronze - Laiton (Coupeaux Longs)	<200	<700
6. ALUMINIO MAGNESIO ALUMINIUM MAGNESIUM	6.1	Al - Mg No Aleado Unalloyed Al - Mg Al - Mg Sans Alliage	<100	<350
	6.2	Aleaciones Al Si < 10% Al Alloys Si < 10% Alliages Al Si < 10%	<180	<600
	6.3	Aleaciones Al Si > 10% Al Alloys Si > 10% Alliages Al Si > 10%	<180	<600
7. MATERIALES SINTÉTICOS SYNTHETIC MATERIALS MATERIAUX SYNTHETIQUES	7.1	Termoplásticos Thermo-Plastics Thermoplastiques		
	7.2	Duroplásticos Hard-Plastics Plastiques Durs		

## EFP

24 V 67 W



$U_N$	24 V
$P_N$	67 W
$V_i$	
$n_N$	75 rpm
$I_N$	10 A
$I_{M\acute{A}X.}$	42 A
$M_N$	10 Nm
$M_A$	70 Nm
$i$	80 : 2
Rot.	L / R
S	S1
IP	IP 33
kg	2,900 kg
Ⓢ	0 390 442 410



A Blade terminal 6,3 x 0,8





Serie		Un tratamiento especial											Dos tratamiento especial			
Normalizados	Pletinas		A.oro			Un tratamiento especial			Dos tratamiento especial							
	Ref.	Descripción	A.plata	L.blan.	A.bron.	A.neg.	L.verd.	A.vino	L.mad.	A.plata	A. oro	A. bron	A. neg.	A.plata	A.oro	A. neg.
	PL84	8x4	0,98	1,01	1,07	1,12	1,59	1,05	1,14	1,19	1,12	1,21	1,26			
	PL153	15x3	1,11	1,13	1,18	1,22	1,59	1,24	1,32	1,36	1,38	1,45	1,49			
	PL204	20x4	2,14	2,17	2,23	2,28	2,75	2,31	2,40	2,46	2,48	2,57	2,63			
	PL205	20x5	2,32	2,35	2,41	2,46	2,93	2,49	2,58	2,63	2,66	2,75	2,81			
	PL254	24.5x4.2	2,41	2,45	2,52	2,58	3,15	2,62	2,73	2,79	2,82	2,93	3,00			
	PL256	24.5x6	3,37	3,41	3,48	3,54	4,10	3,57	3,68	3,75	3,78	3,89	3,95			
	PL306	30x6	4,11	4,16	4,24	4,32	4,97	4,35	4,48	4,56	4,59	4,72	4,80			
	PL605	60x5	7,65	7,74	7,89	8,03	9,24	8,17	8,40	8,54	8,68	8,92	9,06			
	PL702	70x2	3,84	3,94	4,10	4,25	5,59	4,33	4,59	4,74	4,82	5,08	5,23			
	PL705	70x5	8,94	9,05	9,21	9,37	10,78	9,45	9,73	9,89	9,97	10,24	10,40			
	PL10010	100x10	24,85	25,00	25,25	25,48	27,54	25,60	26,00	26,24	26,35	26,76	26,99			
	PL15010	150x10	37,24	37,47	37,83	38,17	41,16	38,34	38,92	39,26	39,44	40,02	40,36			
	PL15012	150x12	44,43	44,65	44,99	45,31	48,13	45,55	46,10	46,42	46,66	47,21	47,53			
	PL15015	150x15	55,40	55,63	56,00	56,35	59,43	56,51	57,11	57,46	57,62	58,23	58,58			
	PL15020	150x20	73,54	73,78	74,16	74,52	77,70	74,70	75,32	75,69	75,87	76,49	76,85			
	PL18012	180x12	53,39	53,66	54,09	54,49	58,08	54,55	55,25	55,66	55,71	56,42	56,82			
	PL20010	200x10	49,63	49,93	50,40	50,85	54,77	51,07	51,84	52,28	52,51	53,28	53,72			
	PL20016	200x16	78,67	78,97	79,45	79,91	83,95	80,17	80,96	81,42	81,68	82,47	82,93			
	PL20020	200x20	98,01	98,32	98,81	99,28	103,40	99,52	100,32	100,79	101,03	101,83	102,30			

# PRESUPUESTO

ALUMINIO CANDIDO, S.A A38043758

Alucan, S.A  
 Acentejo, 1  
 3870 La Matanza de Acentejo  
 SANTA CRUZ DE TENERIFE ESPAÑA  
 TLFNO: 922577452-922577270 FAX: 922 577 390  
 WEB: www.alucansa.com

PABLO ARMAS . . 0

Presupuesto: PMA/0000227

Fecha Presupuesto: 08/07/2015

Página: 1 de 1  
 Fax Cliente: 0

IM	CODIGO	DENOMINACION	BARRAS	CORTE	CANTIDAD	PRECIO	DTO1	DTO2	IMPORTE
	T00001	POR ELABORACION DE PIEZAS SEGUN PLANO	0		1,00	110	0	0	110,00
<p>Presupuesto válido por 15 días desde su emisión.                      Si el presupuesto ha sido realizado en base a mediciones o planos rogamos confirme los despieces realizados.                      En caso de aceptación del mismo devolver firmado y sellado por el responsable de la empresa.</p>									

Total peso aproximado (KGS): 0,00

IMPORTE	DESCUENTO		% IMP.P.P	ZONA	% I.G.I.C	TOTAL
	%	IMPORTE				
110,00					7,00	117,70

FORMA PAGO: CONTADO EFECTIVO

Firma y sello



ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE ANODIZADORES





PABLO ARMAS CORREAS

C.I.F./VAT NUMBER : ESB38732905

Pol. Ind. San Isidro. C/J. Gutenberg nº1/A Nave 7  
38109 El Rosario. S/ de Tenerife, España

Tfno: 922 31 18 10 - Fax: 922 31 06 79

E-Mail: informacion@suinro.com Web: www.suinro.com

Tfno.:

Fax:

Pol. Ind. Salinetas C/Soldador S/N Nave 5

35219 Salinetas, Telde, Las Palmas de Gran Canaria, España

Tfno: 928 70 70 66 - Fax: 928 13 64 53

E-Mail: informacion@suinro.com Web: www.suinro.com



1.765

# FACTURA PROFORMA

Atendido por:

Fecha: 22-07-2015

DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO	IGIC	IMPORTE
RODAMIENTO BOLAS 12X44X12	2,00	26,920		53,84
CHAVETA 6X6X65	1,00	0,600		0,60
EJE MACIZO 14X220MM SIN CROMAR	1,00	11,500		11,50
CUBO 70F TAPER 1008 CUBO CIEGO "HRC"	2,00	12,215		24,43
ESTRELLA 70B CIEGO "HRC"	1,00	6,370		6,37

OBSERVACIONES: PLAZO ENTREGA DE 1 A 3 DIAS LABORABLES

IBAN: ES84 0081 0475 3900 0102 2604

BIC/SWIFT: BSAB ESBB

BANCO SABADELL

**TOTAL: 103,51** EUR



**TORNILLERÍA**  
TORRES Y CALERO, S.A.

TOYCASA  
C/ TABOBO 1,  
EL SOBRADILLO  
38107-SANTA CRUZ DE TENERIFE  
Tfno. 922623152-922623432  
Fax 922623560  
N.I.F. A-38051058

C O N T A D O

NIF: -

# PRESUPUESTO

Presup.: 1151 Fecha: 9/07/15 Docum: 1151 Almacen:001 Vendedor: T O Y C A S A

Obs: Pag. 1

CODIGO	DESCRIPCION	UNIDADES	PRECIO	DTO.	TOTAL	IMP.
03203227	Tornillo 7991 Inox. A-2 -5x35	8	0,096		0,76	7
00402004	Tuerca 934-6.8 Zinc.- 6	10	0,012		0,12	7
00502003	Arandela Plana 125 Zinc.- 6	10	0,009		0,09	7
03203214	Tornillo 7991 Inox. A-2 -4x20	6	0,046		0,27	7
03203225	Tornillo 7991 Inox. A-2 -5x25	12	0,070		0,84	7
03203248	Tornillo 7991 Inox. A-2 -6x40	10	0,139		1,39	7
03203213	Tornillo 7991 Inox. A-2 -4x16	6	0,045		0,27	7

Base Imponible    % Imp    Cuota    Entrega  
3,75    7.00    0,26

Subtotal : 3,75  
Dto / Rgo :  
Impuestos : 0,26

Forma pago: CONTADO    Domicilio pago:

Total Euros: 4,01

Al amparo del Artículo 5 de la Ley Orgánica 15/1999, de Protección de Datos de Carácter Personal, le informamos que sus datos personales obran en nuestros Ficheros Manuales o Informatizados, que respetamos la confidencialidad en la información facilitada, y que puede ejercer el derecho de información en la recogida de sus datos, a saber por qué y cómo son tratados sus datos personales y decidir en cuanto a su tratamiento. La información contenida en este mensaje y/o archivos adjuntos es confidencial y privilegiada, y está destinada a ser leída sólo por las personas a las que va dirigida. Puede ejercitar en todo momento los derechos de consulta, acceso, rectificación, oposición y cancelación de sus datos a la dirección arriba indicada.





Universidad  
de La Laguna

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**  
**SECCIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

# **PLANOS**

**TRITURADORA DE PLÁSTICOS MEDIANTE  
ELEMENTOS REPLICADOS EN IMPRESORA 3D**

**Titulación**

Grado en Ingeniería Mecánica

**Autor**

Pablo Armas Correa

**Tutoras**

María M. Laz Pavón

Rosa E. Navarro Trujillo

Septiembre 2015

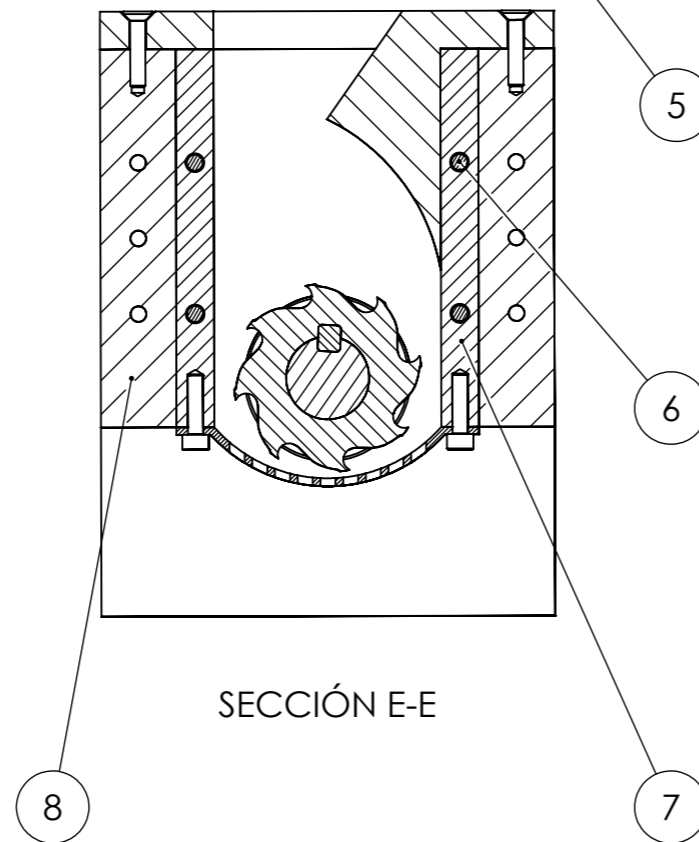
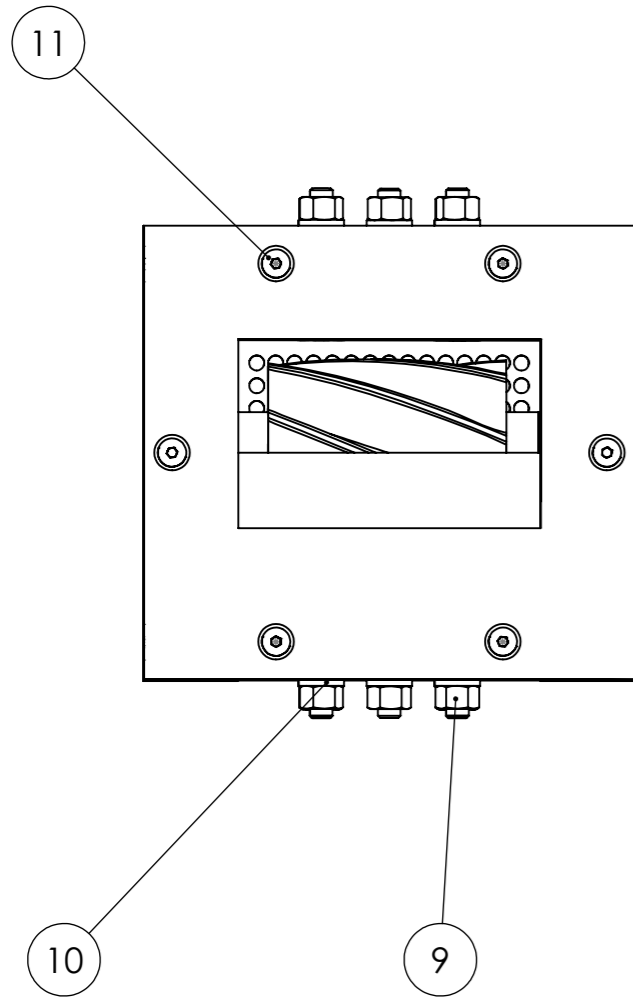
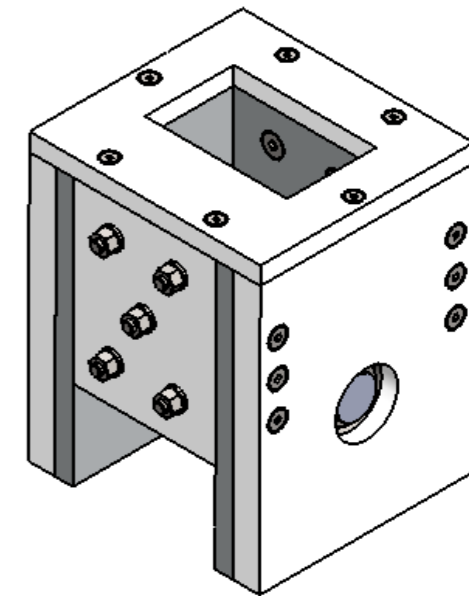
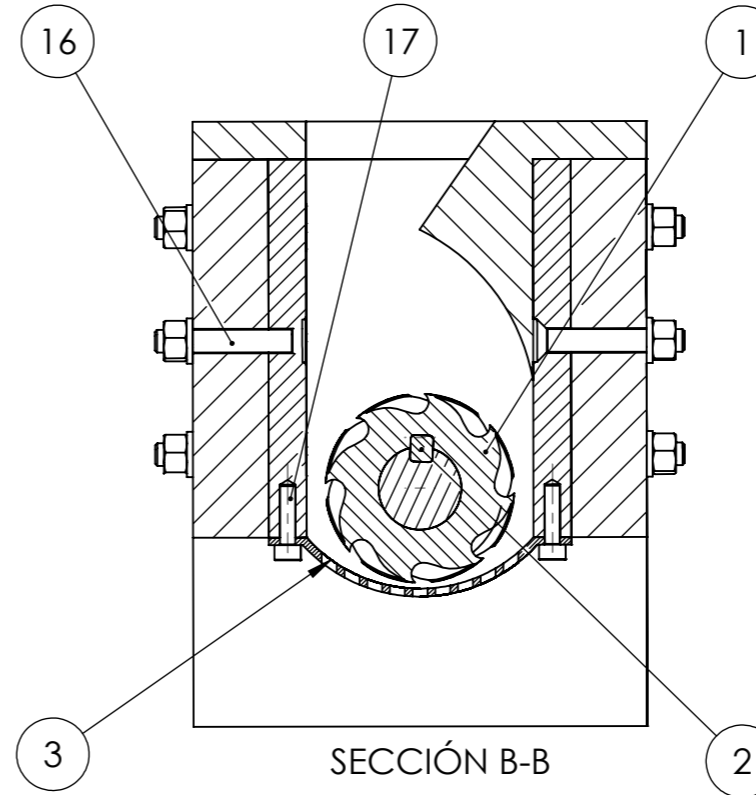
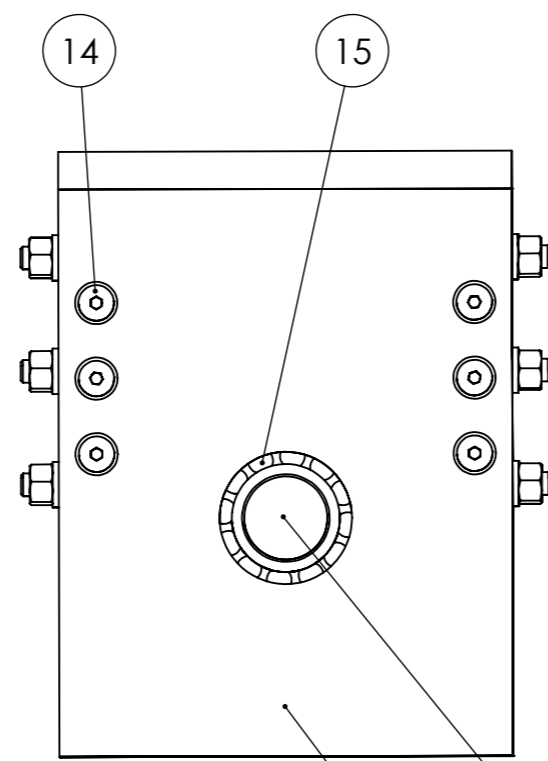
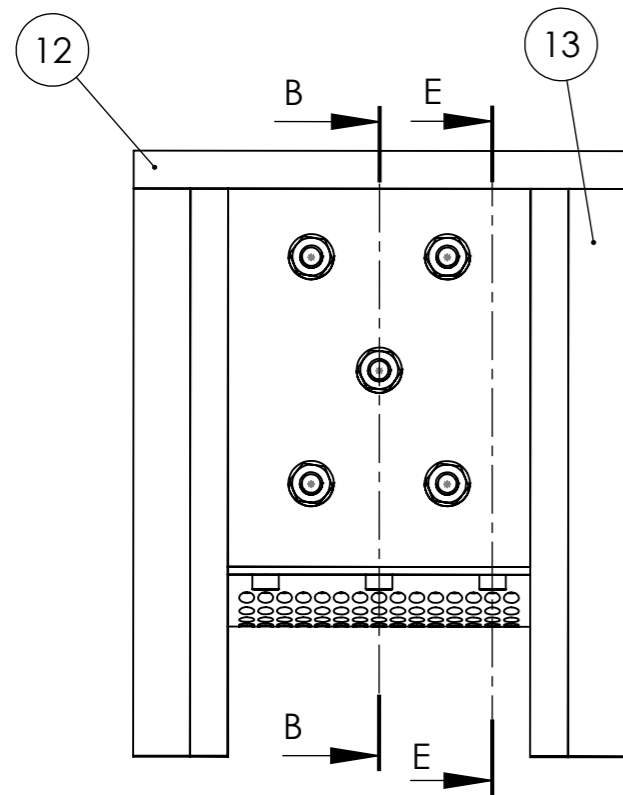


# ÍNDICE PLANOS

<b>1. CONJUNTO.....</b>	<b>258</b>
<b>2. REJILLA DE CORTE .....</b>	<b>259</b>
<b>3. EJE DE TRANSMISIÓN.....</b>	<b>260</b>
<b>4. ESTRUCTURA FRONTAL DE ALUMINIO .....</b>	<b>261</b>
<b>5. ESTRUCTURA LATERAL DE ALUMINIO .....</b>	<b>262</b>
<b>6. ESTRUCTURA LATERAL DE PLÁSTICO .....</b>	<b>263</b>
<b>7. ESTRUCTURA SUPERIOR DE PLÁSTICO .....</b>	<b>264</b>
<b>8. ESTRUCTURA FRONTAL DE PLÁSTICO .....</b>	<b>265</b>
<b>9. PERSPECTIVA EXPLOSIONADA.....</b>	<b>266</b>



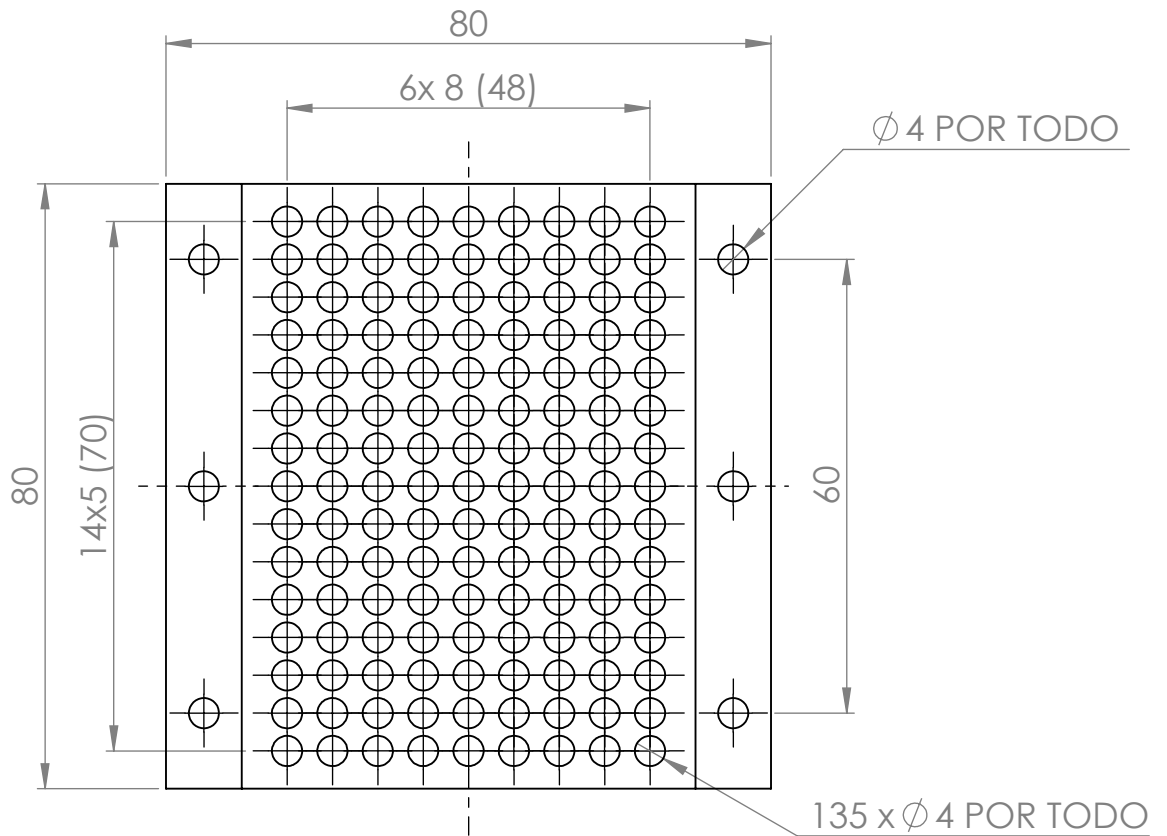
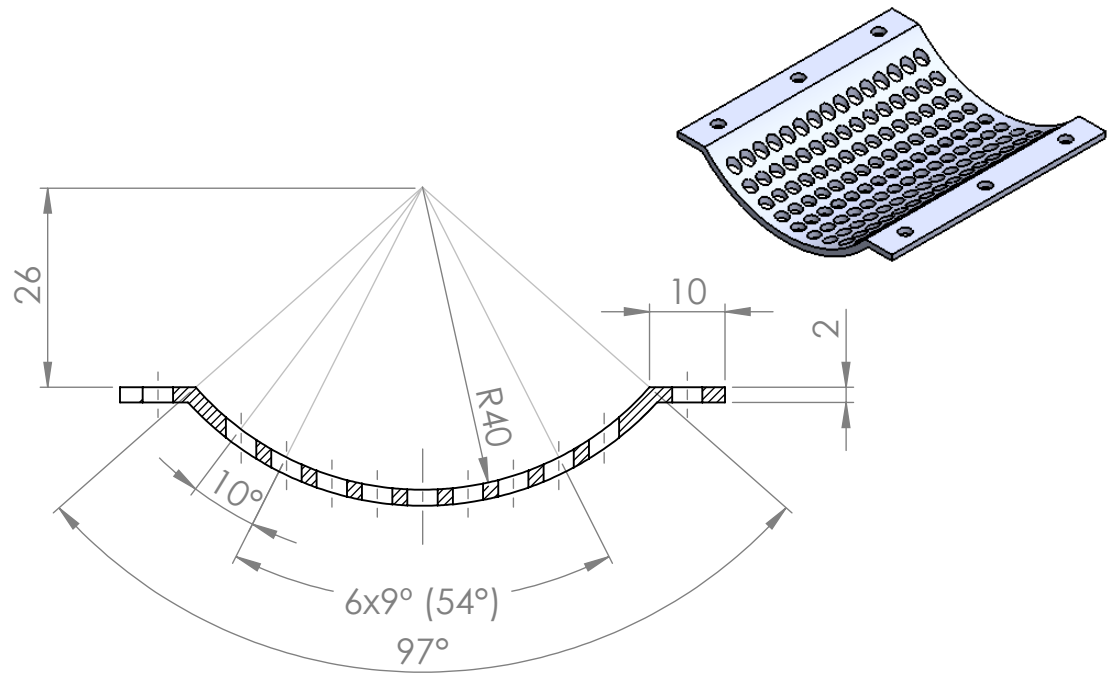




MARCA	CANTIDAD	NOMBRE	NORMA	MATERIAL, MEDIDAS
1	1	Fresa corte lateral con agujero	DIN 884N	HSS 5%Cr 22x50x63
2	1	Chaveta plana	ISO 2491	6x4x63 16B
3	1	Rejilla corte 4mm		Acero inoxidable
4	1	Eje transmisión		Acero inoxidable
5	2	Estructura frontal aluminio	UNE- EN 573-3	AW 6060
6	8	Tornillo avellanado	ISO 10642	M5x35 - 22N
7	2	Estructura lateral aluminio	UNE- EN 573-3	AW 6060
8	2	Estructura lateral plástico		PLA impresión 3D
9	10	Tuerca hexagonal	ISO - 4034	M6 - N
10	10	Arandela plana	ISO 7089	D6
11	6	Tornillo avellanado	ISO 10642	M4x20 - 20C
12	1	Estructura superior plástico		PLA impresión 3D
13	2	Estructura frontal plástico		PLA impresión 3D
14	12	Tornillo avellanado	ISO 10642	M5x25 - 22 N
15	2	Rodamiento de bolas	ISO 15	-3022- 12, DE, NC - ZZ 68
16	10	Tornillo avellanado	ISO 10642	M6x40 - 24N
17	6	Tornillo avellanado	ISO 4762	M4x16 - 16C

Trituradora de plásticos mediante elementos replicados en impresora 3D

Autor		 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	PABLO ARMAS CORREA	
Fecha	06/ 2015	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN	
ESCALA: 1:2		Conjunto trituradora
		Nom.Arch: Conjunto_trituradora

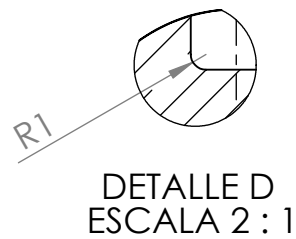
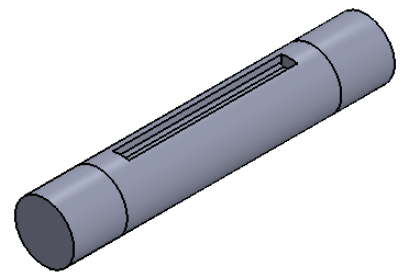
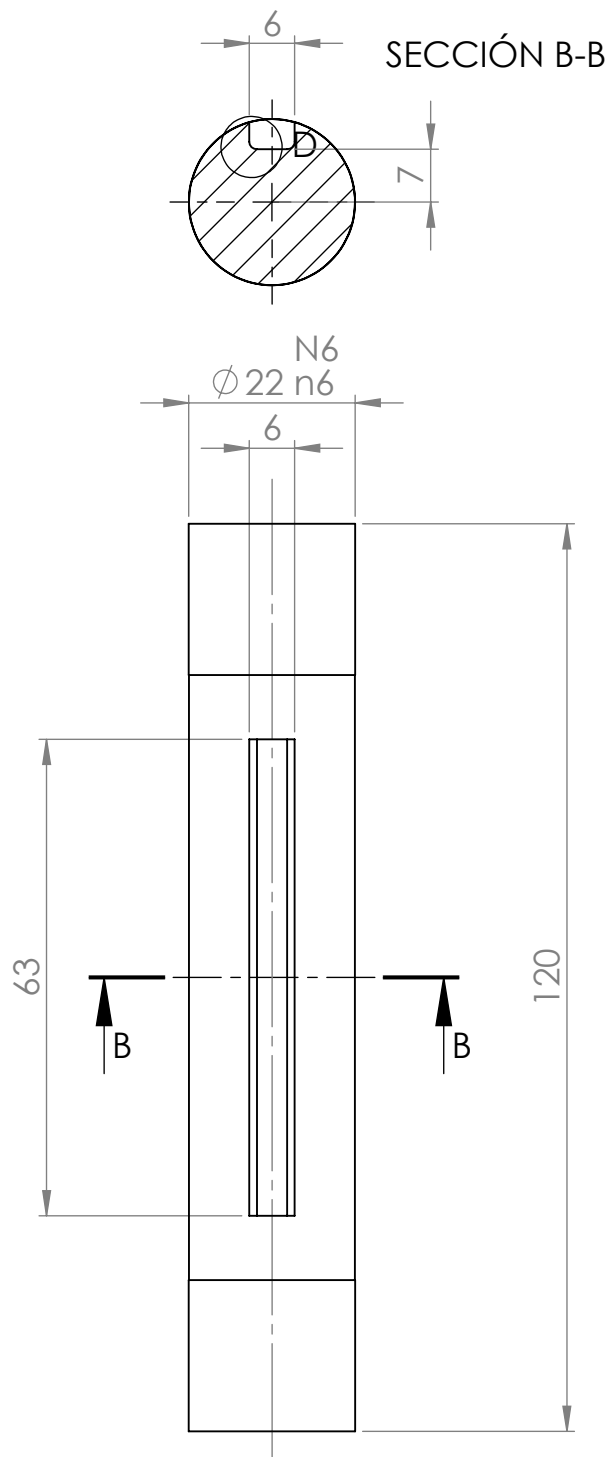




MARCA	CANTIDAD	NOMBRE	NORMA	MATERIAL
3	1	Rejilla corte 4mm		Acero inoxidable

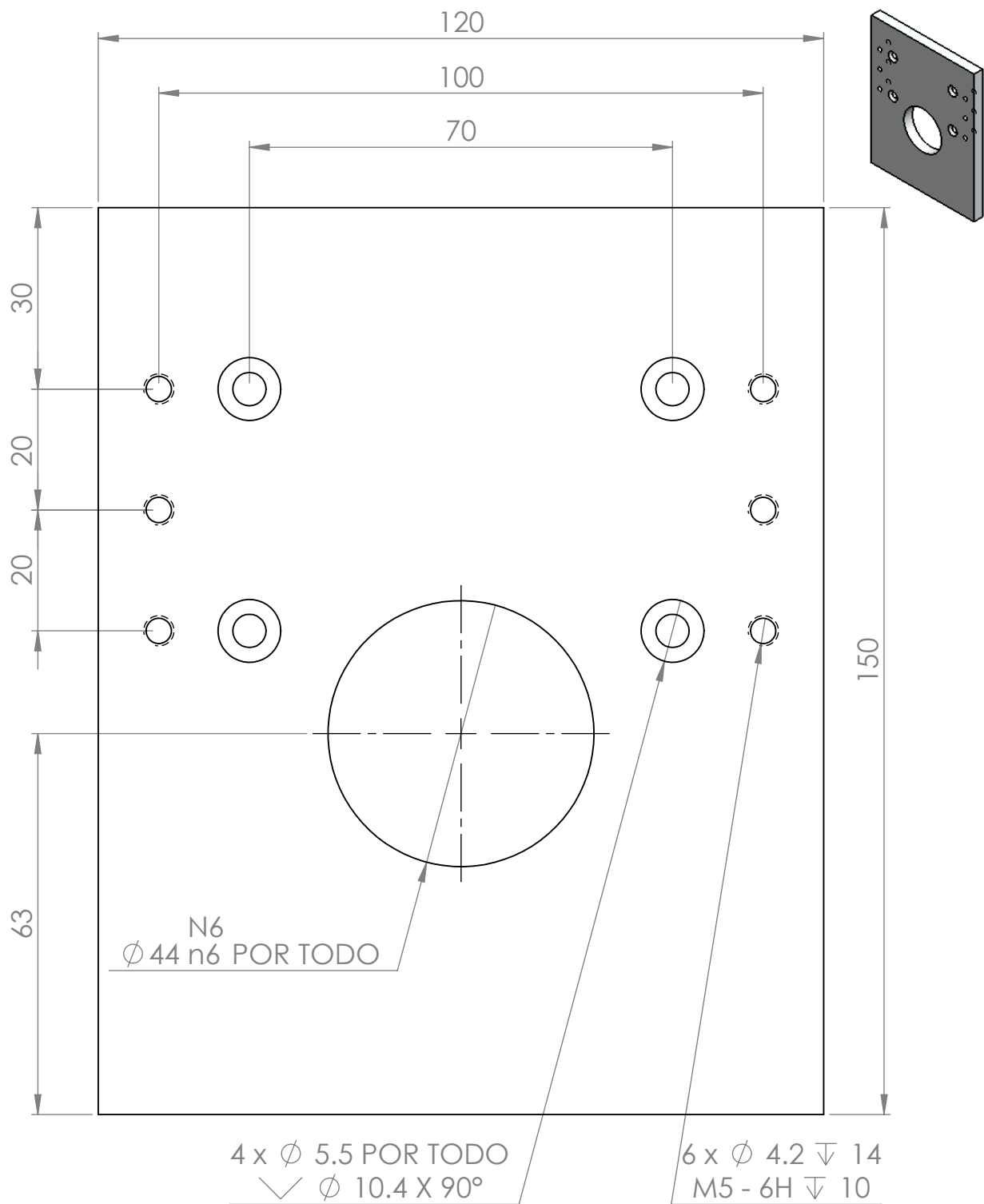
**Trituradora de plásticos mediante elementos replicados en impresora 3D**

	Autor	 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	PABLO ARMAS CORREA	
Fecha	06 / 2015	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN	

ESCALA: 1:1 	<b>Rejilla de corte 4mm</b>	Nº P. : 1.03  Nom.Arch: Rejilla_corte_4mm
--	-----------------------------	---



MARCA	CANTIDAD	NOMBRE	NORMA	MATERIAL
4	1	Eje transmisión		Acero inoxidable
<b>Trituradora de plásticos mediante elementos replicados en impresora 3D</b>				
	Autor		 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Dibujado	PABLO ARMAS CORREA			
Fecha	06 / 2015			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA: 1:1	Eje de transmisión		Nº P.: 1.04	
			Nom.Arch: Eje_transmisión	



MARCA	CANTIDAD	NOMBRE	NORMA	MATERIAL
5	2	Estructura frontal aluminio	AW 6060	UNE- EN 573-3

Trituradora de plásticos mediante elementos replicados en impresora 3D

	Autor		 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	PABLO ARMAS CORREA		
Fecha	06 / 2015		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		

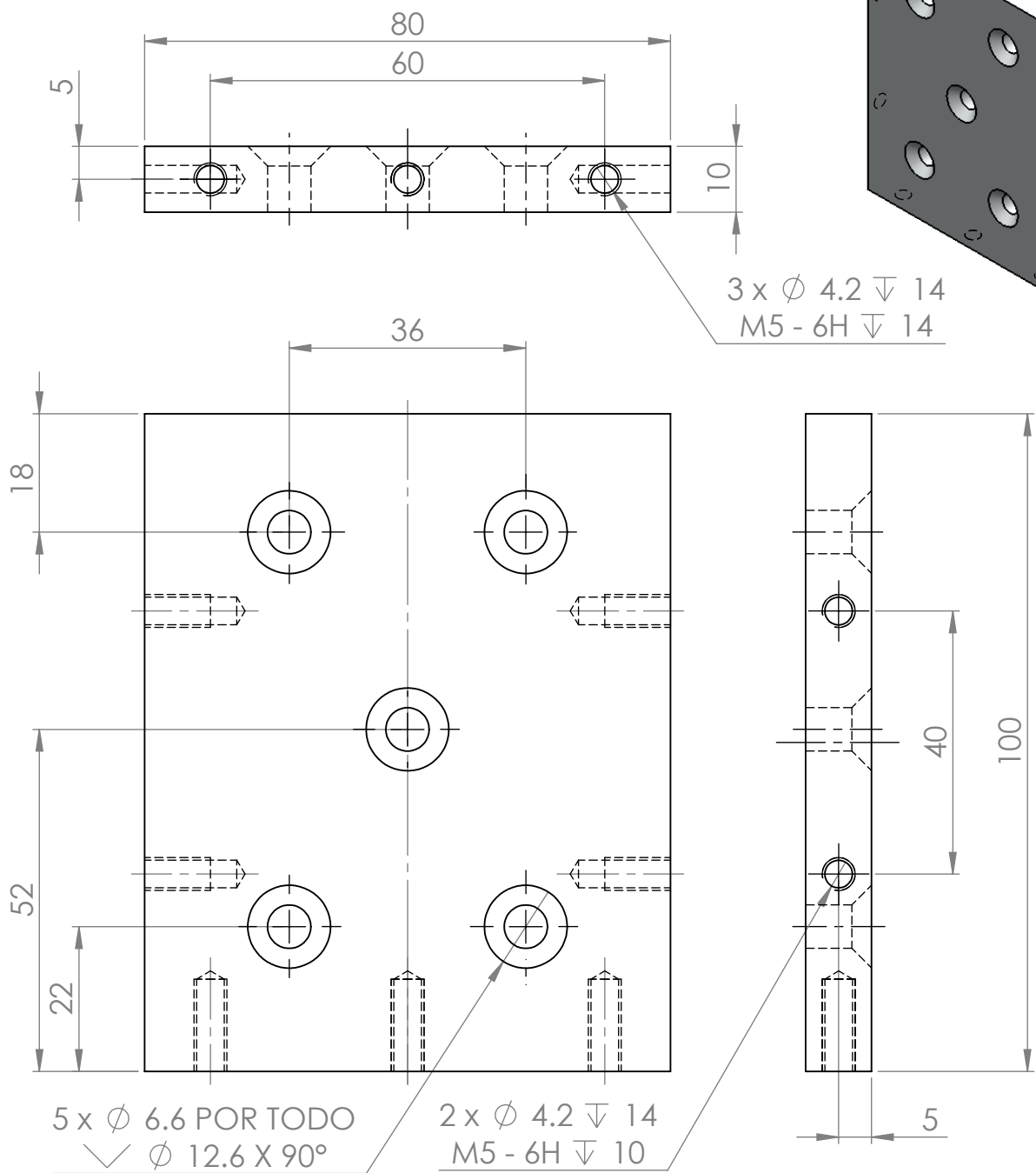
ESCALA: 1:1



Estructura frontal aluminio


Nº P. : 1.05

Nom.Arch: Estructura\_frontal\_aluminio

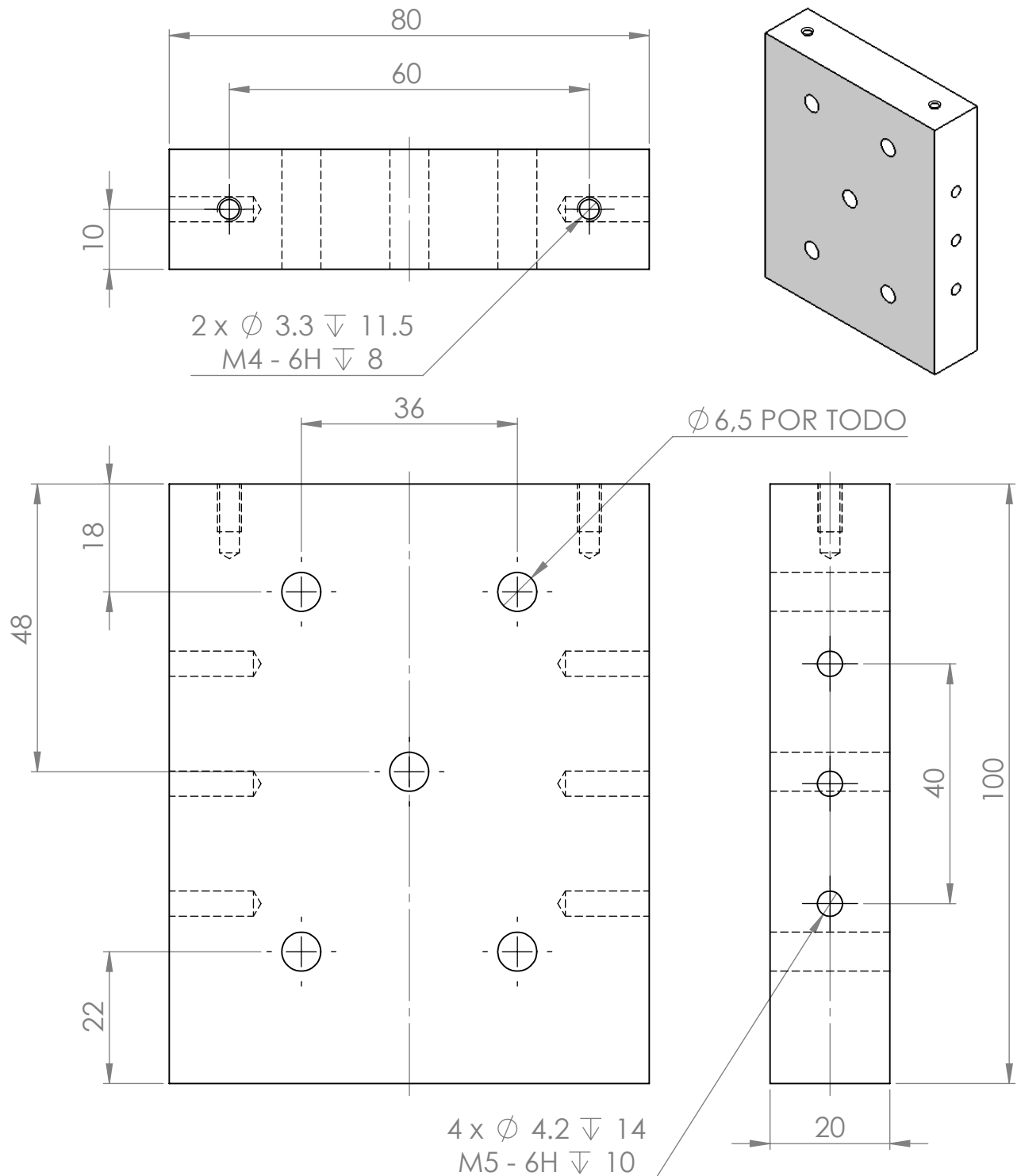


MARCA	CANTIDAD	NOMBRE	NORMA	MATERIAL
7	2	Estructura lateral aluminio	AW 6060	UNE- EN 573-3

**Trituradora de plásticos mediante elementos replicados en impresora 3D**


	Autor	 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	PABLO ARMAS CORREA	
Fecha	06/ 2015	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN	

ESCALA: 1:1 	<b>Estructura lateral aluminio</b>	Nº P. : 1.07  Nom.Arch: Estructura_lateral_aluminio
--	------------------------------------	---

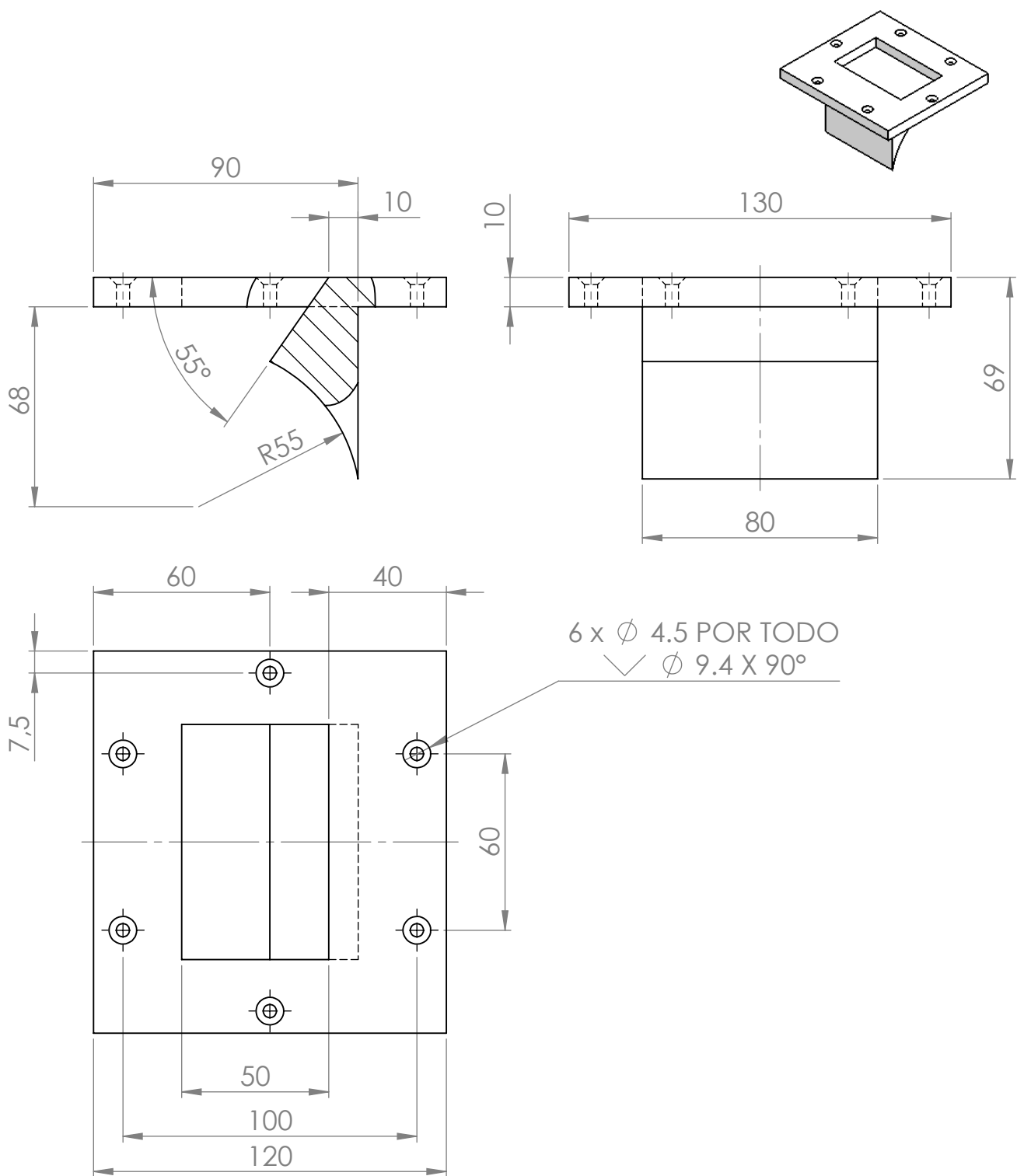


MARCA	CANTIDAD	NOMBRE	NORMA	MATERIAL
8	2	Estructura lateral plástico		PLA impresión 3D

**Trituradora de plásticos mediante elementos replicados en impresora 3D**

	Autor	 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	PABLO ARMAS CORREA	
Fecha	06 / 2015	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN	

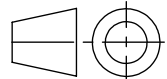
ESCALA: 1:1 	<b>Estructura Lateral plástico</b>	Nº P. : 1.08  Nom.Arch: Estructura_lateral_plástico
--	------------------------------------	---



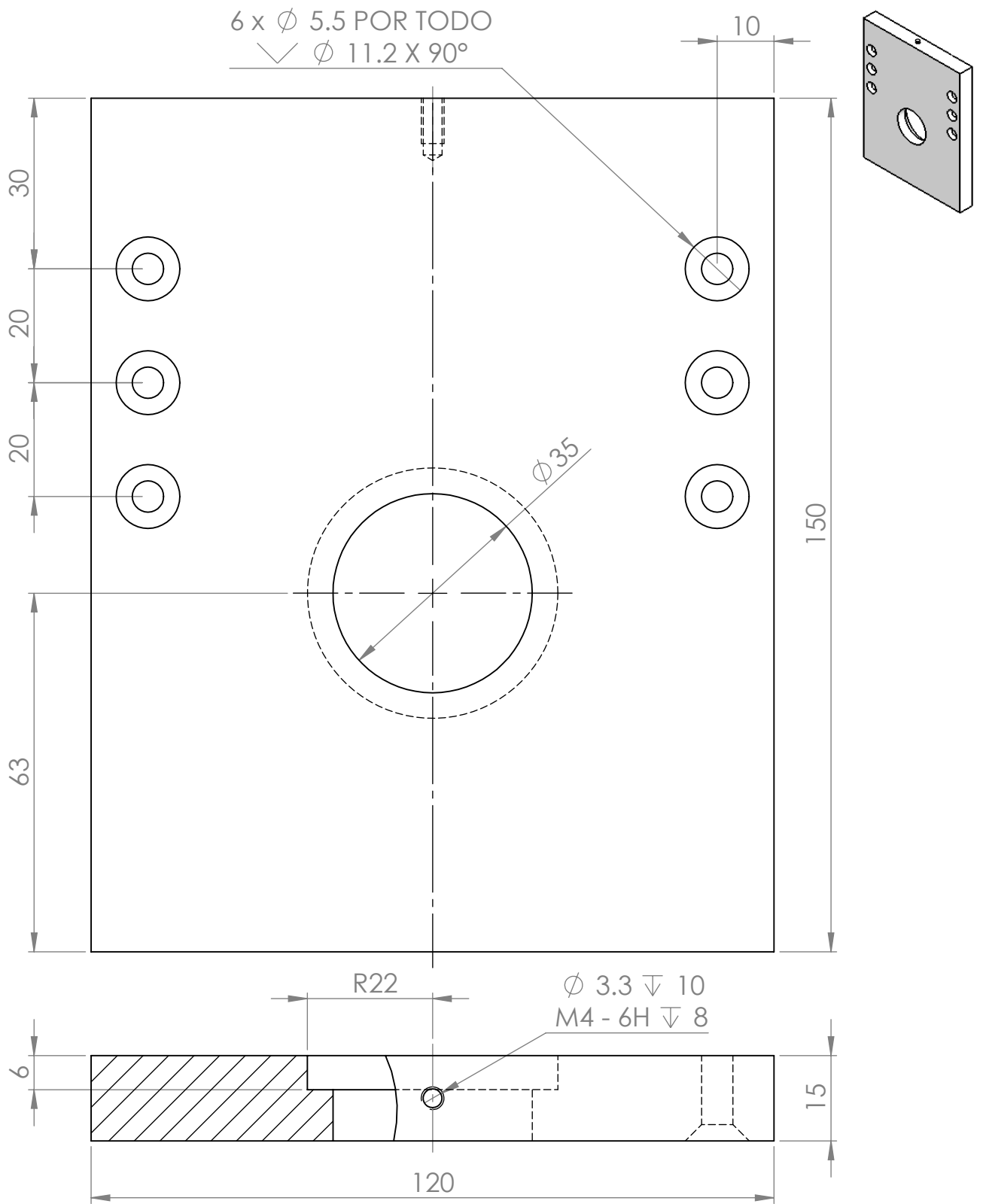
MARCA	CANTIDAD	NOMBRE	NORMA	MATERIAL
12	1	Estructura superior plástico		PLA impresión 3D

**Trituradora de plásticos mediante elementos replicados en impresora 3D**

	Autor	 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	PABLO ARMAS CORREA	
Fecha	06 / 2015	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN	

ESCALA: 1:1 	<b>Estructura superior plástico</b>	Nº P. : 1.12  Nom.Arch: Estructura_superior_plástico
--	-------------------------------------	--



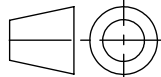


MARCA	CANTIDAD	NOMBRE	NORMA	MATERIAL
13	2	Estructura frontal plástico		PLA impresión 3D

### Trituradora de plásticos mediante elementos replicados en impresora 3D

Autor		 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	PABLO ARMAS CORREA	
Fecha	06 / 2015	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN	

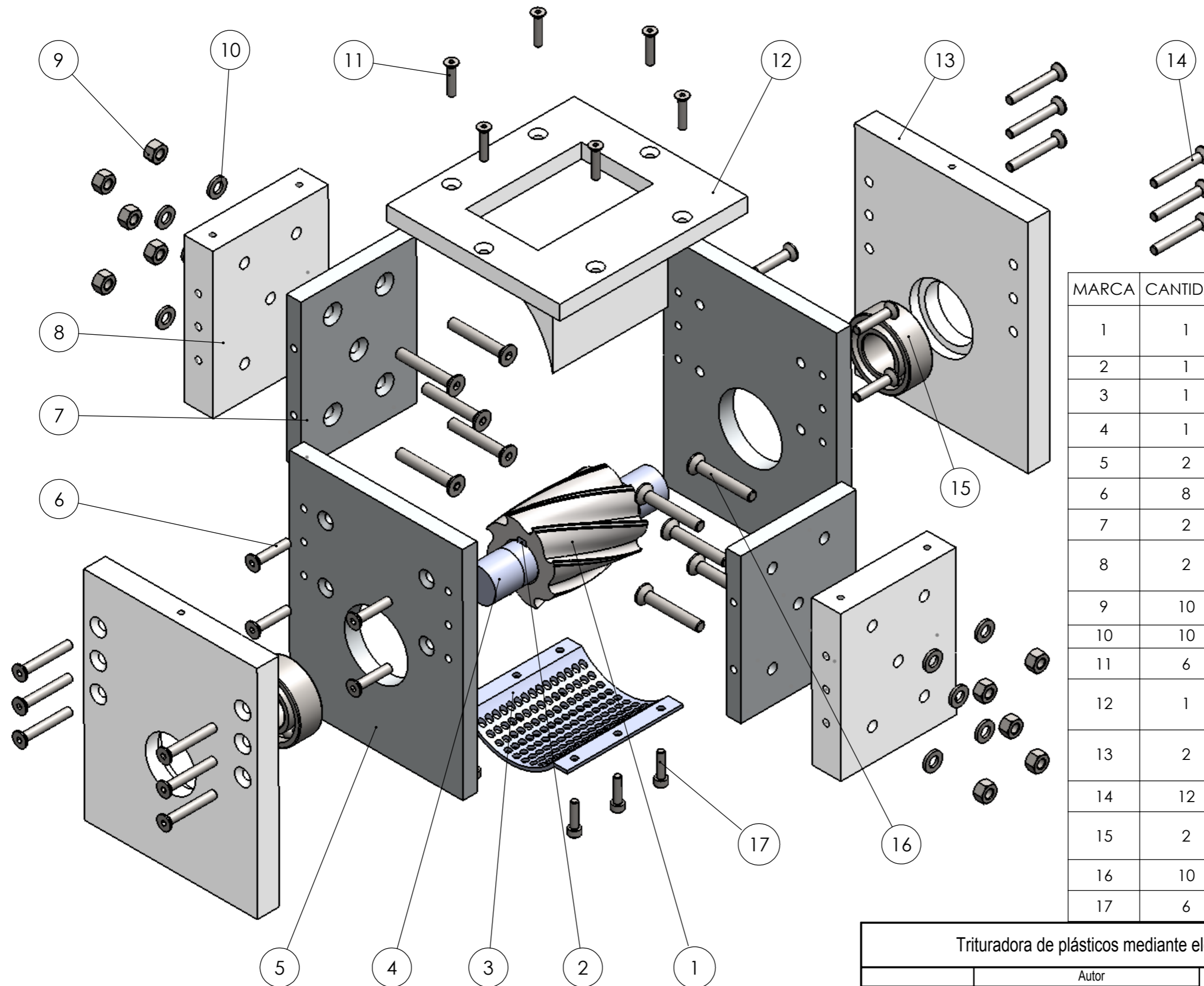
ESCALA: 1:1



Estructura frontal plástico

Nº P.: 1.13

Nom.Arch: Estructura\_frontal\_plástico



MARCA	CANTIDAD	NOMBRE	NORMA	MATERIAL, MEDIDAS
1	1	Fresa corte lateral con agujero	DIN 884N	HSS 5%Cr 22x50x63
2	1	Chaveta plana	ISO 2491	6x4x63 16B
3	1	Rejilla corte 4mm		Acero inoxidable
4	1	Eje transmisión		Acero inoxidable
5	2	Estructura frontal aluminio	UNE- EN 573-3	AW 6060
6	8	Tornillo avellanado	ISO 10642	M5x35 - 22N
7	2	Estructura lateral aluminio	UNE- EN 573-3	AW 6060
8	2	Estructura lateral plástico		PLA impresión 3D
9	10	Tuerca hexagonal	ISO - 4034	M6 - N
10	10	Arandela plana	ISO 7089	D6
11	6	Tornillo avellanado	ISO 10642	M4x20 - 20C
12	1	Estructura superior plástico		PLA impresión 3D
13	2	Estructura frontal plástico		PLA impresión 3D
14	12	Tornillo avellanado	ISO 10642	M5x25 - 22 N
15	2	Rodamiento de bolas	ISO 15	-3022- 12, DE, NC - ZZ 68
16	10	Tornillo avellanado	ISO 10642	M6x40 - 24N
17	6	Tornillo avellanado	ISO 4762	M4x16 - 16C

Trituradora de plásticos mediante elementos replicados en impresora 3D

Autor		 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	PABLO ARMAS CORREA	
Fecha	06/ 2015	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN	
ESCALA: 1:2		Nº P. : 2.0S
Perspectiva explosionada trituradora		Nom.Arch: Perspectiva_expl_trituradora





Universidad  
de La Laguna

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**  
**SECCIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

# **PRESUPUESTO**

**TRITURADORA DE PLÁSTICOS MEDIANTE  
ELEMENTOS REPLICADOS EN IMPRESORA 3D**

**Titulación**

Grado en Ingeniería Mecánica

**Autor**

Pablo Armas Correa

**Tutoras**

María M. Laz Pavón

Rosa E. Navarro Trujillo

Septiembre 2015



# ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

<b>1. PIEZAS REPLICADAS.....</b>	<b>272</b>
<b>2. PIEZAS MECANIZADAS .....</b>	<b>273</b>
<b>3. ELEMENTOS COMERCIALES.....</b>	<b>274</b>
<b>4. RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....</b>	<b>275</b>



## 1. PIEZAS REPLICADAS

Para el desarrollo del presupuesto de las piezas replicadas mediante impresión 3D, se ha contado con la colaboración y participación de la empresa de impresión 3D: MANZANAS Y 3D.

C/ Robayna, 13, local izqda.

38003 Santa Cruz de Tenerife

Canarias | España

Nº plano	Denominación	Precio (€/g)	Unidades	Peso (g)	Coste (€)
1.08	Estructura Lateral Plástico PLA	0,35	2	509	178,15
<b>Subtotal</b>					<b>178,15</b>

Nº plano	Denominación	Precio (€/g)	Unidades	Peso (g)	Coste (€)
1.13	Estructura Frontal Plástico PLA	0,35	2	509	178,15
<b>Subtotal</b>					<b>178,15</b>

Nº plano	Denominación	Precio (€/g)	Unidades	Peso (g)	Coste (€)
1.12	Estructura Superior Plástico PLA	0,35	1	231	80,85
<b>Subtotal</b>					<b>74,6</b>

Subtotal conjunto					437,15 €
-------------------	--	--	--	--	----------

Descuento adicional por colaboración 50%					218,58 €
--	--	--	--	--	----------

<b>Total</b>					<b>218,58 €</b>
--------------	--	--	--	--	-----------------



## 2. PIEZAS MECANIZADAS

N° plano	Denominación	Material	Medidas [mm]	Unidades	Coste (€)
1.07	Estructura Lateral Aluminio	Aluminio AW 6060	80x10x10	2	58,85
<b>Subtotal</b>					<b>58,85</b>

N° plano	Denominación	Material	Medidas [mm]	Unidades	Coste (€)
1.05	Estructura Frontal Aluminio	Aluminio AW 6060	120x150x10	2	58,85
<b>Subtotal</b>					<b>58,85</b>

N° plano	Denominación	Material	Medidas [mm]	Unidades	Coste (€)
1.03	Rejilla de corte	Acero inoxidable	80x80x14	1	53,50
<b>Subtotal</b>					<b>53,50</b>

<b>Total</b>					<b>171,12</b>
--------------	--	--	--	--	---------------

### 3. ELEMENTOS COMERCIALES

Mecanismos				
Denominación	Designación	Medidas [mm]	Unidades	Coste (€)
Rodamiento de bolas	Soporte eje	12x44x10	2	53,84
Acoplamiento Taper 70F	Unión eje-motor	22	1	12,215
			Subtotal	66,06

Fijación, Tornillería				
Denominación	Designación	Medidas [mm]	Unidades	Coste (€)
Chaveta plana	ISO 2491	6x6x65	1	0,60
Tornillo avellanado	ISO 10642	M5x35 22N	8	0,76
Tuerca hexagonal	ISO 4034	M6 x 20 20C	10	0,12
Arandela plana	ISO 7089	D6	10	0,09
Tornillo avellanado	ISO 10642	M5 x 25 22N	12	0,84
Tornillo avellanado	ISO 10642	M6x40 24N	10	1,39
Tornillo avellanado	ISO 4762	M4x16 16C	6	0,27
			Subtotal	4,07

Elementos estructurales					
Nº plano	Denominación	Material	Medidas [mm]	Unidades	Coste (€)
1.04	Eje de transmisión	Acero inoxidable	24x220	1	11,5
				Subtotal	11,5

Otros				
Denominación	Designación	Medidas [mm]	Unidades	Coste (€)
Fresa de corte lateral	Herramienta corte	22x50x63	1	117,58
Motor eléctrico	Bosch	88x179x90	1	54,25
			Subtotal	171,83

**Total 253,46**

#### 4. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Concepto	Coste (€)
Piezas replicadas	218,58
Piezas mecanizadas	117,12
Elementos comerciales	253,46
<b>Total</b>	<b>589,16</b>

El coste total de la trituradora de plásticos es de **QUINIENTOS OCHENTA Y NUEVE CON DIECISEIS EUROS.**