



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales**

**“Spiker,  
una trituradora de plástico semi-industrial.  
Verificación de elementos y fabricación”**

**Autor:**

**Ciordia Asenjo, Víctor**

**Tutor: Mansilla Gallo, Alberto**

Dpto. Ciencia de los Materiales e Ingeniería  
metalúrgica, Expresión gráfica en la  
ingeniería, Ingeniería Cartográfica, Geodesia  
y fotogrametría, Ingeniería Mecánica e  
ingeniería de Procesos de Fabricación.

**Valladolid, Diciembre de 2020.**



## RESUMEN

El presente trabajo Fin de Grado se centra en la verificación de componentes y posterior construcción de Spiker, una máquina destinada a triturar plásticos.

Se realizará un estudio de mercado sobre las diferentes tronzadoras de plástico existentes. Se analizarán y combinarán los conceptos más convenientes de cada trituradora. Además, se aportarán ciertas mejoras respecto a modelos actuales.

El objetivo final será proponer una solución factible a escala local, con un coste asequible, así como unos resultados óptimos. Esto conlleva al uso de elementos comerciales normalizados dentro de lo posible, así como a buscar soluciones mecánicas de bajo coste de producción.

Spiker será una pieza clave de un proyecto a mayor escala, en el que se reciclarán plásticos para darles una nueva vida útil. Esto fomentará una mentalidad ecológicamente sostenible en todos aquellos que se vean involucrados en este proyecto.

## PALABRAS CLAVE

Sostenibilidad – Trituradora – Reciclaje – Plástico --Dimensionamiento

## ABSTRACT

The present End of Studies Project is focused on the verification of components and later construction of Spiker, a machine meant to shred plastic.

A market survey of the different types of plastic shredders currently available on the market will be done. It will be analysed and combined the most convenient concepts of each shredder. Besides, there will be added some personal updates with respect to actual models.

The end goal is to accomplish a plausible solution in local terms, with an affordable cost, in addition with optimal results. This implies using, as much as possible, standardized elements already available in the market, as well as searching for easy machining processes.

Spiker will be a key part of a bigger project, where waste plastic products will be recycled, giving them a new life. This will encourage an ecologically sustainable mentality among the people involved in this project.

## KEY WORDS

Sustainability – Shredder – Recycling – Plastic – Sizing



# ÍNDICE

1.	INDICE DE FIGURAS .....	7
2.	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	13
2.1.	Introducción.....	13
2.2.	Naturaleza del proyecto.....	14
2.3.	Descripción del proyecto .....	15
2.4.	Condicionantes y limitaciones .....	17
2.5.	Reparto del trabajo .....	19
3.	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	21
4.	ESTADO DE LA TÉCNICA.....	23
4.1.	Estudio de mercado.....	23
4.2.	Patentes.....	33
4.3.	Productos de HDPE reciclado .....	37
5.	ESTUDIO DE SUMINISTRADORES LOCALES.....	39
5.1.	Empresas de láser .....	39
5.2.	Empresas de comerciales .....	40
5.3.	Talleres de mecanizado y otros proveedores .....	41
5.4.	Suministradores locales elegidos .....	41
6.	CONCEPTOS INICIALES.....	42
6.1.	Mecánica de fractura .....	42
6.2.	Hipótesis adoptadas .....	46
6.3.	Primer diseño .....	50
6.4.	Shredder Pro de Precious Plastics.....	54
7.	DISEÑO FINAL .....	55
7.1.	Montaje ejes y cuchillas .....	55
7.2.	Elección del motor-reductor .....	66
7.3.	Elección del acople .....	75
7.4.	Verificación del dimensionamiento .....	78
7.5.	Caja .....	109
7.6.	Rejillas .....	113
7.7.	Tolva.....	115
7.8.	Bastidor.....	117
7.9.	Montaje.....	125
8.	MATERIALES.....	135
9.	MANTENIMIENTO .....	139

9.1.	<i>Rodamientos</i> .....	139
9.2.	<i>Engranajes</i> .....	140
9.3.	<i>Reductor</i> .....	140
9.4.	<i>Zona de corte</i> .....	140
9.5.	<i>Equipo Eléctrico</i> .....	141
9.6.	<i>Herramientas necesarias</i> .....	141
10.	<b>CONCLUSIONES Y LINEA FUTURA</b> .....	<b>143</b>
10.1.	<i>Conclusiones sobre fabricación</i> .....	145
10.2.	<i>Línea Futura</i> .....	148
11.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>151</b>
12.	<b>ANEJOS</b> .....	<b>155</b>

# 1.INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Producción mundial de plásticos en m.t. [99] .....	14
Figura 2: Diagrama de flujo para el reciclado de plásticos. Elaboración propia. .....	15
Figura 3: Demanda de plástico en Europa en 2015. [96] .....	17
Figura 4: Bobina de HDPE para Impresora 3D [4].....	18
Figura 5: Filastruder [7] .....	23
Figura 6: Partes Filastruder Kit. [7].....	24
Figura 7: Tronzadora Precious Plastic. [10] .....	25
Figura 8: Extrusora de Precious Plastics [11]. .....	26
Figura 9: inyectora Precious Plastic. [12].....	26
Figura 10: Prensa Precious Plastic. [13] .....	27
Figura 11: Ciclo 3Devo. [15] .....	27
Figura 12: Extrusora de filamento 3Devo. [16] .....	28
Figura 13: Shr3d it shredder. [17].....	28
Figura 14: Recicladora con cortadora y compactadora. [70] .....	29
Figura 15: Recicladora HNT-V. [70] .....	30
Figura 16: Recicladora SNT-V. [71].....	30
Figura 17: extrusora de tres capas (ABA) HDPE. [72] .....	31
Figura 18: Trituradora de Filabot. [22] .....	32
Figura 19: Patente ES 2047789. [75] .....	33
Figura 20: Patente ES2272686. [73] .....	34
Figura 21: Patente ES2005355. [74] .....	34
Figura 22: Patente ES0275857. [76] .....	35
Figura 23: Patente US20180200723. [77].....	35
Figura 24: THE CONFETTI FAMILY [78].....	37
Figura 26: Paragüero Confetti [79].....	37
Figura 26: Maceta Confetti [80].....	37
Figura 27:BACK TO NATURE [81].....	38
Figura 29: Tabla de cortar, hecha con HDPE reciclado [82].....	38
Figura 29: Pallet de HDPE [83] .....	38
Figura 30: Monómero de HDPE. Elaboración propia.....	42
Figura 31: Tenacidad: material dúctil vs frágil. Elaboración propia. ....	42
Figura 32: Ensayo a tracción [97].....	43
Figura 33: Diagrama tensión-Deformación. Elaboración propia .....	44
Figura 34: Ensayo a flexión a tres puntos. Elaboración propia .....	45
Figura 35:Ensayo a cizalladura. Elaboración propia .....	45
Figura 36: Relación entre tension última y tension cortante-Círculo de Mohr. Elaboración propia .....	46
Figura 37: Dentado y rendimiento del reductor. [62].....	49
Figura 38: Trituradora previa. Elaboración propia.....	50

Figura 39: Comparación motor 2,2 kW y trituradora previa. Elaboración propia.	50
Figura 40: Partes tolva exterior y guías perímetro. Elaboración propia.	51
Figura 41: Encaje tolva interior con tolva exterior. Elaboración propia.	51
Figura 42: Perfil cuchilla previa y montaje de éstas. Elaboración propia.	52
Figura 43: Perfil de los dos tipos de cuchilla fija. Elaboración propia.	52
Figura 44: Caja previa en perspectiva y planta. Elaboración propia.	52
Figura 45: Rejilla previa. Elaboración propia.	53
Figura 46: Eje conducido y eje motriz. Elaboración propia.	55
Figura 47: Tuerca DIN 1804. Elaboración propia.	56
Figura 48: Perfil cuchilla previa. Elaboración propia.	57
Figura 49: Radio para la herramienta láser. Elaboración propia.	58
Figura 50: Perfil cuchillas con muescas. Elaboración propia.	58
Figura 51: Holgura entre las cuchillas móviles. Elaboración propia	60
Figura 52: Muecas guía de cuchillas del eje corto. Elaboración propia.	61
Figura 53: Patrón numerado de cuchillas del eje corto. Elaboración propia.	61
Figura 54: Ejes con las cuchillas montadas. Elaboración propia	62
Figura 55: Esquema distancia entre ejes. Elaboración propia.	62
Figura 56: Perfil separadores. Elaboración propia.	63
Figura 57: Espesores de separadores. Elaboración propia	64
Figura 58: Montaje de eje. Elaboración propia.	64
Figura 59: Perfiles cuchillas fijas. Elaboración propia.	65
Figura 60: Posición de cuchillas fijas. Elaboración propia.	65
Figura 61: Placa de características del motor. Elaboración propia.	66
Figura 62: Superficie de corte de una cuchilla. Elaboración propia.	67
Figura 63: Diagrama par-velocidad motor asíncrono. Elaboración propia	68
Figura 64: Diagrama par-velocidad motor asíncrono con variador de frecuencia. Elaboración propia	70
Figura 65: Conexión de la potencia en el variador. [100].	71
Figura 66: Esquema unifilar para Spiker. Elaboración propia	72
Figura 67: Funciones por defecto de los terminales. [100].	72
Figura 68: Disposición del cuadro de distribución eléctrica en Spiker. Elaboración propia	73
Figura 69: Cuadro de mandos de Spiker. Elaboración propia	73
Figura 70: Alargador para enchufar Spiker. Elaboración propia	73
Figura 71. Parte metálica acople. Elaboración propia.	75
Figura 72. Parte elástica acople. Elaboración propia.	75
Figura 73. Factores de servicio del acople. [53].	75
Figura 74: Power ratings del acople. [53]	76
Figura 75. Dimensiones físicas y características del acople a utilizar. [53].	76
Figura 76. Tipo de acople seleccionado. [53].	77
Figura 77. Código de la orden de la elección. [53].	77
Figura 78. Dimensiones físicas y características. [53]	77



Figura 79: Acople. Elaboración propia.....	77
Figura 80. Sección de zona de corte. Elaboración propia.....	78
Figura 81: Geometría de la simulación cuchilla eje corto. Elaboración propia. .....	79
Figura 82: Control de refinado de maya en cuchillas de eje corto. Elaboración propia.....	80
Figura 83: Estudio de materiales de la simulación de las cuchillas. Elaboración propia.....	81
Figura 84: Restricciones de cuchilla del eje corto. Elaboración propia. ....	81
Figura 85: Contactos cuchilla eje corto. Elaboración propia. ....	82
Figura 86. Fuerzas del estudio estático. Elaboración propia.....	82
Figura 87. Tensión de Von Misses. Elaboración propia. ....	83
Figura 88. Detalle de Tensión de Von Misses. Elaboración propia. ....	83
Figura 89. Desplazamiento máximo. Elaboración propia. ....	84
Figura 90. Factor de seguridad de la cuchilla crítica. elaboración propia.....	84
Figura 91: Ejes y ruedas dentadas. Elaboración propia.....	85
Figura 92: Engranajes. Elaboración propia.....	86
Figura 93: Gráfica factor geométrico de engranajes [59].....	88
Figura 94: Contactos del eje con el resto de la máquina. Elaboración propia. .....	92
Figura 95: Distribución de cargas en el eje. Elaboracion propia.....	93
Figura 96: Cargas presentes en el eje. Elaboración propia. ....	93
Figura 97: Dimensiones del eje. Elaboración propia.....	94
Figura 98: Diagramas de esfuerzos en el eje. Elaboración propia.....	94
Figura 99: Gráficas de concentración de tensiones. [59].....	96
Figura 100: Gráficas de sensibilidad a la entalla. [59].....	96
Figura 101: Rodamiento rígido de bolas con una hilera. [60].....	101
Figura 102: Dimensiones del eje. Elaboración propia. ....	101
Figura 103: Posibles Cojinetes de una hilera de bolas. Candidatos de utilización.....	102
Figura 104: Valores orientativos de la vida útil del rodamiento según el tipo de máquina. [60].....	102
Figura 105: Factores de cálculo para rodamientos rígidos de una hilera de bolas. [60].....	103
Figura 106: Valores del factor de ajuste para la vida nominal, $a_1$ . [60] .....	105
Figura 107: Viscosidad cinemática estimada. [60].....	105
Figura 108: Factor de contaminación. [60] .....	106
Figura 109: Factor $a_{skf}$ para rodamientos rígidos de bolas. [60].....	107
Figura 110: Propiedades del rodamiento [60]. ....	108
Figura 111: Rodamiento FYTB 45 TF. Elaboración propia.....	108
Figura 112: Caja. Elaboración propia. ....	109
Figura 113: Piezas caja. Elaboración propia.....	111
Figura 114: Explosión caja. Elaboración propia.....	112

Figura 115: Rejilla pequeña. Elaboración propia. ....	113
Figura 116: Rejilla grande. Elaboración propia. ....	113
Figura 117: Explosión rejillas. Elaboración propia. ....	114
Figura 118: Piezas rejilla pequeña. Elaboración propia.....	114
Figura 119: Piezas rejilla pequeña. Elaboración propia.....	114
Figura 120. Pegatinas zonas de corte. Elaboración propia. ....	115
Figura 121. Explosionado tolva. Elaboración propia.....	116
Figura 122. Tolva. Elaboración propia.....	116
Figura 123: Perfiles del bastidor. Elaboración propia.....	117
Figura 124: Conector de cabeza redonda. Elaboración propia. ....	118
Figura 125. Inserción de conector de cabeza redonda. Elaboración propia.	118
Figura 126: Montaje conector de cabeza redonda con el perfil. Elaboración propia. ....	118
Figura 127. Agujeros en perfiles. Elaboración propia. ....	119
Figura 128: Escuadra 43x43x30. Elaboración propia. ....	119
Figura 129. Tuerca y tornillo cabeza martillo. Elaboración propia.....	119
Figura 130. Esqueleto del bastidor con escuadras. Elaboración propia. ....	120
Figura 131: Tuerca Cabeza Martillo. Elaboración Propia.....	120
Figura 132: Unión chapa a perfil. Elaboración propia.....	121
Figura 133: Pie anti-vibratorio. Elaboración propia.....	121
Figura 134: Esqueleto bastidor con pies. Elaboración propia. ....	122
Figura 135: Chapón común. Elaboración propia. ....	122
Figura 136: Bastidor. Elaboración propia. ....	123
Figura 137. Piezas bastidor. Elaboración propia.....	124
Figura 138: Altura de la salida del reductor respecto a la bancada. Elaboración propia. ....	125
Figura 139: Altura de la entrada de Spiker respecto a la bancada. Elaboración propia. ....	126
Figura 140. Espesores de espaciadores. Elaboración propia. ....	126
Figura 141. Perfil placa niveladora. Elaboración propia. ....	127
Figura 142: Propiedades físicas de la tolva. Elaboración propia .....	127
Figura 144: Perfil de la tolva junto a su centro de gravedad. Elaboración propia .....	128
Figura 144: Tolva en posición abierta. Elaboración propia. ....	128
Figura 145. Amortiguador. Elaboración propia.....	129
Figura 146. Dimensiones escuadra en U.....	129
Figura 147. Escuadra en U.....	129
Figura 148. Escuadra plana.....	130
Figura 149. Medidas escuadra plana.....	130
Figura 150. Bisagra. ....	130
Figura 151. Medidas bisagra. ....	131
Figura 152. Cierre acodado.....	131
Figura 153. Dimensiones del cierre. ....	132

Figura 154: Error de mecanizado del eje. Elaboración propia. ....	145
Figura 155: Placa 01-01-03 fabricada 2 veces por error. Elaboración propia. .....	146
Figura 156: Rejilla plegada por el eje erróneo. Elaboración propia.....	147
Figura 157: Spiker, la trituradora de plásticos. Elaboración propia.....	149
Figura 158: Ubicación de la báscula en Spiker. Elaboración propia.....	150



## 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

### 2.1. INTRODUCCIÓN

Este documento constituye la memoria del Proyecto Spiker, una trituradora de plástico, elaborada como Trabajo Fin de Grado durante los cursos 2019/20 y 2020/21 por Alba Sánchez Santana y Víctor Ciordia Asenjo; Estudiantes en Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto y Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales respectivamente. Ambos grados impartidos en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid.

Se propone diseñar, desarrollar y fabricar una trituradora destinada a cortar desechos plásticos. Este material triturado servirá como alimentación a otras máquinas, las cuales conseguirán darle una segunda vida útil.

El resultado final constará de un bastidor, una caja que albergará los elementos necesarios para cumplir su función como tronzadora, un motor con su respectivo acople para transmitir la potencia a Spiker, un controlador de frecuencia que gobernará el funcionamiento del motor y una tolva que evite el contacto directo del usuario con la zona de corte.

En este documento se recoge el enunciado del proyecto y una descripción detallada del mismo, especificando aspectos técnicos, funcionales y estéticos del producto final, así como la justificación de las soluciones implementadas.

## 2.2. NATURALEZA DEL PROYECTO

Spiker es una máquina destinada a triturar desechos plásticos cotidianos de la población general, desde un primer momento pensada para dar una segunda vida al gran excedente de plástico de la sociedad moderna y producir un producto funcional a partir de estos sobrantes.

Hoy por hoy, el diseño eco-sostenible, que surgió como un ideal, se ha convertido en una necesidad imperante, siendo implementando tanto en los hogares de los ciudadanos como en la industria. Este cambio es clave, pues ha producido que la búsqueda de la sostenibilidad y la persecución de la “huella cero” no sea un añadido a un producto, sino una parte fundamental e intrínseca del mismo. En este contexto, con Spiker se apuesta por la reutilización de materiales, concretamente el plástico.

Este material es uno de los mayores problemas a los que se enfrenta la sociedad actual y venidera. Constituye uno de los desperdicios más contaminantes y con mayor tiempo en biodegradarse. Además, su producción ha seguido un crecimiento exponencial en las últimas décadas, tal y como se puede observar en la Figura 1

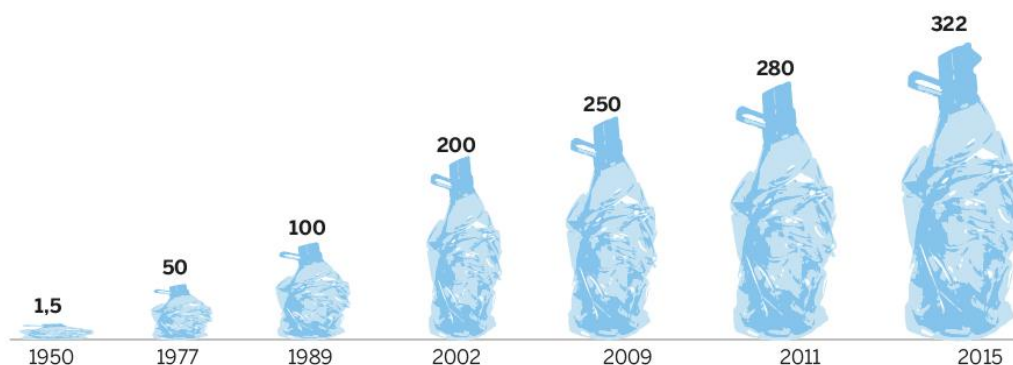


Figura 1: Producción mundial de plásticos en m.t. [99]

### referencia..

Cabe mencionar que el 79 % de plástico desechado se encuentra en vertederos o en el ecosistema y que solamente un 12 % se incinera, dejando un escaso 9% que sí se recicla [1]. Para ponerlo aún más en tesitura, cada segundo más de 200 kilogramos de plástico acaban en mares y océanos [2].

En España, pese a ser uno de los cinco países europeos que más plástico demandan, no existen muchas iniciativas que fomenten al reciclaje. Por ello, este país queda a la cola de Europa en cantidad de plástico reciclado. [3]

## 2.3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Spiker forma parte de un proyecto más amplio, pensado para animar a reciclar a todo tipo de personas, independientemente de su edad u otros factores sociales. La idea principal es ofrecer una experiencia en la que, aportando los propios desechos de plástico cotidianos, el usuario pueda obtener un producto u objeto funcional listo para ser utilizado. Spiker y las posteriores máquinas del proceso están enfocadas para pequeños barrios o comunidades.

El proyecto general del que forma parte Spiker, la trituradora, constará de varias máquinas. El plástico que entre en el ciclo seguirá el diagrama de flujo que se muestra en la *Figura 2*.



Figura 2: Diagrama de flujo para el reciclado de plásticos. Elaboración propia.

Como se puede observar, el propósito último del plástico triturado variará. Según la aplicación final, se optará por destinarlo a un proceso u otro. Por ejemplo, destinarlo a una extrusora y posteriormente, ser bobinado para crear filamento de impresoras FDM. Otra posible forma de transformar el plástico triturado puede ser mediante una calandradora para posterior termoconformado, el moldeo por inyección, etc...

El destino final del plástico y, consecuentemente, el proceso a utilizar, se determinará teniendo en cuenta las características técnicas, propiedades y las restricciones constructivas que tiene dicho plástico triturado.

Esto hace que a la hora de diseñar la tronzadora, haya que tener en cuenta el destino final del plástico que va a triturar. En la sección 7.6. Rejillas, se profundizará más sobre la solución adaptada para controlar el tamaño de granza conveniente para cada proceso.

La elección del post-procesado del plástico triturado según su aplicación no concierne a este proyecto. Al final de la memoria existe una sección (10.2.) donde se expondrá la línea futura de este proyecto.

Como se comentó previamente, la meta final de este gran proyecto es generar la experiencia completa de satisfacción al usuario, transformando los

desechos plásticos que haya generado en un posible elemento funcional. En la Tabla 1 se muestra un posible ejemplo de bonificaciones para la persona que aporte material a reciclar.

<b>Material aportado</b>	<b>Recompensa</b>
<b>0 a 250 g</b>	Bolígrafo
<b>251 a 500 g</b>	Maceta
<b>501 a 1000 g</b>	Tabla de cortar

Tabla 1: Bonificaciones según el rango de material aportado

En un primer momento no se ha pensado destinar el proyecto a una aplicación comercial extensiva, aunque sí que sienta las bases para una posterior industrialización del proceso.

Todo el diseño ha sido concebido teniendo como prioridad la seguridad del usuario, así como la ergonomía.

En resumen, Spiker es una trituradora de plástico pensada para solventar la necesidad creciente del reciclado de plásticos, concienciando a la población sobre el respeto hacia el medio ambiente y a la vez, proporcionando una experiencia positiva a la persona que lo utiliza e intentar promover un estilo de vida más sostenible y eco-responsable.



## 2.4. CONDICIONANTES Y LIMITACIONES

En este apartado se van a citar las limitaciones que se han impuesto al proyecto a la hora de su diseño y fabricación.

Una primera limitación que se presenta es definir el próximo proceso al que se verá sometido el plástico troceado. Es importante saber que rango de granza manejan las siguientes máquinas del ciclo. Según sea la alimentación de las siguientes máquinas, la trituradora deberá producir un tamaño de grano adecuado para éstas. Además, es importante determinar qué tipos de materiales es capaz de triturar.

Para acotar este proyecto, se definirá un material de corte como referencia. De esta forma, se podrá dimensionar y verificar correctamente ciertos elementos.

Tras considerar varias opciones, se concluyó ensayar el HDPE o polietileno de alta densidad. Se eligió este termoplástico porque es uno de los polímeros más demandados en Europa, tal y como se puede ver en la *Figura 3*. Además, es un plástico muy común en la vida cotidiana. Se puede encontrar en envases, juguetes, tapones de botellas...

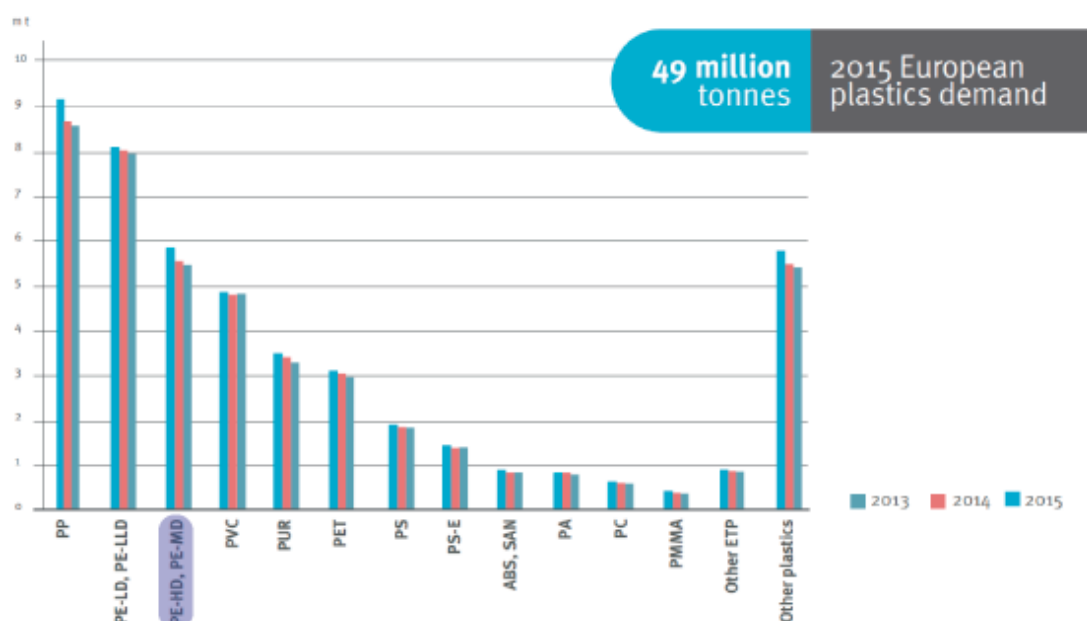


Figura 3: Demanda de plástico en Europa en 2015. [96]

Además, su temperatura de transición vítrea es relativamente baja comparada con otros polímeros. Esto hace que su procesabilidad sea muy buena, siendo apto para gran variedad de extrusoras e inyectoras.

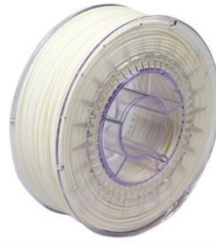


Figura 4: Bobina de HDPE para Impresora 3D [4]

Como se puede observar en la *Figura 4*, también existen filamentos de este material para impresora 3D (FDM) [4].

No solo esto, además es resistente ante la corrosión y presenta un límite elástico bastante bajo. Esto hace que las sollicitaciones de los elementos mecánicos sean reducidas y por ello, la vida útil de la máquina se verá prolongada.

Otra limitación es el hecho de que se va a construir de forma local. Es importante tener en cuenta la industria de la zona, lo que ofrecen y los precios/plazos que manejan, así como los materiales a los cuales pueden acceder.

Se ha decidido proyectar una trituradora de tamaño medio por el uso al que se verá destinada. Como se verá en la sección 4, hay un gran vacío en el mercado de este tipo de máquinas, siendo la mayoría de carácter completamente industrial.

Por ello, no es mucha la documentación existente acerca de los fenómenos mecánicos que tienen lugar en máquinas como la que se va a construir. Esto ha conllevado a suponer hipótesis simplificativas varias. Por ejemplo, el modo de fractura que tendrá lugar en la máquina. En la sección 6.1. se detallarán todas las hipótesis adoptadas.

Una vez ejecutado el proyecto se podrá verificar si dichas hipótesis se asemejan lo suficiente al modelo real o, por lo contrario, necesitan ser reconsideradas.

Por último, debido al tamaño de la máquina y la naturaleza de los elementos que constituirán Spiker, se intentará reducir costes en la manera de lo posible, pero, sin comprometer los plazos y la calidad del producto.

## 2.5. REPARTO DEL TRABAJO

Debido a la magnitud del proyecto, se han repartido las tareas según las competencias de los integrantes del equipo. Aun así, ciertas tareas de carácter más general se han hecho conjuntamente.

A continuación, la *Tabla 2* muestra el reparto de tareas para la consecución de este proyecto.

ALBA	VÍCTOR	CONJUNTO
Estado de la técnica	Elección de componentes basados en el estado de la técnica	Estudio de suministradores
Verificación de las dimensiones de las cuchillas	Hipótesis adoptadas	Primer diseño de la trituradora
Diseño de la tolva	Verificación de las dimensiones de los ejes	Geometría de las cuchillas
Diseño del bastidor	Verificación de las dimensiones de las ruedas dentadas	Elección de elementos normalizados
Elección del acople	Verificación de las dimensiones de los rodamientos	Materiales
Marcado CE y Estudio básico de seguridad	Elección del motor-reductor	Mantenimiento
Renders	Instalación eléctrica (cumplimiento del ITC-BT)	Ensamblaje general (Fusion360)
Imagen corporativa	Verificación de hipótesis	Montaje
Planos (análisis de tolerancias)	Referenciación	Presupuesto
Manual de montaje del bastidor		Conclusiones y línea futura
Materiales		

Tabla 2: Distribución de tareas del proyecto 'Spiker'



### 3.OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo principal de este proyecto es el diseño, desarrollo y fabricación de una trituradora para el posterior reciclado de material plástico.

Se tomará como base el estado del arte y se añadirán mejoras desarrollando en profundidad la parte mecánica y eléctrica. Se diseñarán completamente de cero elementos como el bastidor, se rediseñarán ciertas partes como la tolva. También se verificarán los elementos que vayan a implementarse tal cual se encontraron en otras máquinas, para así asegurar que van a cumplir con las exigencias que demande este proyecto.

Todas estas modificaciones se harán sin perder de vista el cumplimiento del marcado CE además de otros reglamentos y normativas vigentes.

Adicionalmente, se adaptará el modelo a las limitaciones que presente la industria local.

Una vez establecida la tesitura general del proyecto se realizará un estudio de mercado y, basándose en el mismo, se combinarán los conocimientos obtenidos con el estudio paralelo de fabricantes locales para dar una solución de diseño final. Se mantendrá contacto con estos talleres y suministradores durante todo el desarrollo del proyecto.

Se realizará el modelado 3D, planos y toda la documentación necesaria para su adquisición y fabricación. Finalmente, se ensamblará para comprobar que la documentación redactada es correcta. Una vez ensamblada, se ensayará el HDPE. Se comprobarán los resultados, si fuera necesario, se modificarán ciertas hipótesis adoptadas.

De forma paralela, se realizará una imagen de marca del producto final, así como una serie de renders para obtener un enfoque más profesional del proyecto.

El plástico resultante de la trituración tendrá diferentes salidas. En primer lugar, se lavará y se secará. Posteriormente, podrá ser destinado a diferentes procesos de transformación de plásticos, tal y como se pudo observar en la *Figura 2*.

Existen gran variedad de técnicas de transformación de plásticos, por lo que la elección del sistema a emplear se aleja del objetivo de este documento.

La idea general de este proyecto es crear un ecosistema de reciclaje circular. En éste, se transformarán los desechos plásticos en un producto funcional con material reciclado.

El enfoque principal de aplicación de este proyecto son pequeñas comunidades o barrios. Otro enfoque podría ser similar al del 'Proyecto Lia', en Estados Unidos, el cual procura dar una segunda vida útil a desechos. Además, dan empleo a mujeres expresidarias, que de otra forma encontrarían muchas dificultades para encontrar un trabajo. [5]

De esta forma, reutilizando sus propios desechos, podrán obtener productos útiles. Esta iniciativa puede fomentar vehementemente la cultura del reciclado en todos los sectores de la sociedad.

Se considerarán los límites ya mencionados para acotar el proyecto y poder ejecutarlo satisfactoriamente.

## 4. ESTADO DE LA TÉCNICA

### 4.1. ESTUDIO DE MERCADO

Actualmente en el mercado hay una falta de productos completamente desarrollados en el mundo del reciclado de plástico. A la hora de realizar el estudio de mercado, se ha centrado la búsqueda en diferentes empresas que tienen que ver de una manera u otra con el mundo del reciclaje de plástico.

#### 4.1.1. FILASTRUDER

Filastruder es una extrusora de filamento para impresión 3D. Actualmente cuesta 299.99\$. Se tarda sobre 2/3 horas en montar y para ello solo se necesitan herramientas básicas. Aporta la capacidad de elegir el diámetro del filamento, pudiendo ser este de 1.75mm o de 3.00 mm [6]. También se puede elegir una boquilla sin perforar para que el cliente la mecanice con el diámetro que desee. Por último, da la opción de definir el color del filamento. Para ello, puede que sea necesario el suministro de ciertos aditivos (pigmentos).

Recomiendan usar la boquilla de filtrado cuando se quieran conseguir diámetros inferiores a 5mm. Esta se puede comprar por separado. La función de esta boquilla es filtrar las inconsistencias del polímero. Incluye también un ventilador en la zona sellada donde se introduce el plástico [7].

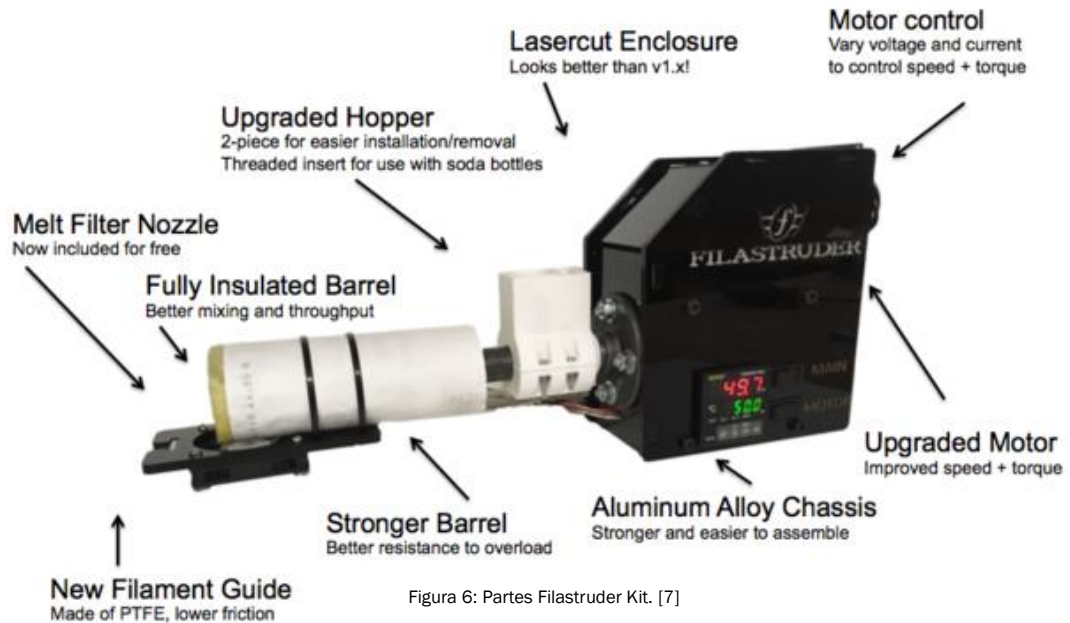


Figura 5: Filastruder [7]

Para usarlo recomiendan establecer primero la temperatura deseada para la extrusión y dejar tiempo para que se caliente. Después, se llena la tolva con la granza, y si se desea, introducir colorante para el plástico. Una vez preparado el material, se puede alimentar el motor reductor. Automáticamente, cuando esté listo, el plástico comenzará a salir por el extrusor de filamento.

Posteriormente el filamento se puede enrollar en una bobina para darle el uso que se necesite.

Esta extrusora está constituida por los elementos que se pueden observar en la *Figura 6*. Las partes que la componen son el motor con su controlador, la carcasa de aleación de aluminio, una tolva, la boquilla de filtrado y una guía para el filamento.



Además de esto, proporcionan una lista de plásticos que han sido extruidos por la misma y sus tolerancias, incluyendo el polietileno de alta densidad, que será el referente para este proyecto.

- **ABS:** +/-0.02mm (en algún caso hasta +/-0.01mm)
- **PLA:** +/-0.03mm
- **Nylon:** +/-0.02mm
- **Policarbonato:** +/-0.04mm
- **PET:** +/-0.05mm
- **Polimetilmetacrilato:** +/-0.05mm
- **Polipropileno:** +/-0.07mm
- **HDPE:** +/-0.02mm
- Otros extruidos por usuarios: PMMA, PVA, PC, ABS/PC, TPU, TPE, PCL, PEEK, PAEK y LDPE.

Además, ofrece otras recomendaciones en el uso:

- i. Los trozos de plástico que se introduzcan en ella no pueden ser mayores de 5mm.



- ii. Recomiendan mezclar el plástico reciclado con plástico virgen ya que con cada recalentado el plástico pierde propiedades.
- iii. Antes de meter el plástico sugieren lavarlo y secarlo para prevenir posibles impurezas.

A la vista de esta extrusora, caben destacar las siguientes características de cara a proyectar Spiker: El tamaño de granza no deberá sobrepasar los 5mm. Además, se confirmará la necesidad de un paso previo de lavado y secado del plástico introducido.

#### 4.1.2. PRECIOUS PLASTICS

Es una iniciativa holandesa “opensource” que se dedica a crear herramientas para facilitar el reciclado de plástico “en casa” [8].

Las diferentes máquinas que ofrece pueden ser reparadas, construidas o customizadas con herramientas y materiales básicos. Ofrecen gran variedad de máquinas [9]. Clasifican sus productos en ‘básicos’ y ‘pro’. Hay varias máquinas que no tienen versión ‘pro’. A continuación, se mostrarán las máquinas básicas que ofrecen, ya que las ‘pro’ siguen el mismo principio de funcionamiento, pero incorporando alguna mejora:

**Tronzadora:** Esta máquina se emplea para reducir trozos de plástico grandes en otros más pequeños. Esto facilitará su posterior lavado, secado, etc. El coste de los materiales (en Holanda) es de 1.100€ y pesa unos 150 kg. Emplea un motor de 2.2 kW, es alimentada a 400V y 16 A. El tamaño del plástico resultante puede ser modificado cambiando el tamiz [10].

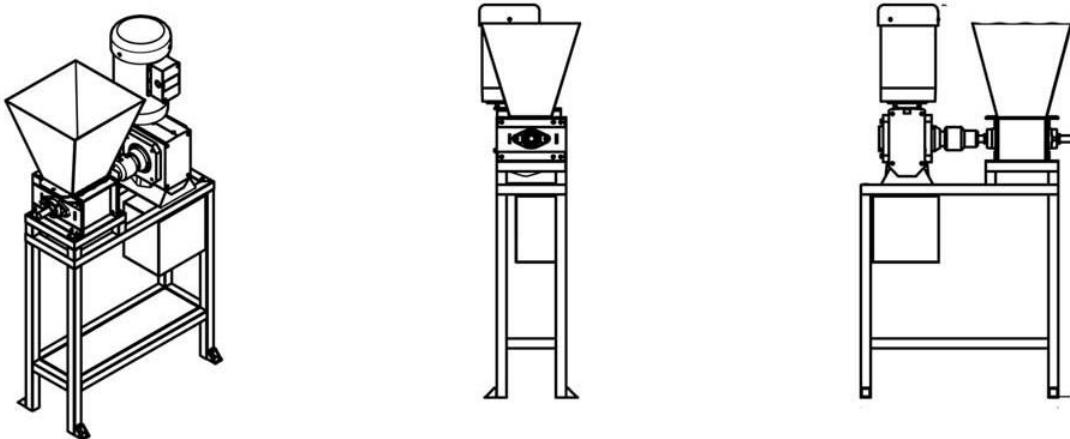


Figura 7: Tronzadora Precious Plastic. [10]

Como se puede observar en la *Figura 7*, el diseño de esta máquina presenta una tolva que no evita el acceso a la zona de corte. Esto puede conllevar a accidentes cuando la máquina esté funcionando.

Solamente consta de un eje, haciendo que el tamaño de la zona de corte no sea suficientemente grande. Por ello, la carga de plástico que puede procesar simultáneamente es pequeña.

**Extrusora:** A esta máquina la denominan de proceso continuo. Se introduce el plástico granulado en la tolva, se calienta y se extruye con un husillo. Con esta herramienta se obtiene un filamento continuo, el cual puede ser destinado para para impresión 3D, hacer plástico granulado, obtener plástico para moldearlo después, etc. El coste del material que constituye esta máquina ronda los 500€ y su peso unos 35 kg [11].

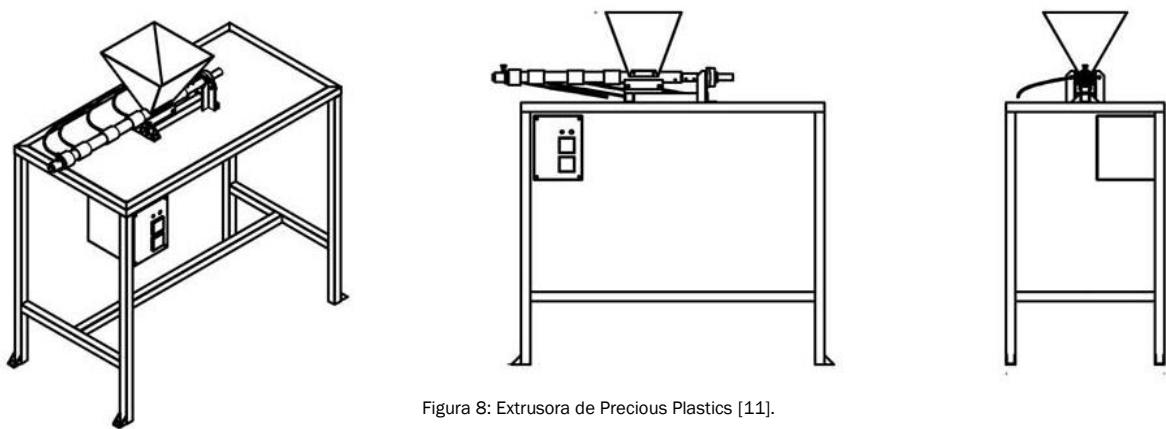


Figura 8: Extrusora de Precious Plastics [11].

**Inyectora:** Con esta máquina, los residuos de plástico son calentados e inyectados en un molde. Su función principal es crear objetos pequeños, rápida y repetitivamente. Lo más costoso de este proceso será conseguir un molde con la geometría idónea para el plástico inyectado. El precio de adquisición de los materiales necesarios ronda los 300€ y su peso aproximado es 23 kg [12].

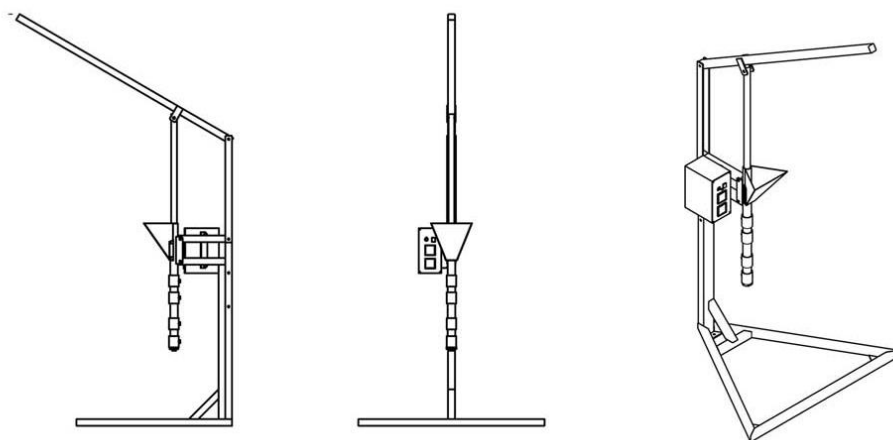


Figura 9: inyectora Precious Plastic. [12]

**Prensa:** Básicamente este componente es un horno con resistencias eléctricas. Se calienta el plástico y se presiona lentamente en un molde. Esta compresión la consiguen mediante un mecanismo al alcance de cualquiera, un gato de coche. El coste de la materia prima es de unos 350€ y su peso es 30 kg aproximadamente. [13]

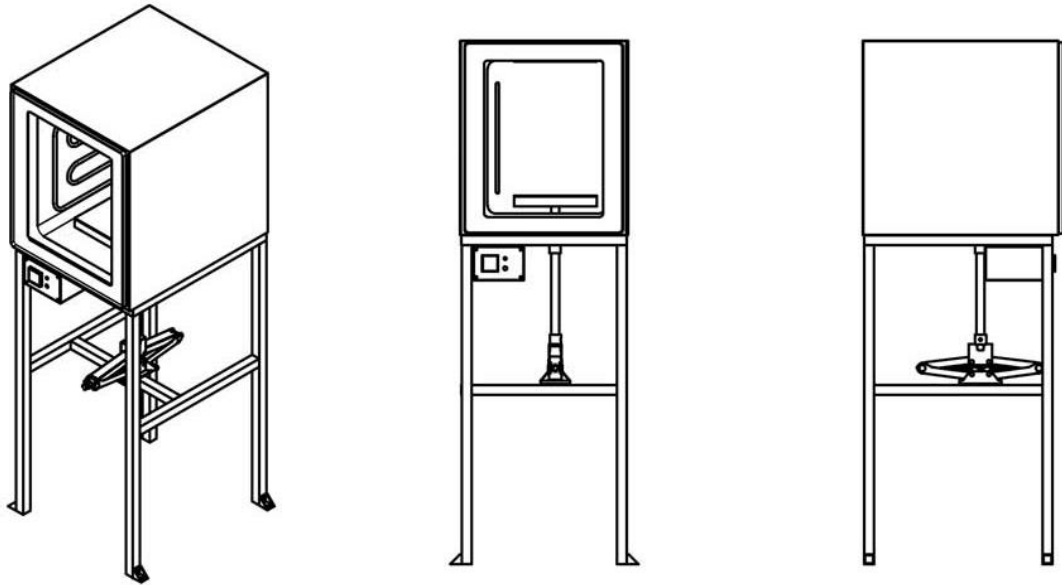


Figura 10: Prensa Precious Plastic. [13]

A la vista de todas las máquinas presentadas por esta ‘open source’, la principal desventaja se manifiesta en su diseño. Éste es muy rudimentario, sin proporcionar ningún tipo de especificación técnica sobre el plástico resultante. Además, el diseño presenta grandes fallos en la ergonomía y seguridad del usuario.

Todas las máquinas son fabricadas desde cero con el motivo de dar accesibilidad a ellas desde todo el mundo, pero a su vez hace que cada máquina esté en su forma más básica. Tampoco dan especificación alguna sobre mantenimiento o estimación de la vida útil de los mecanismos.

#### 4.1.3. 3DEVO

Esta empresa fabrica extrusoras de filamento, tronzadoras y máquinas de secado de plástico. Además, proporciona una herramienta comparadora de extrusoras de filamento. Su filosofía es conseguir que el mundo de la impresión 3D no deje residuos [14] [15].

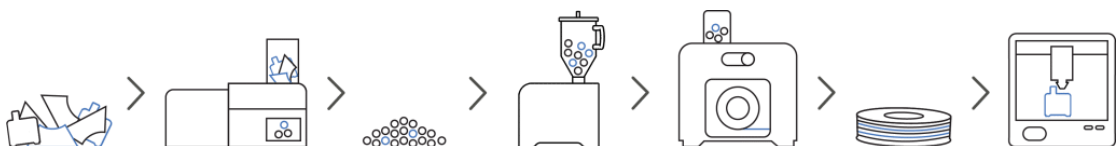


Figura 11: Ciclo 3DEvo. [15]

**Extrusora:** Su enfoque está pensado para un nivel usuario. Es capaz de extruir una gran variedad de plásticos diferentes [16]. La más barata cuesta 5350 €. Aunque su diseño es menos rudimentario que Filastruder, el precio es bastante alto para ser asequible por el público general.



Figura 12: Extrusora de filamento 3Devo. [16]

**Tronzadora:** Shr3d it shredder. Recicla hasta 5.1 kg de plástico por hora. Diseño adaptado al usuario con posibilidad de cambiar los filtros. Se compone de un único eje que gira con las cuchillas para triturar el plástico [17].

Su precio es de 2975 €. Una vez más, el precio se ve comprometido por su diseño menos rudimentario.



Figura 13: Shr3d it shredder. [17]

#### 4.1.4. POLYSTAR

Es una empresa que ofrece soluciones de reciclaje de plástico en un ámbito más general. Se puede adaptar a las diferentes necesidades del cliente dependiendo de la capacidad de producción, material, industrial, requerimientos de capacidad y las limitaciones del espacio [18]. Las máquinas que ofrecen son fáciles de instalar, operar y mantener.

## Recicladora con cortadora y compactadora. Recicladora HNT-V.



Figura 14: Recicladora con cortadora y compactadora. [70]

Polystar ofrece diferentes modelos de este tipo de máquina. La productividad varía desde un mínimo de 80-140 kg/hora hasta 900-1200 kg/hora. El intervalo de diámetro de tornillo de la extrusora va de 65mm a 180mm. Este tipo de máquinas es capaz de reciclar una gran variedad de productos, como por ejemplo film de PLA, cuerdas de plástico, rollos de film de polietileno o polipropileno, bolsas de plástico, film de burbujas, etc. Los materiales que recicla son PEAD, PEBD, PELBD, PP, BOPP, EPS, PU, PC y ABS. Este puede venir en formas variadas como películas, bolsas, láminas, mallas, espumas, cintas, rafia, remolido, hojuelas, gránulos, scraps y bordes [19].

La máquina se compone de una parte donde se introduce el material, una zona de corte y compactado y una de desgasificación. Una vez desgasificado el plástico, va a la zona de filtrado y de ahí a la de peletización. La alimentación de residuos funciona con una banda transportadora que se controla automáticamente. También se puede alimentar al mismo tiempo rollos con rodillos de compresión.

El cortador y compactador funciona con cuchillos rotativos que cortan el material. En la misma zona se seca y se compacta el material lo que acelera el ritmo de alimentación de la máquina y hace que la extrusora reciba el material de manera estable. La desgasificación se realiza en dos zonas y esto permite que la máquina no falle si, por alguna casualidad, llegase agua a la máquina.

El filtro tiene un sistema de cambio con canal dual para que no haga falta parar la máquina en caso de necesitar sustituirlo. A parte, para finalizar, se hacen los pellets que son de alta calidad y listos para el procesamiento.

Si bien esta máquina es muy completa, se puede ver que es de carácter completamente industrial y no es el perfil buscado. El precio no está accesible de cara al público y hay que contactar con la empresa para obtenerlo. Aun así, se puede suponer que superará en gran cuantía al resto de las opciones vistas.

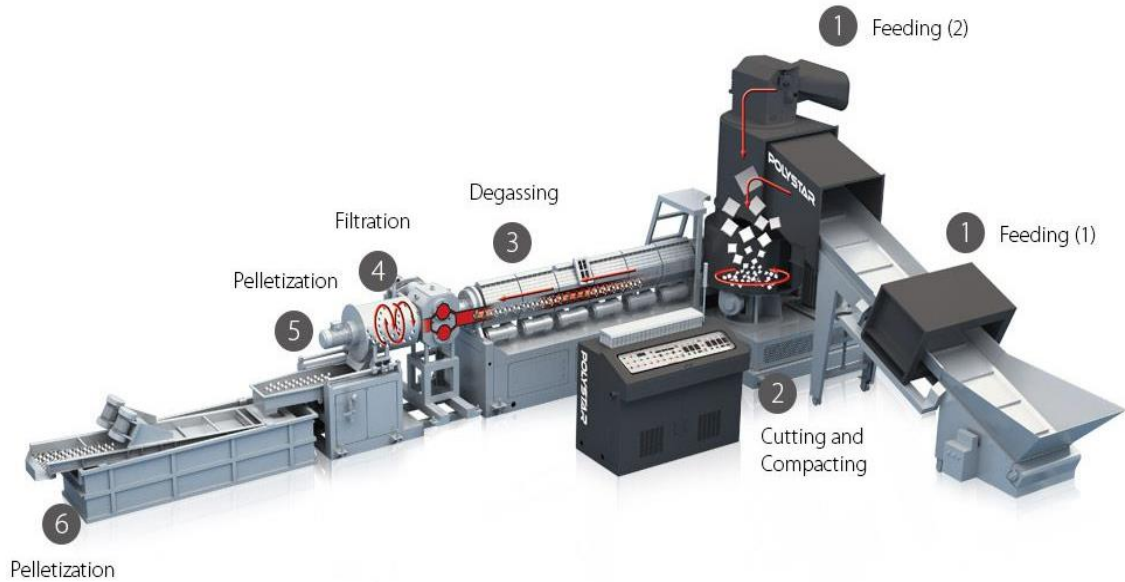


Figura 15: Recicladora HNT-V. [70]

### Máquina de reciclaje con triturador. Recicladora SNT-V.

Esta máquina de reciclaje lleva incluida un triturador de un solo eje. También puede reciclar una gran cantidad de materiales como PEAD, PEBD, PELBD, PP, BOPP, EPS, PU, PC y ABS.



Figura 16: Recicladora SNT-V. [71]

El diámetro del tornillo varía entre 65 y 165 mm. La productividad varía entre 100 kg y 1000 kg dependiendo del modelo de la máquina.

La alimentación se realiza una vez más a través de una banda transportadora y un alimentador de rodillos. El tipo de corte final es por peletizado de placa caliente (anillo de agua). Los componentes de máquina son: un molino de un solo eje, la banda transportadora, el compactador, la extrusora, la unidad de peletizado, la unidad de enfriamiento y la de secado de pellets. Además de esto posee un tanque de almacenamiento [20].

Al poseer triturador se parece más a nuestro proyecto, pero, al igual que la recicladora con cortadora y compactadora, es de carácter mucho más industrial a los que buscamos y el precio seguramente sea mucho más elevado.

### **Extrusora de tres capas (ABA) HDPE.**

La extrusora de tres capas es una máquina de soplado de película en coextrusión. El ancho de la película es personalizable y puede oscilar entre 150 mm y 2500 mm, así como el espesor puede variar entre 0.01mm y 0.2 mm. Puede funcionar con material reciclado, y sus productos pueden ser utilizados para agricultura, cubiertas de construcción o para polvo, bolsas para almohadas y colchones, etc. La productividad también es personalizable, variando entre 20 y 250 kg [21].

Es interesante esta extrusora porque maneja HDPE, el material que vamos a utilizar con nuestra trituradora. También podemos ver que el plástico HDPE reciclado tiene aplicaciones reales a nivel industrial.



Figura 17: extrusora de tres capas (ABA) HDPE. [72]

#### 4.1.5. FILABOT

Filabot es una empresa estadounidense enfocada en la extrusión de plástico para su posterior utilización en impresión 3D.

Ofrece un amplio rango de productos, incluyendo una trituradora con dos zonas de corte. Además, distinguen entre la zona de tronzado y la zona de granulado.



Figura 18: Trituradora de Filabot. [22]

El grosor de las cuchillas en la zona gruesa es de 6,4mm. En esta zona, se asegura que el tamaño de los trozos de plástico triturado sea suficientemente pequeño. En concreto, las dimensiones de las piezas de plástico que abandonan la zona de corte son inferiores a los 75mm de diámetro.

Posteriormente, son dirigidos a la zona de granulación, donde el espesor de las cuchillas es de 5mm y el tamaño de granza obtenido es de 13mm.

La velocidad de funcionamiento de los ejes ronda las 37rpm. Esto lo consiguen con un reductor corona-sinfín. También tienen la opción de variar el rango de velocidades gracias a un variador de frecuencia.

Cabe destacar la potencia del motor empleado es de 1hp (0.75kW).

El precio de partida de la trituradora es de 5849\$, sumando posibles gastos de envío y gestión aduanera, al ser un producto americano [22].



## 4.2. PATENTES

Existen invenciones que presentan aspectos de su diseño relacionados con Spiker. A continuación, se muestran las patentes de dichas invenciones, incluyendo una breve descripción del producto e imágenes significativas. La búsqueda se ha realizado a nivel nacional e internacional, a través de Espacenet, Invenes, Patentscope y Google Patents.

### Dispositivo triturador para residuos (ES2047789).

Es un dispositivo de trituración para desperdicios variados, entre ellos el plástico. Tiene un rotor con nervios y cada uno de estos está interrumpido por una bolsa. La herramienta tiene un perfil que sobresale, uniforme y radialmente por el perfil de los nervios. Es innovador ya que su forma y diseño permite que los topes de carga y los atascos no se produzcan mientras está en funcionamiento [23]. Esta característica podrá ser utilizada como referencia para el diseño de Spiker.

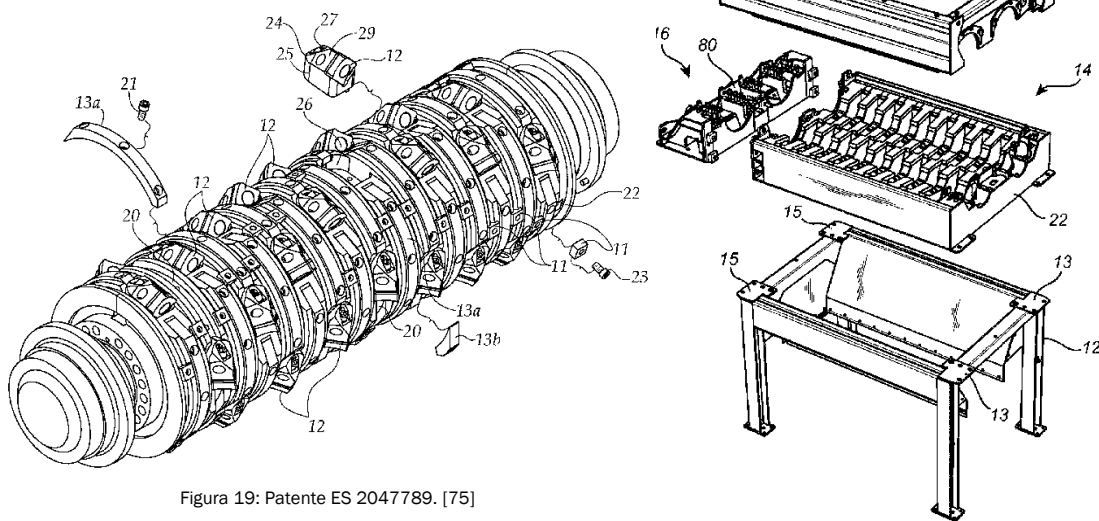


Figura 19: Patente ES 2047789. [75]

### Dispositivo para la trituración de material plástico de desecho (ES2272686).

La invención tiene por objeto un dispositivo para la trituración de material plástico de desecho, con una carcasa en la que está alojado de forma giratoria al menos un rotor en torno a un eje preferentemente horizontal mediante un motor.

Dicho rotor está dotado de herramientas de trituración que actúan en el plástico introducido, en particular unas cuchillas a las que están asignadas, un túnel de alimentación de gran volumen que forma la carcasa, unas cuchillas fijas contrarias a las cuchillas asignadas y un dispositivo de alimentación que presenta un empujador. Este ejerce fuerza contra el rotor en

el material que se encuentra en el túnel de alimentación. El empujador está compuesto por dos partes superpuestas que pueden moverse independientemente entre sí [24]. Esta última característica resulta especialmente llamativa.

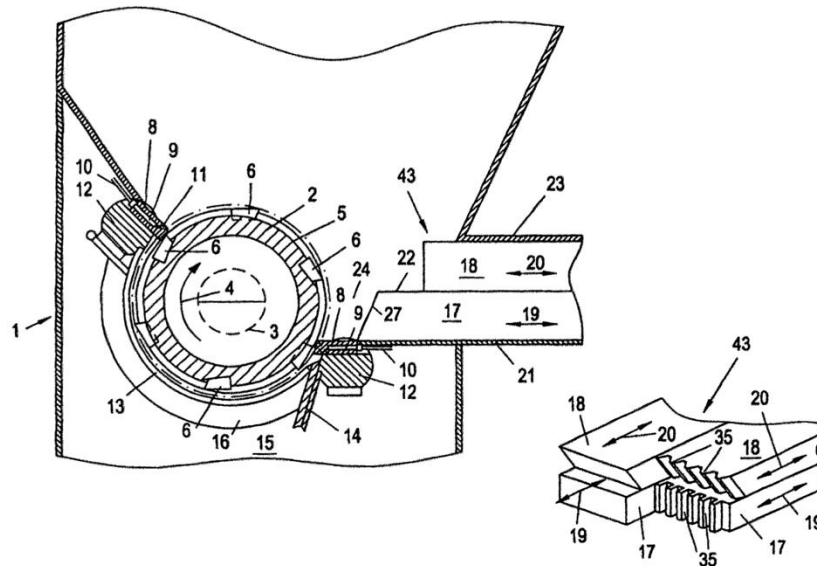


Figura 20: Patente ES2272686. [73]

### Molino triturador de material plástico (ES2005355).

Posee una abertura de carga en forma de tolva simple, por la que el material entra a un recinto cerrado. La parte que tritura está compuesta de varias cuchillas móviles dispuestas radialmente y estas a su vez están montadas sobre un eje. Está provista de un dispositivo separador que está unido a la pared del recinto mencionado anteriormente. Esto permite que los medios de giro estén alejados de la pared [25].

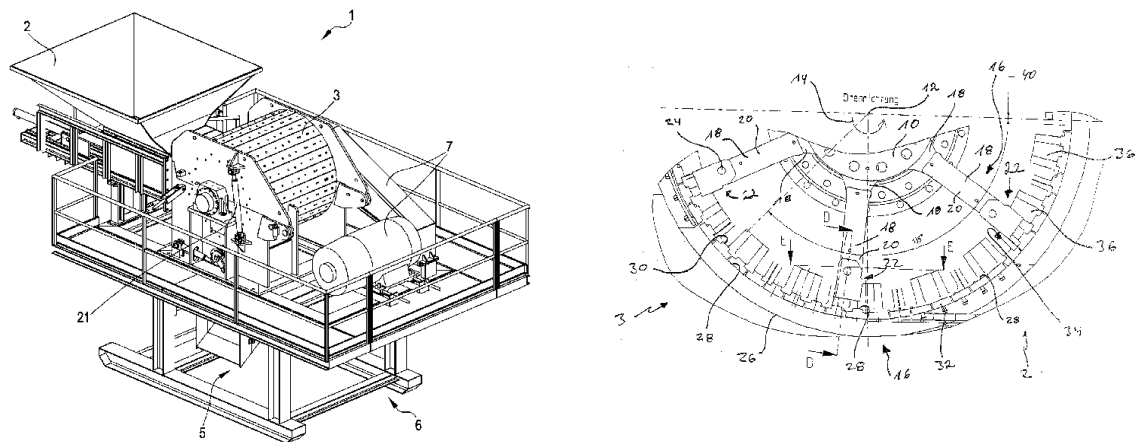


Figura 21: Patente ES2005355. [74]

## Máquina trituradora-granuladora para el desmenuzado de piezas termoplásticas de grandes dimensiones (ES0275857).

Esta patente es la más antigua que se ha encontrado en los archivos de Invenes, presentando una máquina rudimentaria de lo que existe ahora en el mercado. Está pensada para procesar termoplásticos grandes, de ahí su gran tamaño. Posee una plataforma para acceder a la máquina. Tiene una parte que tritura y otra que granula, separadas horizontalmente. La superior pegada a la tolva es la que posee una fila de ruedas dentadas en forma de estrella que se mueven mediante un motor reductor. De ahí, gracias a un embudo interno pasan a la zona de granulado, que contiene un eje con cuchillas que rotan. Todo este proceso desemboca en una caja debajo de la bancada donde estarán los medios que recogen ya el plástico desmenuzado [26].

La parte de las cuchillas en la tolva es una característica que no ha aparecido en ninguno de los diseños/patentes vistos hasta ahora.

## Special grinder for plastics (US20180200723).

La carcasa superior de esta trituradora de botellas de plástico puede abrirse y cerrarse. Incluye un soporte que tiene una cuchilla que rota y esta está fijada a la carcasa inferior. La parte del soporte está diseñada para que sea capaz de moverse con respecto al cuerpo principal de la trituradora y que se pueda extraer. Al tener esta forma, hace que sea más fácil realizar funciones de limpieza para el mantenimiento de la máquina [27].

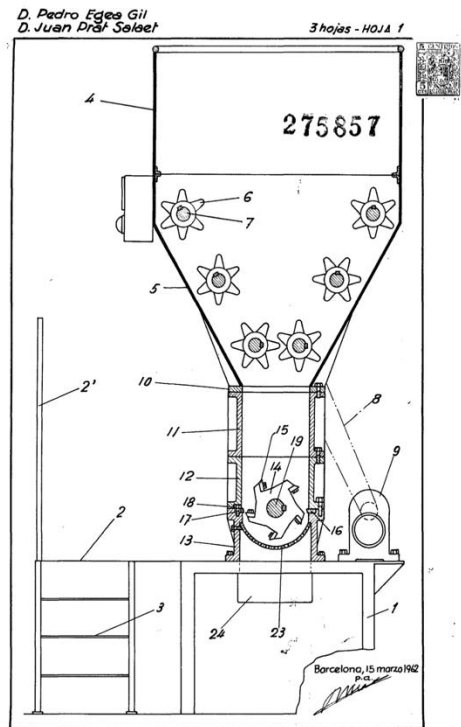


Figura 22: Patente ES0275857. [76]

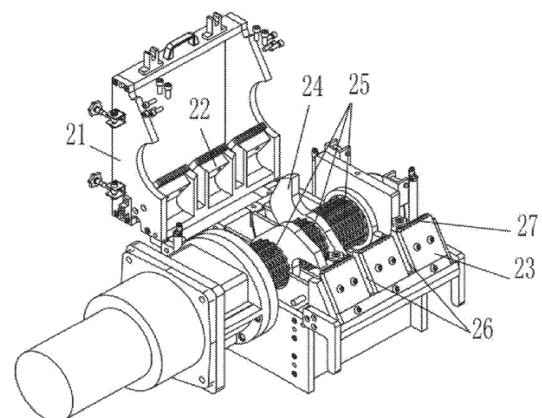


Figura 23: Patente US20180200723. [77]

Esta función de poder abrir alguna parte de la trituradora es interesante ya que hace tener en cuenta el factor mantenimiento a la hora de diseñar el modelo. Sin embargo, al solo poseer un único eje con cuchillas, no valdría para plásticos más resistentes.

Se puede concluir, por tanto, que el estado de la técnica actual está bastante desarrollado. Sin embargo, cada diseño tiene partes claras que llaman a un rediseño de este tipo de máquinas.

### 4.3. PRODUCTOS DE HDPE RECICLADO

En este apartado se va a realizar una búsqueda de productos que han sido obtenidos a partir del reciclado de HDPE. De esta forma, se introducen unas primeras ideas para el uso del plástico triturado por Spiker.

**“The Confetti Family”, diseñado por GibsonKarlo.**

Fabricada en Australia, la colección Confetti captura la naturaleza multicolor vibrante del plástico 100% reciclado y la traduce en una forma llamativa y visualmente distintiva. Esta se compone de mesas, taburetes, paragüeros, macetas, sofás, sillones, etc.

**“Back to nature”, diseñado por Andrea Mangone.**

Este proyecto es un conjunto de 3 productos fabricados con envases y bolsas de plástico reciclado, para ser utilizados no por humanos sino por animales y plantas silvestres. Son de HDPE y LDPE dependiendo del acabado que se quiera obtener.

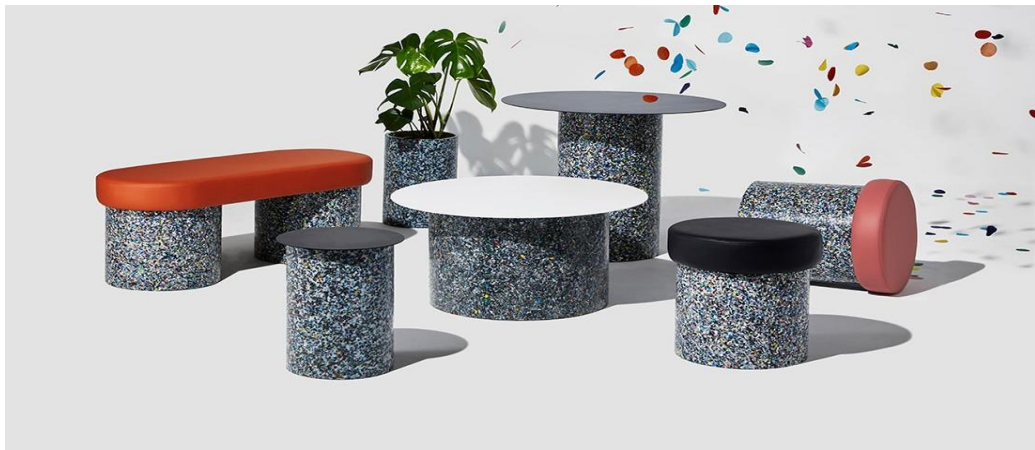


Figura 24: THE CONFETTI FAMILY [78]



Figura 26: Maceta Confetti [80]



Figura 26: Paragüero Confetti [79]

A parte de estos productos de diseño, también se pueden obtener otro tipo de productos más fáciles de fabricar como bolígrafos, tablas de cortar, pallets...



Figura 27:BACK TO NATURE [81]



Figura 29: Tabla de cortar, hecha con HDPE reciclado [82]



Figura 29: Pallet de HDPE [83]

## 5. ESTUDIO DE SUMINISTRADORES LOCALES

Un punto de inflexión de nuestro proyecto es el hecho de que se va a construir. Esto implica unas restricciones reales de fabricación y de presupuesto que dictarán en gran medida el avance que se va a llevar a cabo, tanto en diseño como en fabricación. De este modo es importante ver la industria local y prestar gran atención a los procesos de fabricación y la sencillez de las operaciones de mecanizado y montaje. Así mismo, la necesidad de disposición de comerciales en un plazo determinado hace que queramos buscar estas empresas de forma local.

### 5.1. EMPRESAS DE LÁSER

Se ha elegido el láser como medio principal de mecanizado por la rapidez en comparación con otros tipos de cortes. También se añade el factor de seguridad del operario, ya que este no tiene que estar en contacto en ningún momento con la pieza mientras se está mecanizando. Produce unos cortes limpios y de forma relativamente sencilla [28]. Es importante saber que el corte por láser es óptimo hasta chapas de espesor 25 mm a la hora de diseñar nuestro producto. La tolerancia alcanzable por esta tecnología se amolda a las necesidades de este proyecto ya que puede alcanzar tolerancias inferiores a 0.25mm.

A continuación, se van a mencionar algunas de las empresas locales (Valladolid y alrededores) que ofrecen el servicio del corte láser.

**Laser Ebro:** empresa fundada en 1998 con sede en Valladolid que se especializa en corte láser. Los materiales con los que trabajan son: acero al carbono de diferentes calidades (S235, S275, S355, F-114, anti-desgaste, etc.), galvanizado hasta 4mm, inoxidable (AISI 304, 316) y aluminio [29].

**CMO, Cortes Metalúrgicos Oviedo:** se dedican al corte y transformación de todo tipo de materiales. A parte de ofrecer corte por láser ofrecen otro tipo de mecanizados como oxicorte (lo que nos permite aumentar el espesor de chapa hasta 60mm), corte por plasma, corte por agua, plegado, curvado, etc. [30]. Tiene sede en Valladolid.

**Lasercor:** sede en Madrid. Ofrece todo tipo de servicios en relación con el láser, pasando por corte 2D y 3d, grabado, soldadura y corte de tubo 3d. También ofrecen plegado e insertos [31]. Trabajan con todo tipo de empresas desde automoción, electrodomésticos hasta construcción, infraestructuras y renovables.

## 5.2. EMPRESAS DE COMERCIALES

Para la ejecución del proyecto, se van a necesitar elementos de potencia, como motores-reductores y controladores de frecuencia. También elementos de transmisión de movimiento como rodamientos, acoples, engranes, etc. Por ello, se considera necesario investigar sobre las diferentes empresas que suministran este tipo de piezas. También se incluyen en este apartado todas las empresas de material eléctrico.

Las empresas que se barajan para los diferentes comerciales que habrá que utilizar son:

**SFK:** Con sede en Valladolid [32]. Posee una amplia gama de productos y servicios que pueden satisfacer casi cualquier necesidad, tanto de movimiento linear como rotativo en todos los sectores industriales. Sobre todo, prestamos atención a su apartado de rodamientos, ya que fue la empresa que inventó el rodamiento de bolas a rótula [33].

**Fasten Sistemas:** Se centra sobre todo en elementos de fijación y unión, así como perfilería de aluminio y plástico. También ofrecen corte láser sin mecanizados, todo esto orientado a proyectos de ingeniería mecánica [34]. Cuentan con una sede en Valladolid. Interesa sobre todo para el futuro bastidor que sujetará la trituradora.

**Cantelec:** Es una empresa bajo Fegime que suministra material eléctrico. Tienen departamentos específicos de Telecomunicaciones, Iluminación, Energías Renovables, pero también desarrollan instalaciones eléctricas [35]. Es líder de ventas en el mercado español. Posee sede en Valladolid.

**ABB:** Ofertan todo tipo de componentes de carácter tecnológico. Trabajan con servicios públicos, industria, transportes e infraestructuras [36]. Esta marca será considerada en este proyecto, ya que ofrece productos de gran fiabilidad.

**RS Components:** Es un distribuidor global de productos de electricidad, electrónica y mantenimiento industrial [37]. Tienen sede en Madrid, pero aseguran la entrega en 48h.

**Brammer:** Empresa que vende productos de mantenimiento, reparación y revisión para la industrial. Se especializa en los campos de transmisión mecánica, rotación, estanqueidad, transmisión eléctrica, neumática e hidráulica y herramientas y productos de mantenimiento [38]. Tiene sede en Valladolid.

**MEB S.A.:** Maquinaria Eléctrica Bilbao [39] lleva desde 1.940 dedicándose al suministro de componentes de transmisión mecánica, logística y apoyo



técnico al sector del movimiento industrial desde su oficina central en Bizkaia y numerosas delegaciones a nivel nacional.

**Nidec Motors:** Esta empresa, con sede en País Vasco, se especializa en fabricar motores eléctricos para todo tipo de aplicaciones. Tiene un departamento, ‘Control Techniques’, especializado en accionamientos y electrónica en general [40] . Además de otro departamento encargado de las aplicaciones de potencia ‘Leroy-Somer’ [41].

**Leroy-Somer:** Se centra en motores eléctricos y alternadores. Ofrecen servomotores, reductores-motorreductores, controladores y arrancadores, etc. [47]. Sus sedes están en Francia.

**Brown Advance:** Ofrece soluciones relacionadas con la transmisión de potencia mecánica. Es una empresa constituida en Reino Unido, pero tiene una sede en Barcelona. Como se verá en el apartado 5.3, hay proveedores en Valladolid que trabajan con esta marca. [42]

### 5.3. TALLERES DE MECANIZADO Y OTROS PROVEEDORES

Para conseguir material de las empresas citadas en la sección 5.2., se contactará con ellos mismos o con suministradores representantes. Con éstos se conseguirán el resto de los componentes necesarios, como elementos normalizados, u otras piezas que no se hayan podido obtener mediante corte laser, se ha contactado con talleres de Valladolid.

**Jesús suministros:** Tiene en su catálogo todo tipo de elementos de carácter industrial [43].

**Construcciones Mecánicas Casado S.A:** Se dedican a dar soluciones de ingeniería a todo tipo de proyecto, orientado desde el punto de vista de la fabricación [44].

### 5.4. SUMINISTRADORES LOCALES ELEGIDOS

A continuación, se incluye una tabla con los suministradores de los que se han comprado elementos y en qué área de trabajo se encuentran.

Suministrador	Área de trabajo	Encargado de comunicación
Laser Ebro	Laser	Alba
Fasten	Perfilería, comerciales	Alba
Jesús Suministros	Comerciales, Electricidad	Victor
Cantelec	Electricidad	Victor
Construcciones Mecánicas Casado	Ejes	Alba

Tabla 3. Suministradores elegidos.

## 6. CONCEPTOS INICIALES

### 6.1. MECÁNICA DE FRACTURA

Para poder dimensionar y verificar los elementos de la máquina objeto de estudio, es primordial conocer los fenómenos físicos que podrán tener lugar en el sistema. Para ello, se definirá el comportamiento de los materiales a triturar.

La gran mayoría de materiales que triturará Spiker serán termoplásticos. Tal y como se mencionó en la sección 2.4, el caso de aplicación para este documento será el HDPE.

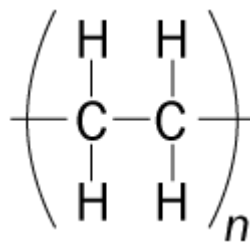


Figura 30: Monómero de HDPE. Elaboración propia

Estos polímeros están constituidos por agrupaciones de macromoléculas lineales. La unión de las cadenas poliméricas se consigue a través de puentes de hidrógeno o enlaces débiles de Van der Waals. El objetivo de Spiker será fracturar dichas redes de cadenas poliméricas.

Existen varios tipos de fracturas. Normalmente, las fracturas se clasifican según la cantidad de deformación plástica previa a la rotura. Esta elongación puede medirse, entre otros, por parámetros como la deformación a fractura o la reducción de área fracturada. La deformación a fractura mide el alargamiento de la probeta antes de que ésta se rompa. La reducción de área, fenómeno también conocido como estricción, tiene lugar una vez sobrepasada la resistencia máxima a tracción. [45]

Se considera fractura dúctil si la deformación plástica es elevada. Por lo contrario, la fractura frágil tiene lugar cuando apenas existe deformación plástica. Otra forma de verlo es la energía total absorbida por el material antes de romperse. Esta propiedad es conocida como tenacidad. Un material frágil tendrá menor tenacidad que uno dúctil.

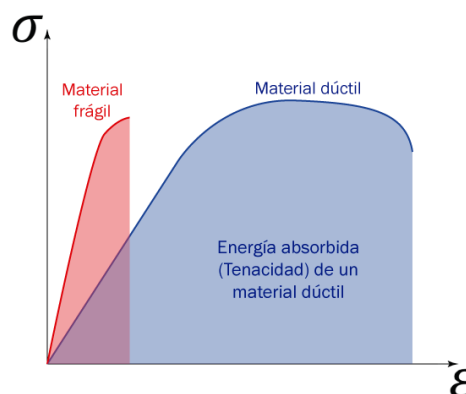


Figura 31: Tenacidad: material dúctil vs frágil. Elaboración propia.

Normalmente, en la mayoría de los termoplásticos, la fractura frágil tiene lugar a temperaturas inferiores a la temperatura ambiente. Estas condiciones no estarán contempladas en el presente trabajo. Por ello, se descartará una posible fractura frágil del material.

También existe otro tipo de fracturación, denominada rotura por microfisuración. Este fenómeno se da cuando se forman microporos que van expandiéndose, formando grietas y finalmente pueden hacer que parta la pieza. Sin embargo, este escenario no será habitual en los plásticos que se pretenden cizallar.

A la vista de los distintos tipos de fracturas mencionados, se concluirá que la forma de romper los polímeros introducidos a la máquina será siempre por fractura dúctil.

En la fractura dúctil, como se verá más adelante, la principal causante de la rotura del material será la tensión cortante.

Para determinar la tensión de rotura de un material, pueden realizarse diferentes ensayos mecánicos. Según el ensayo utilizado, el valor de esta podrá variar. Por ello, se distinguirán la tensión de rotura a tracción, a flexión y a cortadura.

### 6.1.1. ENSAYO A TRACCIÓN

Este es un ensayo muy común, por la simplicidad que presenta y la gran cantidad de información que se puede obtener de él. (UNE-EN ISO 527).

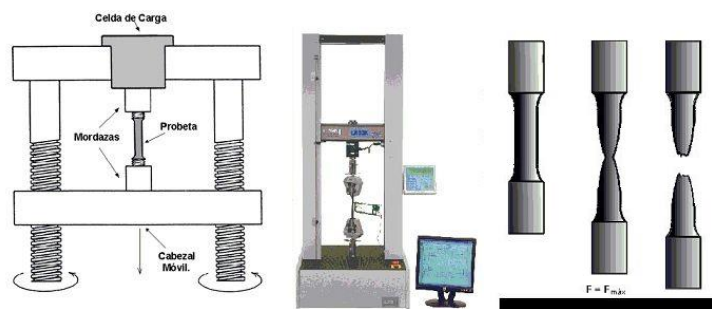


Figura 32: Ensayo a tracción [97]

Simplemente se trata de estirar una probeta, midiendo en todo momento la fuerza ejercida para tirar de la probeta y la elongación en cada instante de tiempo. [46]

Una vez realizado el ensayo, se obtendrá un diagrama de tensión-deformación. En él, se verán reflejados conceptos como la deformación a fractura o la reducción de área fracturada, ambos mencionados previamente. Otros valores significativos son el límite elástico, límite de fluencia ( $\sigma_f$ ) (que suele ser próximo al límite elástico), el Módulo de Young, resistencia máxima a tracción ( $\sigma_u$ ) o la tensión de rotura a tracción ( $\sigma_r$ ). Todos estos valores quedarán representados en *Figura 38*.

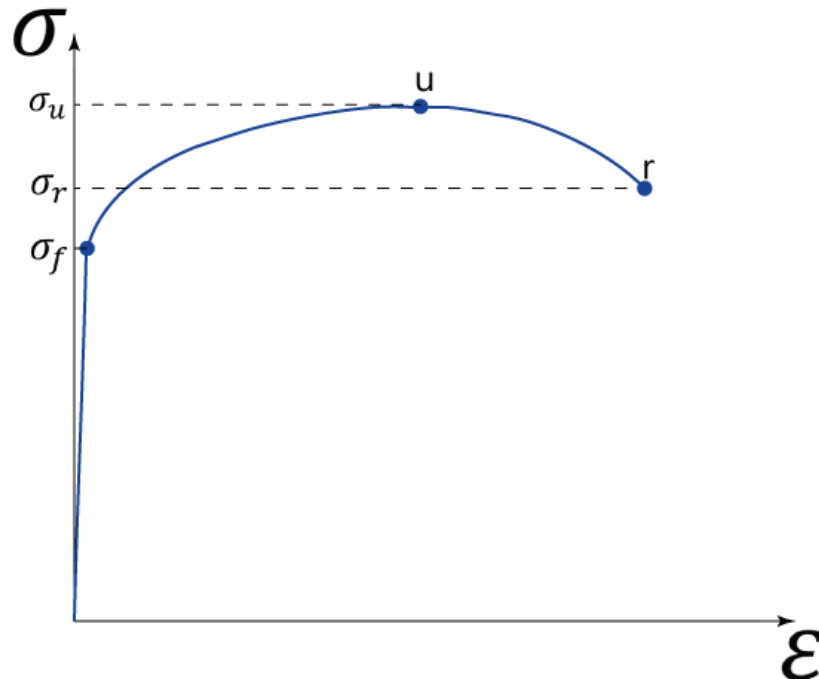


Figura 33: Diagrama tensión-Deformación. Elaboración propia

En relación con lo mencionado anteriormente, el valor de la tensión de rotura a tracción corresponde con la tensión a la que se produce la fractura dúctil del material.

En el ensayo a tracción, toda la sección plastifica a la vez, ya que la tensión es idéntica en cada punto de la sección.

### 6.1.2. ENSAYO A FLEXIÓN

Otro posible ensayo para caracterizar el material es el ensayo a flexión a tres puntos (UNE-EN ISO 178). De éste se deducirá la capacidad que tiene un material de soportar fuerzas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal.

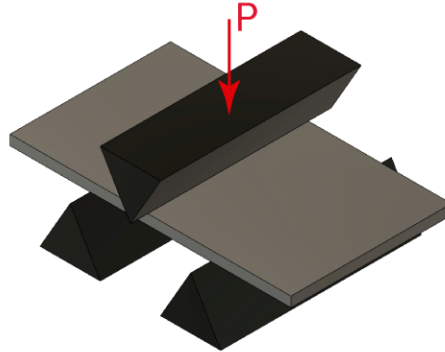


Figura 34: Ensayo a flexión a tres puntos. Elaboración propia

Algunos valores obtenidos serán el Módulo de flexión o la tensión de rotura a flexión, también conocida como resistencia a la flexión. El Módulo a flexión será equivalente al Módulo de Young, siempre que el material sea considerado como isótropo.

En esta situación de carga, existe parte de la probeta sometida a compresión y otra parte a tracción. A mayor distancia de la fibra neutra, mayor es el módulo de la tensión. Por este motivo, la primera zona en alcanzar las tensiones límite será la superficie. Sin embargo, hasta que todas las fibras no estén sometidas a dicha tensión límite, la probeta no plastificará completamente.

### 6.1.3. ENSAYO A CORTADURA

Este ensayo simula una rotura por cizallamiento. El fenómeno físico que rige este ensayo será el esfuerzo cortante. La principal diferencia entre este ensayo y el de flexión es la naturaleza de los apoyos. En este caso, son superficiales, mientras que, en el caso de la flexión, idealmente serán puntuales.

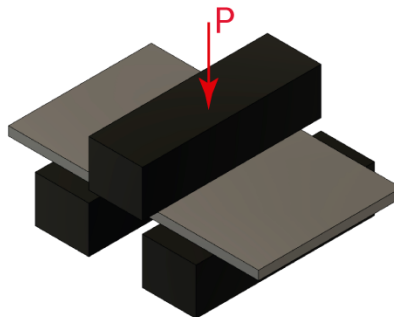


Figura 35: Ensayo a cizalladura. Elaboración propia

Como resultado del ensayo, se obtiene la tensión de rotura a cortadura.

## 6.2. HIPÓTESIS ADOPTADAS

Para poder acotar este estudio, se considerarán un conjunto de simplificaciones.

La situación de carga principal a la que se someterá al material será más similar a la definida en el ensayo a cortadura o flexión, es decir, perpendicular a la superficie.

Hay que destacar que el espesor del plástico a cizallar será suficientemente pequeño como para considerar que todas las fibras del material alcanzan el valor de la tensión límite simultáneamente, descartando así fenómenos de plastificación de la superficie, descritos en el ensayo a flexión (6.1.2).

El ensayo que más se asemeja a la situación de fractura es el ensayo de cortadura. Para simplificar el estudio, se desprecian la aparición de posibles tensiones internas adicionales, como podrían ser aquellas por aplastamiento. [47]

Puesto que la fuerza se va a suponer cortante ( $V$ ), el esfuerzo obtenido también será cortante ( $\tau$ ). El esfuerzo cortante será muy inferior al esfuerzo normal último a tracción. El valor del esfuerzo cortante variará según la orientación de las fibras y el área ( $A$ ) de la sección a cizallar.

Sin embargo, como la tensión a cortadura no es un valor tan común en la bibliografía, se usará una aproximación que relacione la tensión última a tracción con el esfuerzo a cortadura. Para ello, se plasmarán los valores obtenidos en el ensayo a tracción en el diagrama de Mohr, como se puede ver en la *Figura 36*.

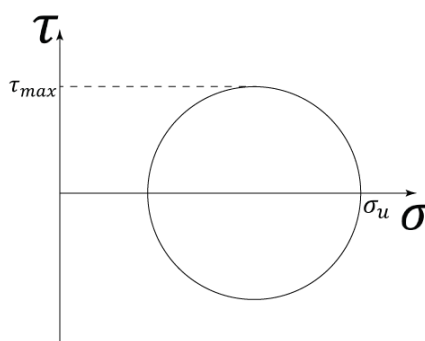


Figura 36: Relación entre tensión última y tensión cortante-Círculo de Mohr. Elaboración propia

De la *Figura 36* se deduce la siguiente igualdad:

$$\tau_{max} = \sigma_{Cizalla} = \frac{\sigma_{última}}{2} = \frac{V}{A} = \frac{F_{corte}}{A}$$

Fórmula 1: Valor del esfuerzo cortante

A la vista de la *Fórmula 1*, se puede despejar la fuerza de corte necesaria para cizallar un material.

$$F_{Corte} = \sigma_{Cizalla} \cdot A = \frac{\sigma_{última}}{2} \cdot A$$

Fórmula 2: Fuerza de corte para cizallar un material

La *Fórmula 2* resultará especialmente útil, ya que relaciona la fuerza de corte con la tensión última a tracción. Este valor, como se mencionó anteriormente, se obtiene directamente del ensayo a tracción.

La *Fórmula 1* es aplicable en materiales metálicos, por ello, al tratar con plásticos, esta hipótesis deberá ser verificada una vez se ensayen los plásticos a cortar.

A continuación, se citarán otras hipótesis simplificativas adoptadas.

En primer lugar, se ha supuesto que el par resistente que encontrará el motor es generado únicamente por la fuerza de corte necesaria para cizallar el plástico introducido. Dicho de otra forma, todo el par útil será destinado a fracturar el material.

En relación con la fuerza de corte, esta será distribuida uniformemente por todas las cuchillas. El punto de aplicación será en la superficie del filo de la cuchilla.

En la aplicación real, la carga no será distribuida uniformemente a lo largo del eje, sino que seguirá una distribución sinusoidal a lo largo de todo el eje, al estar las cuchillas dispuestas en forma helicoidal. Según la posición relativa de la cuchilla, la fuerza tomará un módulo u otro. (*Figura 95*)

Esta hipótesis no tiene gran relevancia para la elección del motor, ya que el par resistente a vencer seguirá siendo el mismo, independientemente de la distribución de la fuerza. Sin embargo, sí que afectará para otros aspectos como la verificación de las dimensiones de las propias cuchillas (7.1.2) o de los ejes (7.4.2).

Como se verá en la sección 7.4.2, los engranes constan de un número diferente de dientes. Esto hace que la velocidad de un eje será ligeramente superior a la del otro, ya que un engrane tiene 20 dientes frente a los 18 del otro.

$$n = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

Sin embargo, se considerarán idénticos. De esta forma, la velocidad de giro de ambos ejes será la misma.

Además, se va a considerar que el sistema está funcionando en régimen estacionario, es decir, con una velocidad angular constante.

$$\alpha_i = \frac{d\omega_i}{dt} = 0$$

$$\bar{a}_i = 0$$

Aplicando las hipótesis mencionadas, la ecuación de movimiento del sistema queda simplificada.

$$T \cdot \omega - T_1 \cdot \omega_1 - T_2 \cdot \omega_2 + (I_1 \cdot \alpha_1) \cdot \omega_1 + (I_2 \cdot \alpha_2) \cdot \omega_2 + m_1 \cdot \bar{a}_1 \cdot \bar{V}_{G1} + m_2 \cdot \bar{a}_2 \cdot \bar{V}_{G2} = 0$$

Fórmula 3: Ecuación dinámica del movimiento de Spiker

Donde el subíndice 1 hace referencia al eje motriz y el subíndice 2 hace referencia al eje conducido.

$$T - T_1 - T_2 = 0$$

Fórmula 4: Ecuación dinámica del movimiento de Spiker, simplificada

De la Fórmula 4 se puede deducir que todo el par de entrada a la máquina será distribuido en ambos ejes. Sin embargo, este par no va a ser el nominal del motor, ya que existirán disipaciones de potencia en los elementos móviles.

Tampoco se puede deducir el porcentaje de par repartido a cada eje, por ello, se supondrá que este par útil es repartido equitativamente entre ambos ejes.

$$T_1 = T_2 = \frac{T_{\text{útil}}}{2}$$

A la vista de lo recién mencionado, será imprescindible definir la eficiencia global del sistema, para así poder acotar el par útil que recibe Spiker.

El propio motor no tendrá una eficiencia del 100%. Esta eficiencia se podrá obtener de la chapa de características del motor (*Figura 61*). Suponiendo que el índice de carga del motor será del 75%, de aquí se deduce un valor para la eficiencia del 83%.

También disminuirán la eficiencia el resto de los elementos móviles de la caja, como pueden ser las ruedas dentadas o los rodamientos. Se supondrá una eficiencia cercana al 90% para el conjunto de componentes.



A parte del motor, otro componente que disminuirá significativamente este rendimiento global es el reductor BWQ, del fabricante Brown Advance [42]. El rendimiento dinámico del reductor escogido es del 77%, tal y como se puede observar en la *Figura 37*.

BWQ	i	7,5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
25	Z1	4	3	2	2		1	1	1	1		
	Y	25° 18'	19° 31'	13° 18'	10° 53'		8° 44'	5° 29'	4° 34'	3° 56'		
	mx	1,3	1,3	1,3	1		1,3	1	0,8	0,67		
	hd	0,84	0,82	0,78	0,74		0,66	0,61	0,57	0,54		
	hs	0,7	0,67	0,6	0,55		0,46	0,41	0,36	0,34		
30	Z1	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1
	Y	18° 50'	14° 21'	9° 40'	7° 44'	5° 34'	4° 42'	3° 53'	3° 11'	2° 46'	2° 48'	
	mx	1,44	1,44	1,44	1,1	1,7	1,44	1,1	0,88	0,75	0,58	
	hd	0,84	0,81	0,76	0,72	0,67	0,64	0,58	0,54	0,5	0,44	
	hs	0,66	0,62	0,54	0,5	0,43	0,39	0,35	0,31	0,27	0,23	
40	Z1	4	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	Y	21° 48'	17° 31'	11° 18'	8° 58'	7° 41'	5° 42'	4° 30'	3° 51'	3° 17'	2° 32'	2° 05'
	mx	2	1,5	2	1,5	1,25	2	1,5	1,25	1,04	0,78	0,63
	hd	0,86	0,85	0,81	0,77	0,74	0,69	0,64	0,61	0,57	0,51	0,47
	hs	0,69	0,65	0,58	0,53	0,5	0,44	0,4	0,36	0,32	0,28	0,24
50	Z1	4	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	Y	21° 48'	17° 42'	11° 18'	8° 04'	7° 36'	5° 42'	4° 32'	3° 49'	3° 17'	2° 32'	2° 04'
	mx	2,5	1,9	2,5	1,9	1,54	2,5	1,9	1,54	1,3	0,98	0,78
	hd	0,86	0,84	0,8	0,77	0,74	0,7	0,65	0,61	0,57	0,51	0,49
	hs	0,69	0,65	0,58	0,54	0,5	0,44	0,39	0,35	0,32	0,27	0,23
63	Z1	4	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	Y	24° 31'	20° 19'	12° 50'	10° 29'	8° 44'	6° 30'	5° 17'	4° 23'	3° 47'	2° 59'	2° 25'
	mx	3,25	2,5	3,25	2,5	2	3,25	2,5	2	1,68	1,28	1,02
	hd	0,87	0,86	0,82	0,8	0,77	0,73	0,69	0,65	0,61	0,56	0,5
	hs	0,7	0,65	0,59	0,54	0,5	0,45	0,4	0,36	0,33	0,28	0,24
75	Z1	4	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	Y	26° 33'	21° 48'	14° 02'	11° 18'	9° 37'	7° 07'	5° 42'	4° 50'	4° 05'	3° 15'	2° 40'
	mx	4	3	4	3	2,45	4	3	2,45	2	1,54	1,24
	hd	0,88	0,87	0,84	0,81	0,79	0,75	0,71	0,68	0,64	0,59	0,54
	hs	0,7	0,67	0,6	0,57	0,52	0,46	0,42	0,38	0,35	0,29	0,26
90	Z1	4	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	Y	28° 17'	23° 26'	15° 05'	12° 14'	10° 37'	7° 40'	6° 11'	5° 21'	4° 36'	3° 36'	2° 57'
	mx	4,8	3,8	4,8	3,8	3	4,8	3,8	3	2,5	1,88	1,5
	hd	0,89	0,88	0,85	0,83	0,81	0,77	0,74	0,71	0,68	0,62	0,58
	hs	0,72	0,69	0,63	0,59	0,55	0,49	0,45	0,41	0,38	0,32	0,28
110	Z1	4	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	Y	28° 17'	23° 35'	15° 03'	14° 38'	12° 37'	7° 39'	7° 26'	6° 23'	5° 31'	4° 23'	3° 38'
	mx	5,89	4,6	5,89	4,6	3,75	5,89	4,6	3,75	3,12	2,38	1,9
	hd	0,89	0,88	0,85	0,84	0,83	0,78	0,77	0,74	0,71	0,66	0,62
	hs	0,71	0,68	0,62	0,61	0,58	0,48	0,46	0,44	0,41	0,36	0,32
130	Z1	4	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	Y	28° 46'	26° 15'	15° 21'	13° 51'	11° 49'	7° 48'	7° 01'	5° 58'	5° 12'	4° 05'	3° 25'
	mx	7	5,4	7	5,4	4,37	7	5,4	4,37	3,68	2,75	2,24
	hd	0,9	0,88	0,86	0,85	0,83	0,79	0,77	0,74	0,71	0,67	0,63
	hs	0,71	0,68	0,62	0,6	0,57	0,49	0,46	0,43	0,39	0,34	0,3
150	Z1	6	4	3	2	2	2	1	1	1	1	1
	Y	32° 09'	24° 35'	17° 27'	12° 53'	11° 19'	9° 50'	8° 32'	5° 43'	4° 57'	3° 55'	3° 14'
	mx	5,5	6,155	5,58	6,155	5	4,193	6,155	5	4,193	3,17	2,55
	hd	0,91	0,9	0,88	0,86	0,84	0,83	0,78	0,76	0,73	0,68	0,64
	hs	0,73	0,71	0,66	0,6	0,57	0,54	0,45	0,42	0,39	0,33	0,29

Hélice con sentido derecha / The helix is right-handed.

Y = Ángulo de la hélice / Helix angle  
mx = Módulo / Module

hd = Rendimiento dinámico / Dynamic efficiency  
hs = Rendimiento estático / Static efficiency

Figura 37: Dentado y rendimiento del reductor. [62]

Este rendimiento tan bajo se debe a que el sistema de reducción es de corona-sinfín. Si hubiese sido un reductor de trenes de engranajes, el rendimiento seguramente hubiese sido mejor, pero el precio también se hubiese visto incrementado en gran medida.

A la vista de los rendimientos mencionados, se acotará la eficiencia global del sistema:

$$\varepsilon = \prod_i \varepsilon_i = \varepsilon_{motor} \cdot \varepsilon_{reductor} \cdot \varepsilon_{caja} = 0,83 \cdot 0,77 \cdot 0,9 = 0,575 = 57,5\%$$

Fórmula 5: Eficiencia global del sistema

### 6.3. PRIMER DISEÑO

Una vez realizado el estudio de mercado y la investigación sobre las empresas de la zona, se procedió a concebir una primera idea.

Se tomó la decisión de escoger el láser como el tipo de mecanizado principal, ya que ofrece una buena relación calidad precio.

Inicialmente, se buscaba una trituradora cuyo uso fuese enfocado a un nivel usuario. Se buscó un diseño compacto y atractivo, de tamaño relativamente pequeño.

Para ello, se emplearon chapas cortadas por láser, cuya geometría facilitase el montaje, además de aligerar la fabricación.

La máquina constaba de dos ejes. Se procuró reducir el tamaño de los filos de las cuchillas. Haciendo este cambio, se generan menos esfuerzos internos y la vida útil de las cuchillas se ve prolongada.

Además, se incluía una tolva completamente diferente a las vistas en el estudio de la técnica, con el objetivo principal de restringir el acceso a la zona de corte.

Hasta este punto no se concibió la idea de diseñar un bastidor. Esto es debido al reducido tamaño que presentaba la trituradora. Sin embargo, esta idea fue desechada cuando se introdujo la elección del motor.

Para obtener una velocidad de giro del eje adecuada, se necesita un reductor de velocidad a la salida del motor. Hay que tener en cuenta que un motor asíncrono tiene un régimen de giro nominal muy elevado. Si se transmitiese dicho giro a las cuchillas directamente, podrían darse problemas de sobrecalentamiento del plástico en la zona de corte.

No solo esto, además, el par resistente a vencer será considerablemente elevado, lo que hace que la potencia del motor, y, por lo tanto, su tamaño, sean relativamente grandes.

En la *Figura 39* se puede observar una comparación entre el tamaño de un motor-reductor de potencia 2,2kW y este primer diseño de trituradora.

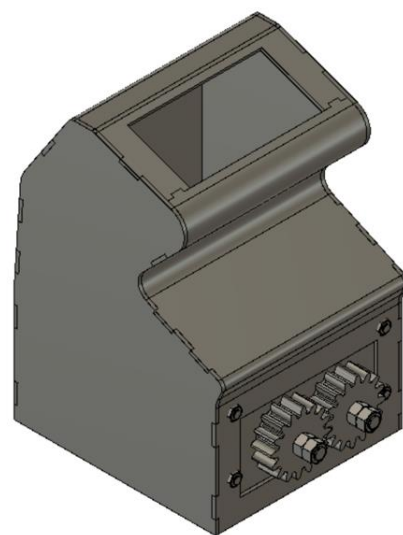


Figura 38: Trituradora previa. Elaboración propia.

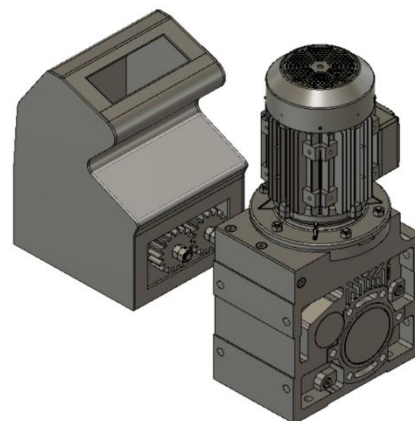


Figura 39: Comparación motor 2,2 kW y trituradora previa.

En definitiva, esta diferencia entre el tamaño del motor y el de la trituradora previa supuso que no se pudiese prescindir de una bancada a la que acoplar el motor y la caja trituradora, por lo tanto, este diseño compacto tuvo que ser descartado. Aun así, sí que se reutilizaron otros conceptos en la concepción final de la máquina.

El ensamblaje del conjunto que funciona como tolva está constituido de dos partes soldadas, una tolva exterior y otra interior, cuyas piezas serán cortadas por láser y posteriormente plegadas. Además, tienen unas guías por todo su perímetro para facilitar la labor del montaje.

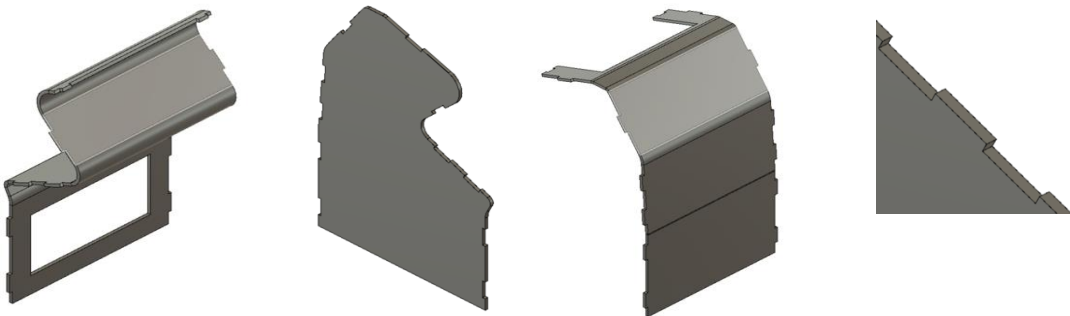


Figura 40: Partes tolva exterior y guías perímetro. Elaboración propia.

En cuanto a la tolva interior, su montaje será similar al de la tolva exterior, dejando una parte sobresaliente. Este saliente se usará para soldarlo con la tolva exterior, asegurando así que la geometría produzca un espacio cerrado, por donde no pueda colarse el plástico entre sus dos partes.

Respecto a las cuchillas, se ha decidido diseñarlas con doble punta. La justificación de este aspecto viene motivada por el supuesto en el que la máquina se atasque. En dicho caso, con invertir la polaridad del motor no solo se desatascaría, sino que seguiría triturando en el otro sentido, sin necesidad de volver a invertir el sentido de giro de nuevo.

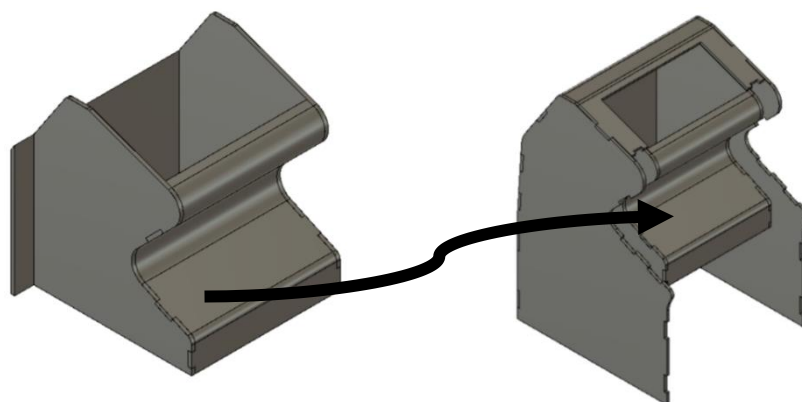


Figura 41: Encaje tolva interior con tolva exterior. Elaboración propia.

Las cuchillas se introducirán en el eje con un desfase de 60° entre una y la siguiente, consiguiendo así una distribución de cargas progresiva. Se puede observar en la siguiente figura por colores como van rotando sobre el eje.

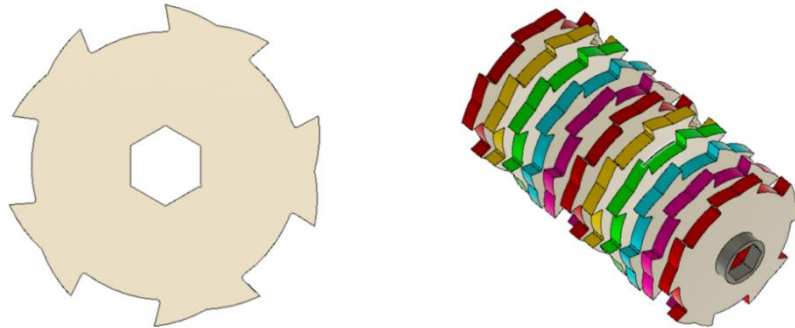


Figura 42: Perfil cuchilla previa y montaje de éstas. Elaboración propia.

Para que el sistema de corte funcione se necesita un sistema de cuchillas fijas, de tal forma que el plástico introducido no puede pasar por este sin asegurar que tengan un tamaño determinado. Estas cuchillas fijas van complementadas con unos separadores que van en el eje entre las cuchillas que rotan y que realizan la misma función.

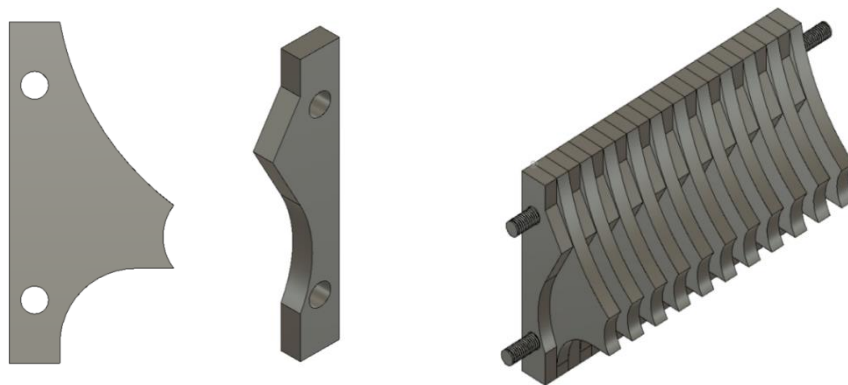


Figura 43: Perfil de los dos tipos de cuchilla fija. Elaboración propia

La caja final montada queda de la siguiente forma:

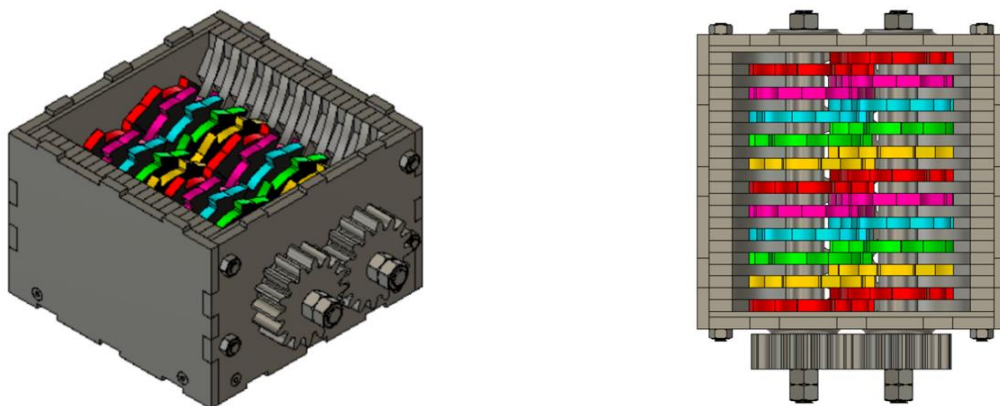


Figura 44: Caja previa en perspectiva y planta. Elaboración propia.

El motor iría unido al eje con uno de los engranajes mediante un sistema de acople y chaveta. La caja exterior, que encierra todo el mecanismo, está diseñada para que ningún residuo escape o interrumpa el funcionamiento de la máquina. Como se puede apreciar, todas las chapas de la caja tienen un sistema de guías como el de la tolva, para facilitar su montaje.

Para finalizar el diseño, se creó una rejilla que actúa de tope entre los trozos de plástico que salen sin tener el tamaño adecuado y los vuelve a introducir al circuito para ser triturados hasta que lo alcancen. Esta pieza va unida a la parte inferior de la caja, mediante un sistema simple de tornillo, arandela y tuerca, que facilitará su retirada en caso de atasco o mantenimiento.



Figura 45: Rejilla previa. Elaboración propia.

La curva de las chapas es concéntrica con el centro del eje, para que se acople lo mejor posible geométricamente y realice su función correctamente.

A la vista de las limitaciones mencionadas en este proyecto inicial, y con las ideas de diseño comentadas, se implementarán varios cambios en ciertos componentes.

El enfoque final será una trituradora más robusta, con un carácter semi-industrial.

## 6.4. SHREDDER PRO DE PRECIOUS PLASTICS

Debido a lo mencionado en el apartado anterior, se ha decidido que lo que más interesante será realizar una trituradora de mayor tamaño, con un bastidor y una zona adecuada para el motor. Una de las empresas ya mencionadas anteriormente, Precious Plastic, lanzó al mercado en enero de 2020 la trituradora 'Shredder Pro' [48]. Al ser una empresa opensource, publicó en su página web toda la documentación necesaria para replicar su máquina. En este TFG se tomará como referencia, añadiendo mejoras en varios aspectos.

En la *Tabla 4* se observan las especificaciones técnicas de esta trituradora.

Especificaciones técnicas	
Tipo	Doble eje
Coste	2200€ + motor
Peso	340 kg
Dimensiones	1205 x 550 x 1512
Anchura de cuchillas	6 mm
Potencia	De 2,2 a 4 kW (Según motor)
Voltaje	400 V
Amperaje	16 A

Tabla 4 Especificaciones técnicas de Shredder Pro [49]

A continuación, se van a definir todos los elementos del diseño definitivo. Para comprobar que los componentes de Precious Plastics están bien dimensionados, se efectuarán varias verificaciones. En caso de encontrar alguna posibilidad de mejora, se plasmarán las mismas a lo largo del proyecto.

## 7. DISEÑO FINAL

### 7.1. MONTAJE EJES Y CUCHILLAS

#### 7.1.1. EJES

A la vista de todas las máquinas analizadas en el estado de la técnica, se ha escogido la geometría hexagonal para la parte central del eje. De esta forma se garantiza un acople suficientemente rígido entre el eje y las cuchillas, sin necesidad de elementos de unión como chavetas. Además, esta geometría permitirá distribuir las cargas soportadas por las cuchillas entre la totalidad de la superficie del del eje.

El eje motriz será más largo para poder acoplar la salida del reductor a éste y así transmitir la potencia del motor. El movimiento axial del eje motriz queda restringido al acoplarlo al motor, como se verá en la sección 7.3. Elección del acople. Por otro lado, la caja impide el movimiento axial del eje conducido, ya que la zona hexagonal hace tope con las paredes internas de la caja.

El grado de libertad ligado al movimiento radial será absorbido por los rodamientos. Más adelante, en la sección 7.4.4, se profundizará sobre estas fuerzas actuantes y se comprobará que los cojinetes cumplirán con las solicitaciones.

Para unir el acople del motor al eje, se utilizará una chaveta. Las dimensiones de esta chaveta dependerán de las especificaciones técnicas del acople, que a su vez dependen del diámetro del eje.

De la misma forma, los engranajes, los cuales transmiten el movimiento del eje motriz al eje conducido, hacen que se necesiten tallar otros dos chaveteros, uno en cada eje.

Recapitulando, la trituradora constará de dos ejes. El eje motriz, con dos chavetas, una para el engranaje y otra para el acople, y otro eje más corto con un chavetero para el engranaje. Para fabricarlo se partirá de un bruto hexagonal y se mecanizará con torno y fresadora para obtener la geometría deseada.



Figura 46: Eje conducido y eje motriz. Elaboración propia.

Cabe destacar que donde termina la zona hexagonal, ambos ejes estarán roscados. De esta forma, se acoplará una tuerca ranurada DIN 1804, que comprime las cuchillas y evita el movimiento axial de las mismas.

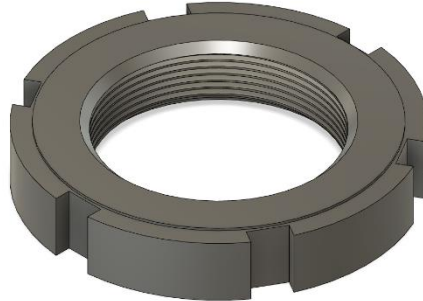


Figura 47: Tuerca DIN 1804. Elaboración propia.

En cuanto a las tolerancias dimensionales, la tolerancia de la parte cilíndrica del eje vendrá definida principalmente por los rodamientos escogidos. La tolerancia de la parte hexagonal se adjudicará a la fabricación de las cuchillas y no del propio eje, ya que es más sencillo y barato a la hora de la fabricación.

También se incluirá una tolerancia geométrica paralela de manera axial al eje, para asegurar su correcto montaje. Las tolerancias estarán acotadas principalmente dentro del rango de las décimas, ya que la función del eje no necesita de mayor precisión.



## 7.1.2. CUCHILLAS

En el diseño de cualquier trituradora de plástico, las cuchillas son unas de las piezas más importantes de toda la trituradora. Esto es debido a que son la parte que va a realizar la función de fracturar el material.

### 7.1.2.1. PERFIL DE LAS CUCHILLAS

Las cuchillas que fueron diseñadas en el estudio previo podrían presentar problemas en la zona que tritura el plástico, ya que no tenían el ángulo necesario para arrastrar el material correctamente. Añadido a esto, se consideró innecesario hacer una cuchilla de doble punta.

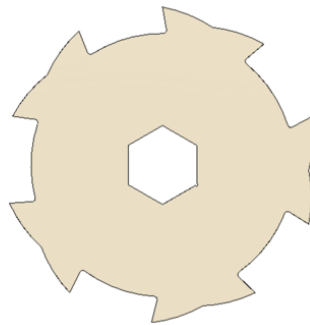


Figura 48: Perfil cuchilla previa. Elaboración propia.

La función de estas eran poder cortar en ambos sentidos, pero en el diseño final solo va a ser necesario que se corte en uno. Gracias al controlador de frecuencia que se va a incluir en el diseño final (7.2.1 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), se puede invertir el sentido de giro de los ejes de manera rápida si se necesitara desatascar la máquina y seguidamente volver a invertir el sentido para continuar con el triturado.

Para solucionar todos los problemas encontrados, se buscaron diferentes tipos de cuchillas trituradoras y se analizaron hasta dar con la solución final adoptada en esta máquina.

La mayoría de las patentes mencionadas en el apartado 4 constaban de cuchillas recambiables, como si se tratase de una herramienta de un torno.

Se descartó esta forma de constituir las cuchillas, ya que el propósito de esta máquina será cizallar HDPE, un material con un límite elástico bastante bajo. Esto se traduce en unas tensiones suficientemente bajas como para no dañar el material de las chuchillas.

Además, si se hubiese implementado el método visto en algunas de las patentes, las dimensiones generales de la máquina y la magnitud del proyecto se hubiesen visto muy afectados, ya que las cuchillas deberían ser mucho más anchas para poder albergar la herramienta de corte, además de

tener que mecanizar cada una de ellas para preparar una zona roscada donde atornillar cada filo.

Finalmente, las cuchillas diseñadas tienen el filo cortante muy pegado a su cuerpo, lo que hace que disminuyan los momentos flectores y por consecuencia, sean más robustas. Para evitar posibles concentraciones de tensión que conllevarían a la fractura del diente, se trató de suavizar al máximo la unión del diente con el cuerpo incluyendo un redondeo. Además, este permitirá al laser poder hacer una trayectoria más limpia que si tuviese una esquina pronunciada.

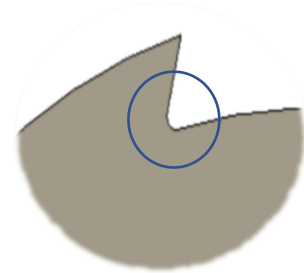


Figura 49: Radio para la herramienta láser. Elaboración propia.

A la hora del diseño fundamental de la trituradora, se ha decidido discernir dos zonas de corte. Una servirá para tronzar el bruto de plástico en fragmentos grandes y la otra granulará dichos trozos grandes. De esta forma, se consigue controlar mejor el tamaño de la granza de plástico resultante. Como ya se comentó en el apartado 2.4, según la aplicación final del plástico, interesará que este tamaño sea uno u otro.

La diferencia entre las zonas de corte recae en el espesor de las cuchillas de cada zona. El perfil de éstas será idéntico en ambas partes.

De este modo, tras barajar distintas opciones de espesor, y teniendo en cuenta el estado de la técnica y otros factores como interferencias, vibraciones, fabricación por láser, etc., se ha decidido que los espesores sean 6mm para la zona de corte grueso y 4 mm para la zona de granulado.

Tal y como se puede observar en la *Figura 50*, las cuchillas de un eje son diferentes a las del otro. Las cuchillas del eje motriz tendrán 13 filos, mientras que las del eje conducido tendrán 6 puntas.

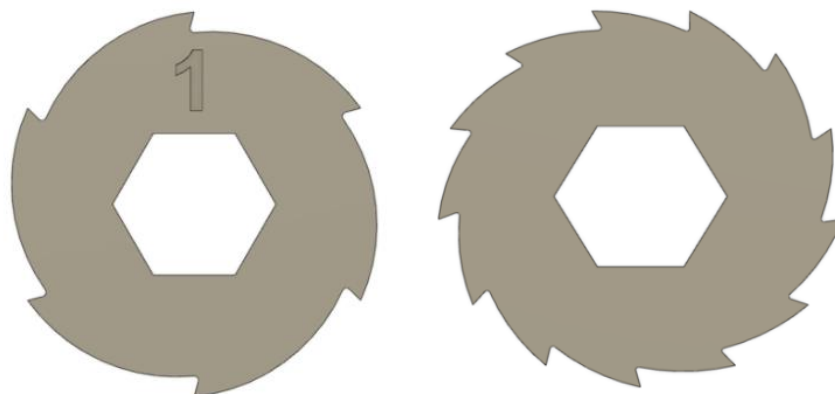


Figura 50: Perfil cuchillas con muescas. Elaboración propia.

Para justificar esta elección, habrá que basarse en las fuerzas actuantes en el sistema. Si ambos ejes tuvieran cuchillas con muchos dientes, existirían más zonas de corte simultaneas, haciendo más exigentes los requerimientos del motor. De esta forma, se conseguiría el tamaño de granza deseado más rápidamente.

La desventaja que presentan las cuchillas con muchos filos es que, al tener menor superficie de corte, no se conseguirá un agarre del plástico tan bueno como con las de menor número de filos.

Otra característica a tener en cuenta es la velocidad de giro de cada eje. Para ello, hay que adelantarse a la sección 7.2, donde se puede ver que la rueda dentada motriz tiene 18 dientes frente a los 20 dientes que tiene la conducida. Esto se traduce que la velocidad de giro del eje motriz es algo superior a la del eje conducido.

A la vista de los aspectos recién mencionados, se decidirá instalar un eje con cuchillas de 13 filos y el otro eje con cuchillas de 6 filos. De esta forma, se conseguirá una distribución de cargas más equilibrada a lo largo de los ejes.

Además, en la disposición final de Spiker, las cuchillas con mayor número de dientes girarán algo más rápido que sus opuestas.

Como se observa en la *Tabla 5*, Spiker tendrá un total de 53 cuchillas.

	<b>Eje Motriz</b>	<b>Eje Conducido</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Zona Gruesa</b>	14	13	27
<b>Zona Fina</b>	13	13	26
<b>TOTAL</b>	27	26	53

Tabla 5: N° de cuchillas móviles de Spiker.

### 7.1.2.2. HOLGURA ENTRE CUCHILLAS

Como se mencionó en el apartado anterior (7.1.2.1), se ha considerado más factible imponer la tolerancia en las cuchillas y no en el eje. La tolerancia final entre caras del hexágono será de una décima de milímetro.

Uno de los factores más complejos de definir ha sido la holgura que debe existir entre cuchillas consecutivas. El espacio debe ser suficiente como para que no haya interferencias entre cuchillas opuestas, pero, por otra parte, esa holgura no debe ser muy grande, ya que, de lo contrario, se colaría el material por esas zonas sin conseguir nunca el tamaño de granza deseado.

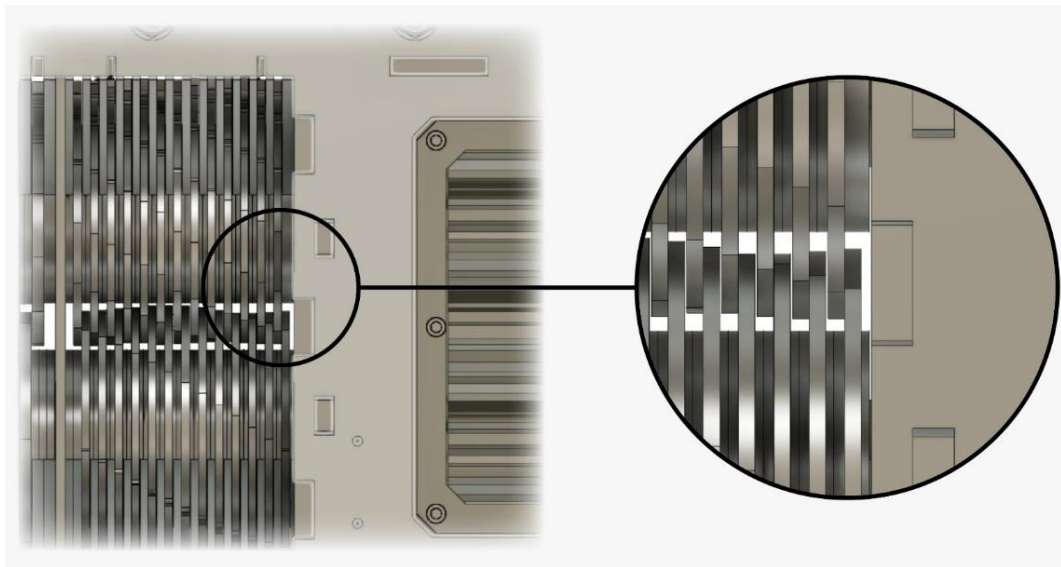


Figura 51: Holgura entre las cuchillas móviles. Elaboración propia

En el diseño, dicha holgura se ha fijado en 0,5mm. Posteriormente, a la hora de ensayar la máquina, si se detecta que dicha holgura es muy baja, se podrán añadir separadores entre cuchillas para conseguir una mayor holgura entre cuchillas consecutivas. En la sección 7.1.4, se explicará más detalladamente el objetivo e instalación de los separadores.

### 7.1.3. COLOCACIÓN DE CUCHILLAS SOBRE EJE

A la hora del montaje en el eje, las cuchillas estarán dispuestas de tal forma que se creará un perfil de corte helicoidal. De esta forma, se conseguirá que arrastren el plástico de forma progresiva en el eje longitudinal.

Para facilitar esta tarea, en un principio, se pensó incluir en las cuchillas del eje corto un patrón de muescas para saber qué cuchilla meter cada vez y en qué sentido. Las muescas irían en incremento en sentido antihorario y de derecha a izquierda.

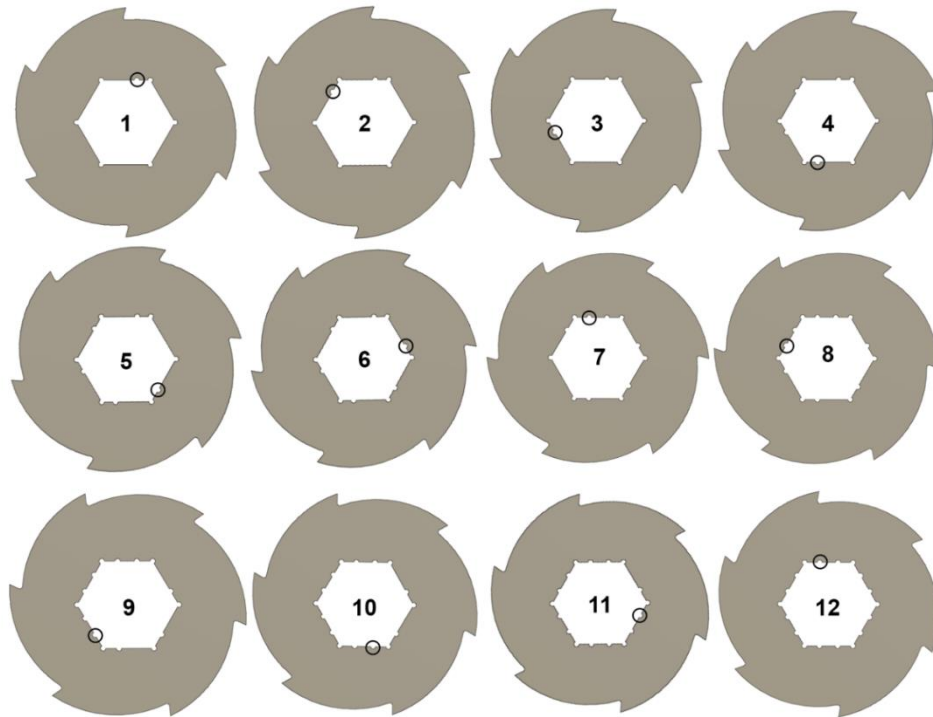


Figura 52: Muecas guía de cuchillas del eje corto. Elaboración propia.

Sin embargo, aunque esta idea es factible en cuanto al diseño, a la hora de fabricar las muescas interiores por laser, se encontraron problemas de precisión por su pequeño tamaño en comparación con la precisión que nos aporta este tipo de mecanizado.

Debido a esto, se decidió cambiar el patrón de muescas por un grabado superficial sencillo de números, de manera que al montar las cuchillas sobre el eje, los números van en orden (del 1 al 12) y repitiéndose la cuchilla 1, ya que hay que incluir 13 cuchillas de este tipo en el eje. Las características del grabado quedarán especificadas debidamente en los planos.

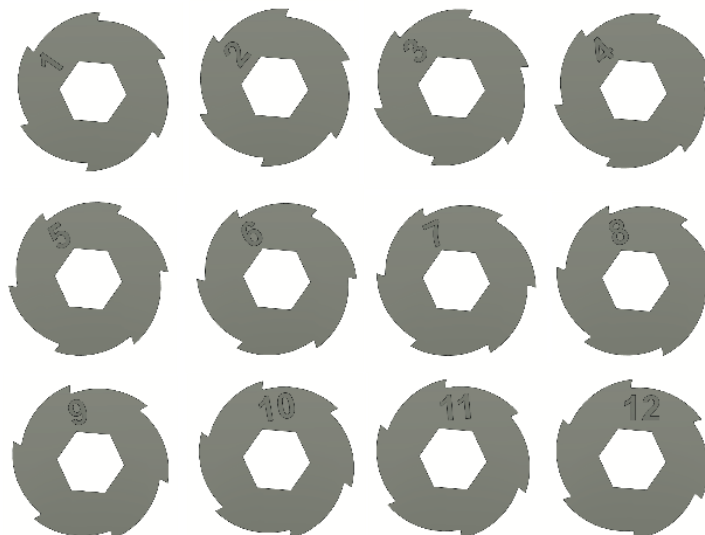


Figura 53: Patrón numerado de cuchillas del eje corto. Elaboración propia.

Por consistencia, este patrón ha de mantenerse tanto en la zona de corte grueso, con cuchillas de 6 mm como para la zona de granulado, con cuchillas de 4 mm de espesor.

Siguiendo este patrón de colocación, el conjunto de cuchillas forma una línea de acción helicoidal, como se puede observar en las siguientes figuras.



Figura 54: Ejes con las cuchillas montadas. Elaboración propia

Las cuchillas del eje largo son todas idénticas. Simplemente habrá que prestar atención a la hora de introducirlas en el eje, ya que cada una se introducirán en el eje con desfase de  $60^\circ$  (una cara del hexágono) respecto de la cuchilla anterior.

#### 7.1.4. SEPARADORES

Entre las cuchillas se colocarán separadores de 91mm de diámetro exterior. Este diámetro se obtiene utilizando la distancia entre ejes, la holgura y el radio de las cuchillas.

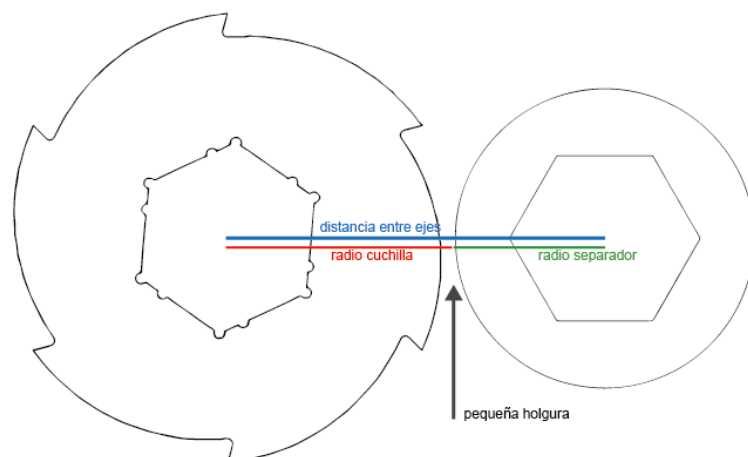


Figura 55: Esquema distancia entre ejes. Elaboración propia.

La distancia entre ejes, que viene definida por la *Fórmula 6*:

$$\text{distancia entre ejes} = \text{radio máximo cuchilla} + \text{radio separador} + \text{holgura}$$

Fórmula 6: Distancia entre ejes

Despejando el radio del separador, la expresión resultante es:

$$\text{radio separador} = \text{distancia entre ejes} - \text{radio máximo cuchilla} - \text{holgura}$$

Fórmula 7: Radio de los separadores

Dónde:

$$\text{Distancia entre ejes} = 114\text{mm}$$

$$\text{Radio máximo cuchilla} = 68\text{mm}$$

$$\text{Holgura} = 0.5 \text{ mm}$$

$$\text{radio separador} = 114 - 68 - 0.5 = 45.5\text{mm}$$

La holgura de 0.5mm asegurará que no haya interferencias entre la chuchilla y el separador.

En la zona interior, al igual que en las cuchillas, se incluirá una tolerancia de una décima de milímetro, para así evitar posibles holguras y vibraciones.

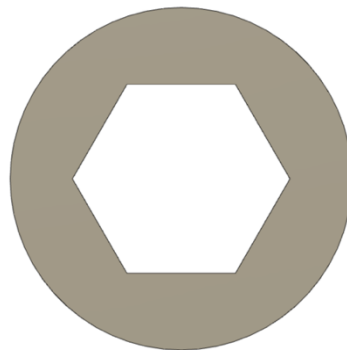


Figura 56: Perfil separadores. Elaboración propia.

El perfil de todos los tipos de separadores es el mismo, la diferencia se encontrará en los espesores. Éstos se elegirán según los espesores de chapas normalizadas. Al diseñarlos de esta forma, el fabricante tendrá mayor facilidad en proporcionar las chapas necesarias y el coste de producción de los separadores se verá aminorado.

Como se puede observar en la *Figura 57*, el diseño final incluirá cinco espesores diferentes, que serán 6mm, 4mm, 2.5mm, 2mm y 1mm. Su colocación se ve especificada en planos y manual de montaje.

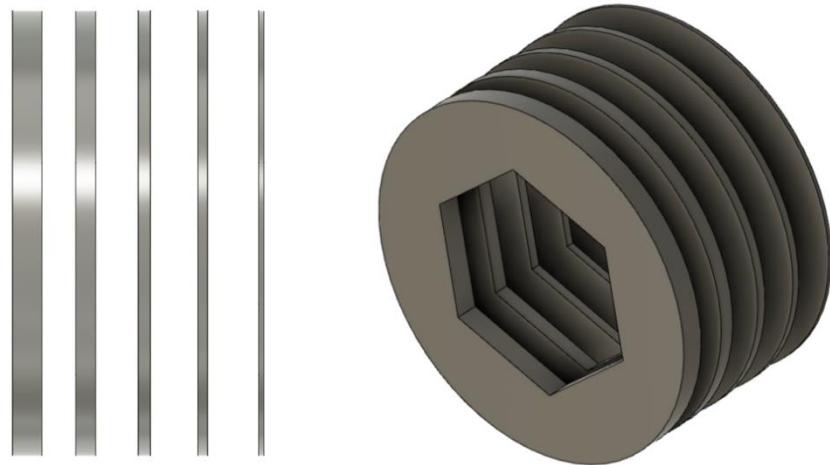


Figura 57: Espesores de separadores. Elaboración propia

#### 7.1.5. MONTAJE DEL EJE COMO CONJUNTO

Ambos ejes se montan siguiendo una sucesión de cuchillas y separadores similares. Se introducirán los separadores entre cuchillas y una vez llenado el eje se colocarán las tuercas DIN 1804 en los extremos para comprimir las cuchillas y así evitar posibles deslizamientos de estas.

Por último, se introducirá el engranaje que quedará fijo radialmente por la chaveta y axialmente por la geometría de la propia caja. El proceso de montaje viene definido más detalladamente en el documento 'Anejos: Planos'.

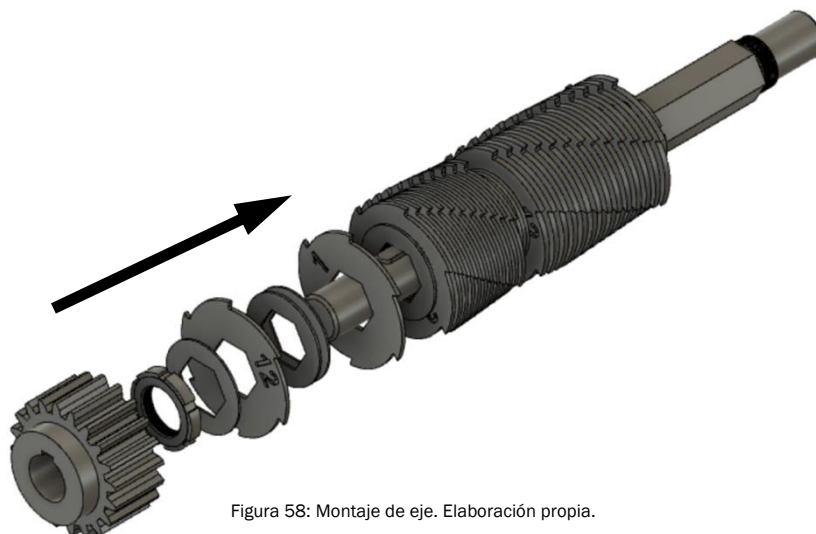


Figura 58: Montaje de eje. Elaboración propia.



### 7.1.6. CUCHILLAS FIJAS

El perfil de las cuchillas fijas está pensado para cerrar el espacio de corte. Se han incluido unos sets de cuchillas fijas, de la misma forma que en el diseño previo. Estas van encajadas con la caja por la zona superior, que tiene forma de gancho.

De la misma forma que los separadores, debido a que en el diseño final hay dos zonas de corte, se necesitan diferentes espesores. Además de esto, se han diseñado diferentes profundidades de gancho (*Figura 59*) para asegurarse de que a la hora del montaje siempre queden las cuchillas fijas en contacto con las paredes de la caja, y en ningún caso queden las propias cuchillas que cortan.

Las placas de cuchillas fijas 1 (01-01-03) y 2 (01-01-04), llevarán las muescas complementarias a estos ganchos, tanto en espesor como en profundidad, para que sea intuitivo donde van colocadas.

El resultado final son 7 cuchillas fijas diferentes, cuyos montajes vendrán especificado en anejos planos. Sus diferentes espesores variarán entre 6mm, 4mm, 2,5mm, 2mm y 1mm.

En cuanto a su perfil, este está pensado para realizar diferentes funciones. Una de ellas será guiar el material por su zona inclinada hacia el centro de la zona de corte, donde será agarrado y triturado por las cuchillas.

Otra función será asistir al corte de las cuchillas principales (7.1.2.), gracias a su geometría. El plástico que no haya alcanzado el tamaño adecuado para atravesar las rejillas (7.6.), volverá a ser arrastrado por las cuchillas móviles y será conducido hacia la parte inferior de estas cuchillas fijas, donde seguirá fracturándose. De esta forma quedará en la zona de corte hasta ser triturado a un tamaño óptimo.

A continuación, la *Figura 59* muestra sus dos perfiles diferentes y la *Figura 60* muestra su formación en el montaje.



Figura 59: Perfiles cuchillas fijas. Elaboración propia.

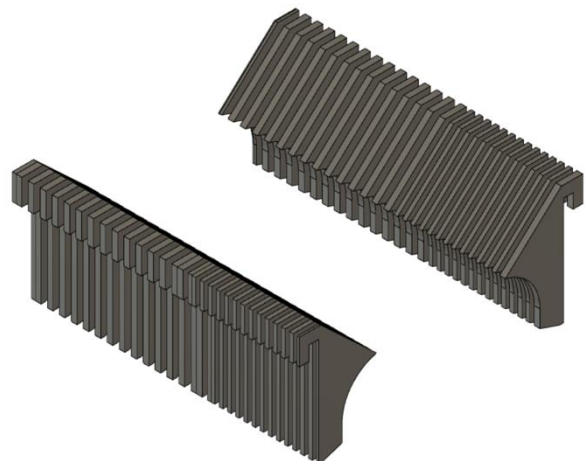


Figura 60: Posición de cuchillas fijas. Elaboración propia.

## 7.2. ELECCIÓN DEL MOTOR-REDUCTOR

Teniendo en cuenta el estado de la técnica, se buscará entregar un par motor al eje de la trituradora de al menos 500 N·m. Para ello, se optará por implementar un motor asíncrono de 4 polos (1500rpm), con una potencia de 2.2kW.

Además, se instalará un reductor de corona-sinfín con relación de transformación 1:40, quedando una velocidad de salida del reductor cercana a las 36 vueltas por minuto (*Fórmula 9*).

Teniendo en cuenta las hipótesis mencionadas en la sección 6.2., se realizará un estudio para determinar qué tipo de materiales se podrán triturar.

Para ello, se supondrá que el motor trabaja a régimen, es decir, girando a sus revoluciones nominales y entregando así su par nominal

En primer lugar, habrá que consultar los valores nominales suministrados por el fabricante. En la *Figura 61* se muestra la placa de características del motor empleado: [39]



MOT. 3Ph		MODELO		TB 100L1-4		EFF %	
V	Hz	A	kW	rpm	cosφ	100%	75% 50%
380/400/415ΔY	50	8.4/4.8	2.2	1420	0.81	82.5	83 50
200/220/230ΔY	60	8.2/4.7	2.55	1704	0.81	88.0	
IP 55		Th.Cl. F 100°C	F 80.60%	Peso kg:	10.5		
Rod LA: 6206		Rod LCA: 6206		Nº	0118M5921370		

Figura 61: Placa de características del motor. Elaboración propia.

Para obtener el par nominal, se dividirá la potencia nominal del motor, 2200W, entre la velocidad de giro del eje de la trituradora.

$$T_{nom} = \frac{H_{nom}}{\omega_{eje}}$$

Fórmula 8: Par nominal del motor (General)

Como el motor está acoplado en serie con una reductora de relación de transformación 1:40, la velocidad del eje de salida será la velocidad nominal del motor multiplicada por la relación de transmisión en la reductora, tal y como se observa en la *Fórmula 9*.

$$\omega_{eje} = \omega_n \cdot i_{reductor} = 1420 \frac{rev}{min} \cdot \frac{1}{40} = 35,5 \frac{rev}{min} \cdot \frac{2\pi rad}{1rev} \cdot \frac{1min}{60s} = 3,72 rad/s$$

Fórmula 9: Velocidad de giro del eje de salida del reductor

Una vez calculado el régimen de giro en el eje, el par nominal del motor queda como se muestra en la *Fórmula 10*.

$$T_{nom} = \frac{2200 W}{3,72 rad/s} = 591,8 N \cdot m$$

Fórmula 10: Par nominal implementado

Obviamente, tal y como se mencionó en la sección 6.2., el par nominal no será en su totalidad par útil, ya que la eficiencia (*Fórmula 5*) del sistema no es del 100%. Así, el par útil se calculará como se indica en la *Fórmula 11*.

$$T_{\acute{u}til} = T_{nom} \cdot Eficiencia = 591,8 Nm \cdot 0,575 = 340,39 N \cdot m$$

Fórmula 11: Par útil del sistema

El par útil deberá ser igual o mayor que el par resistente para que la máquina funcione correctamente.

Una vez conocido el valor del par útil, se puede determinar la fuerza de corte máxima que se podrá vencer (*Fórmula 12*). Para ello, se necesitará conocer el punto de aplicación de la fuerza. Esta estará ubicada en el extremo del radio de las cuchillas, a 68mm del centro.

$$F_{Corte,nom} = \frac{T_{\acute{u}til}}{r_{cuchillas}} = \frac{340,39 N \cdot m}{0,068 m} = 5005,74 N$$

Fórmula 12: Fuerza de corte real

Determinada la fuerza de corte, se comprobará cual será el material más resistente que se pueda cizallar bajo las hipótesis adoptadas.

Para ello, hay que conocer la superficie de corte presente en las cuchillas. Esta superficie será equivalente a la superficie de material a cizallar en cada ciclo.

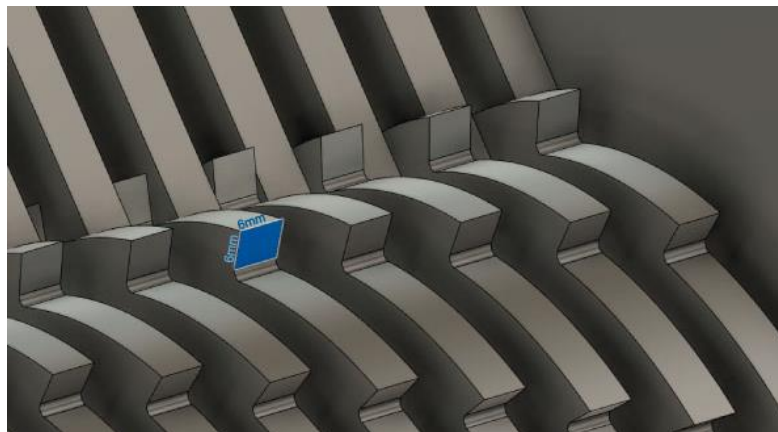


Figura 62: Superficie de corte de una cuchilla. Elaboración propia

De la Fórmula 2 se puede deducir la tensión última del material que es posible cizallar con una fuerza de corte determinada.

$$\sigma_{\text{última,nom}} = \frac{F_{\text{Corte,nom}}}{A_{\text{cuchilla}}} \cdot 2 = \frac{5005,74 \text{ N}}{6\text{mm} \cdot 6\text{mm}} \cdot 2 = 278,1 \text{ MPa}$$

Fórmula 13: Limite elástico cizallable a régimen nominal

A la vista de los resultados obtenidos, el sistema será capaz de cortar un material cuya tensión última a tracción ronde los 280MPa.

La aplicación de diseño de Spiker será cortar HDPE. Este material servirá como referencia, siendo su tensión última a tracción cercana a 50MPa.

Dado que para funcionar a par nominal deberá estar cortando materiales de límite elástico del orden de 280 MPa, el HDPE se queda muy por debajo del par nominal.

A primera vista, esto puede parecer bueno, ya que la trituradora podrá romper el HDPE con facilidad. Sin embargo, según la *Figura 63*, el funcionamiento ideal del motor ( $P_n$ ) tiene lugar próximo a la velocidad nominal (curva verde). De esta forma, su eficiencia se verá maximizada, demandando menos energía, con un mejor rendimiento y por ello, prolongando la vida útil del motor.

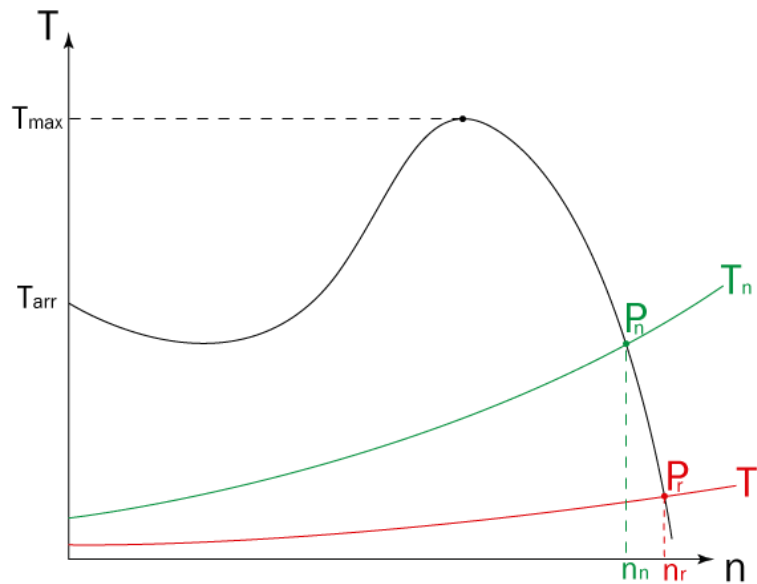


Figura 63: Diagrama par-velocidad motor asíncrono. Elaboración propia

Puesto que el HDPE ofrece un par resistente (curva roja) menor al nominal, el punto de funcionamiento ( $P_r$ ) se verá desplazado hacia la derecha en la curva, obteniendo así una velocidad de giro ( $n_r$ ). superior a la nominal ( $n_n$ ).

Si se quisiera triturar un material cuya tensión última a tracción supere los 280 MPa, sería el caso opuesto al recién mencionado, desplazando el punto de funcionamiento hacia la izquierda. La velocidad de giro se vería disminuida.

Para saber cuál es el par máximo que puede entregar el motor, habrá que basarse en los valores de la curva par-velocidad suministrada por el proveedor. En este caso, no ofrece una curva característica como tal, sino unos valores tabulados. [39]. Se puede observar que el par máximo respecto al par nominal es 2,3 veces superior.

$$T_{m\acute{a}x} = T_{nom} \cdot 2,3 = 591,8Nm \cdot 2,3 = 1361,1 N \cdot m$$

Con este nuevo valor podemos deducir el par útil máximo:

$$T_{\acute{u}til,m\acute{a}x} = T_{m\acute{a}x} \cdot Eficiencia = 1361,1 \cdot 0,575 = 782,9 N \cdot m$$

Ahora ya se puede determinar el valor de la fuerza de corte máxima:

$$F_{Corte,m\acute{a}x} = \frac{T_{\acute{u}til,m\acute{a}x}}{r_{cuchillas}} = \frac{782,9 N \cdot m}{0,068 m} = 11.513,2 N$$

La tensión última del material que es posible cizallar con la fuerza de corte máxima será:

$$\sigma_{\acute{u}ltima,nom} = \frac{F_{Corte,m\acute{a}x}}{A_{cuchilla}} \cdot 2 = \frac{11.513,2 N}{6mm \cdot 6mm} \cdot 2 = 639,62 MPa$$

Spiker será capaz de fracturar materiales con una tensión última cercana a los 640MPa.

Como se mencionó previamente, no es una buena práctica alejar mucho el punto de funcionamiento del motor de su velocidad nominal. Por este motivo, se impondrá que el motor trabaje siempre lo más próximo a su régimen nominal. Para ello, se instalará un controlador de frecuencia.

### 7.2.1. ADICIÓN DE UN CONTROLADOR DE FRECUENCIA:

El sistema de potencia explicado en la sección anterior es poco flexible, ya que solamente podría funcionar en puntos de la curva característica del motor (Figura 63). Esto significa que la velocidad de giro del motor, y por consiguiente, su eficiencia, podrá verse comprometida según el tipo de carga introducida a la trituradora.

Para evitarlo, se instalará un variador de frecuencia que gobierne el funcionamiento del motor. [50]. Esta inversión proporcionará ciertas ventajas respecto al sistema anterior.

En primer lugar, el propio variador servirá de protección del motor, sustituyendo así la instalación de posibles interruptores magnetotérmicos entre otros. [51]. Notar que pese a que el motor no necesite de protección, el propio variador sí que necesitará de elementos de protección aguas arriba.

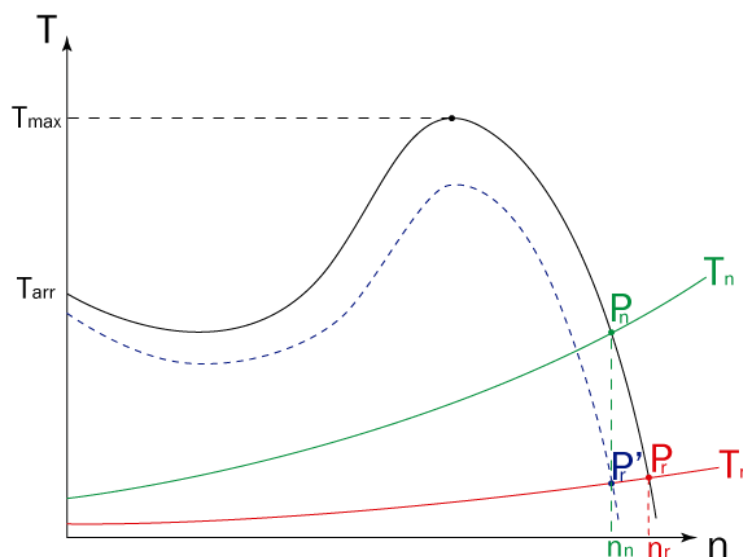
En la colección de anejos se podrá encontrar la protección empleada para los dispositivos eléctricos de potencia.

También, se encargará de hacer un arranque progresivo del motor, evitando los grandes picos de corriente que demandan estos dispositivos en su puesta en marcha.

En relación con la sección anterior, se impondrá una velocidad de giro como referencia. Obviamente, se procurará que esta sea lo más cercana a la velocidad nominal del motor, 1420rpm.

La misión principal del controlador de frecuencia será mantener siempre el régimen de giro lo más cercano a dicha velocidad de referencia, independientemente del par resistente que exista en el sistema

Si la carga es más baja, en vez de aumentar la velocidad del motor, como sucedía en la sección anterior, el controlador actuará sobre la frecuencia y voltaje de alimentación del motor, consiguiendo modificar la curva par-velocidad.



Para modificar la curva par-velocidad del motor, se actúa sobre el flujo magnético en el estator, que a su vez induce unas corrientes en el mismo, cambiando así la velocidad síncrona. El variador mantiene constante la relación tensión-frecuencia. [52]

$$\phi = \frac{V}{4,44 \cdot f \cdot N_s \cdot K_1}$$

Existe gran cantidad de bibliografía acerca del funcionamiento de estos dispositivos, sin embargo, se escapan del alcance de este documento.

Sin embargo, en caso de notar que la velocidad nominal no es la más adecuada para cizallar ciertos materiales, se podrá cambiar la consigna de velocidad de giro a través de un potenciómetro.

La decisión de haber añadido un variador de frecuencia no puede sustituir el reductor mecánico instalado en este proyecto.

A la vista de las curvas par-velocidad, no sería bueno desplazar el punto de funcionamiento del motor muy a la izquierda del diagrama (40rpm), ya que, en esa zona, el comportamiento del motor es inestable, siendo su eficiencia muy baja y la intensidad demandada muy elevada. Esto puede producir un sobrecalentamiento de los devanados por pérdidas de efecto Joule que terminarían quemando el motor.

A continuación, se muestra un esquema con las conexiones mínimas para la puesta en marcha del motor.

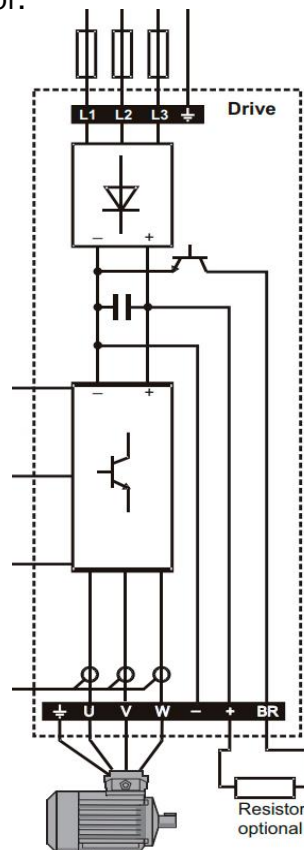


Figura 65: Conexión de la potencia en el variador. [100]

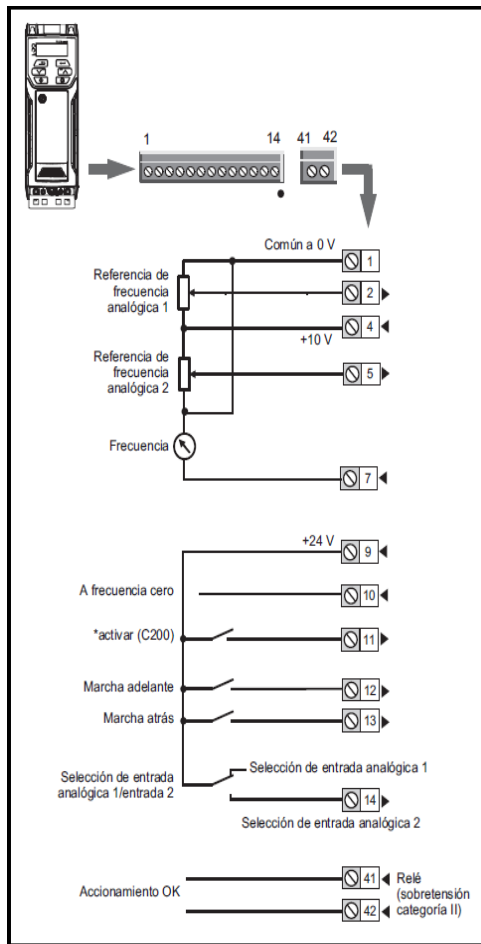


Figura 67: Funciones por defecto de los terminales. [100]

Una vez conocidas las funciones del bornero del variador, se propondrá un esquema de maniobra para controlar el funcionamiento del variador.

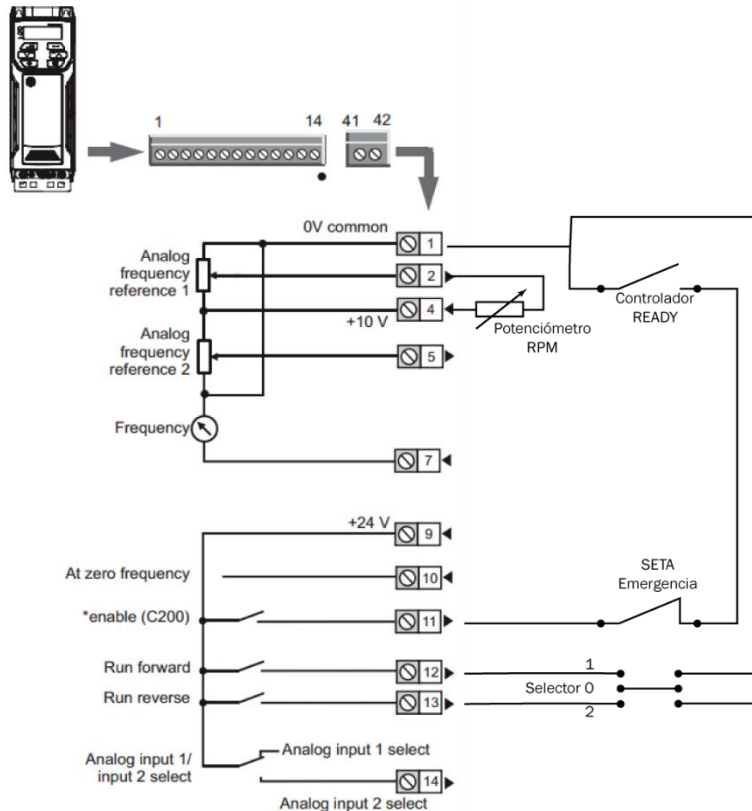


Figura 66: Esquema unifilar para Spiker. Elaboración propia



La instalación de este esquema de maniobra, junto al resto de la distribución eléctrica, protecciones, etc, quedará dispuesta en la máquina como muestra la Figura 68

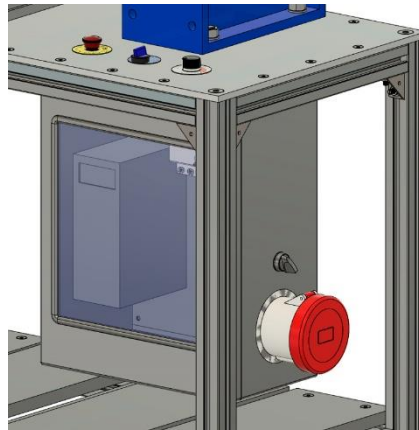


Figura 68: Disposición del cuadro de distribución eléctrica en Spiker.  
Elaboración propia

Como se puede apreciar, el pulsador de emergencia queda en un lugar accesible, tal y como obliga la normativa. Además, en la superficie de la mesa se podrá acceder a la selección del sentido de giro y a la regulación de la velocidad, tal y como se muestra en la Figura 69

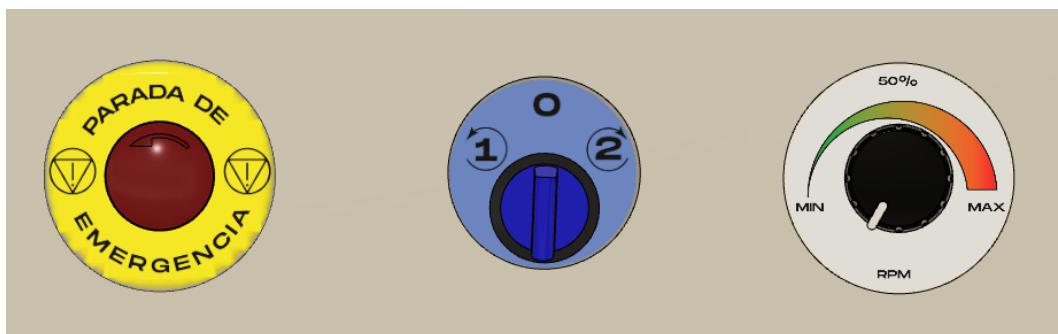


Figura 69: Cuadro de mandos de Spiker. Elaboración propia

Para mayor comodidad, se ha decidido que la conexión con la red se haga mediante un alargador con enchufe macho en ambos extremos (Figura 70). De esta forma, en Spiker se instalará una clavija hembra, evitando así instalar una manguera de cable permanente.



Figura 70: Alargador para enchufar Spiker. Elaboración propia

En la parte superior del enchufe, estará el interruptor de encendido y apagado del variador de frecuencia. De esta forma, al tener que accionar mínimo dos interruptores para hacer girar las cuchillas, se consigue aumentar la seguridad de la máquina y evitar accidentes.

### 7.3. ELECCIÓN DEL ACOPLE

Tras un análisis de proveedores, se ha elegido la marca Fenner por la variedad de acoples y porque el suministrador escogido en este proyecto para elementos normalizados y comerciales trabajaba con ellos.

Siguiendo su catálogo [53], se ha elegido los acoples del tipo HRC ya que están pensados para máquinas de uso general y permiten un montaje fácil y rápido.

Todos los acoples de este tipo se componen de tres partes. Dos de ellas irán acopladas a los ejes y su material será metálico Figura 71. La tercera parte, que hace de punto de unión entre ambas, será de un material elástico Figura 72.



Figura 71. Parte metálica acople. Elaboración propia.



Figura 72. Parte elástica acople. Elaboración propia.

Para elegir el acople adecuado primero hay que calcular el factor de servicio. La trituradora, es maquinaria, funciona a través de un motor eléctrico y al irse a utilizar de forma no continua, se ha estimado que el tiempo diario de uso no excederá las 8h. Según la Figura 73, el factor de servicio será de 1,60.

#### SERVICE FACTORS

Special Cases For applications where substantial shock, vibration and torque fluctuation occur, and for reciprocating machines e.g. internal combustion engines, piston type pumps and compressors, refer to your local Authorised Distributor, with full machine details for torsional analysis.	Type of Driving Unit					
	Electric motors Steam turbines			Internal combustion engines Steam engines Water turbines		
	Hours per Day Duty					
Driven Machine Class	8 and under	over 8 to 16 inclusive	over 16	8 and under	over 8 to 16 inclusive	over 16
<b>UNIFORM</b> Agitators, Brewing machinery, Centrifugal blowers, Centrifugal compressors†, Conveyors, Centrifugal fans and pumps, Generators, Sewage disposal equipment.	1.00	1.12	1.25	1.25	1.40	1.60
<b>MODERATE SHOCK*</b> Clay working machinery, Crane hoists, Laundry machinery, Wood working machinery, Machine tools, Rotary mills, Paper mill machinery, Textile machinery, Non-uniformly loaded centrifugal pumps.	1.60	1.80	2.00	2.00	2.24	2.50
<b>HEAVY SHOCK*</b> Reciprocating conveyors, Crushers, Shakers, Metal mills, Rubber machinery (Banbury mixers and mills), Reciprocating compressors, Welding sets.	2.50	2.80	3.12	3.12	3.55	4.00

Figura 73. Factores de servicio del acople. [53].

En el cálculo del “Design Power”, intervienen el factor de servicio previamente calculado y los kW del motor a utilizar. Esto nos da un resultado de 3,52kW.

$$Design\ Power = Service\ Factor \cdot Potencia_{Motor} = 1,6 \cdot 2,2 = 3,52\ kW$$

A la hora de elegir el tamaño del acople se usa la tabla de “Power Ratings”. Dado que la velocidad de giro en la trituradora es menor a las mostradas en la *Figura 74*, se entrará a la tabla con el par nominal del motor. Como se demostró en el apartado 7.2, el par nominal será de 518 N·m.

#### POWER RATINGS (KW)

Speed rev/min	Coupling Size							
	70	90	110	130	150	180	230	280
100	0.33	0.84	1.68	3.30	6.28	9.95	20.90	33.00
200	0.66	1.68	3.35	6.60	12.60	19.90	41.90	65.00
400	1.32	3.35	6.70	13.20	25.10	39.80	83.80	132.00
600	1.98	5.03	10.10	19.80	37.70	59.70	126.00	198.00
<b>720</b>	<b>2.37</b>	<b>6.03</b>	<b>12.10</b>	<b>23.80</b>	<b>45.20</b>	<b>71.60</b>	<b>151.00</b>	<b>238.00</b>
800	2.64	6.70	13.40	26.40	50.30	79.60	168.00	264.00
<b>960</b>	<b>3.17</b>	<b>8.04</b>	<b>16.10</b>	<b>31.70</b>	<b>60.30</b>	<b>95.50</b>	<b>201.00</b>	<b>317.00</b>
1200	3.96	10.10	20.10	39.60	75.40	119.00	251.00	396.00
<b>1400</b>	<b>4.75</b>	<b>12.10</b>	<b>24.10</b>	<b>47.50</b>	<b>90.50</b>	<b>143.00</b>	<b>302.00</b>	<b>475.00</b>
1600	5.28	13.40	26.80	52.80	101.00	159.00	335.00	528.00
1800	5.94	15.10	30.20	59.40	113.00	179.00	377.00	594.00
2000	6.60	16.80	33.50	66.00	126.00	199.00	419.00	660.00
2200	7.26	18.40	36.90	72.60	138.00	219.00	461.00	726.00
2400	7.92	20.10	40.20	79.20	151.00	239.00	503.00	
2600	8.58	21.80	43.60	85.80	163.00	259.00	545.00	
<b>2880</b>	<b>9.50</b>	<b>24.10</b>	<b>48.30</b>	<b>95.00</b>	<b>181.00</b>	<b>286.00</b>		
3000	9.90	25.10	50.30	99.00	188.00	298.00		
3600	11.90	30.10	60.30	118.00	226.00			
<b>Nominal Torque (Nm)</b>	<b>31.5</b>	<b>80</b>	<b>160</b>	<b>315</b>	<b>600</b>	<b>950</b>	<b>2000</b>	<b>3150</b>
<b>Max Torque (Nm)</b>	<b>72</b>	<b>180</b>	<b>360</b>	<b>720</b>	<b>1500</b>	<b>2350</b>	<b>5000</b>	<b>7200</b>

Fire Resistant/Anti-Static (FRAS) inserts available ex-stock.  
 For speeds below 100 rev/min, and intermediate speeds, use nominal torque ratings.  
 \* Maximum coupling speeds are calculated using an allowable peripheral speed for the hub material. For selection of smaller sizes with speeds in excess of 3600 rev/min – Consult your local Authorised Distributor.

$$315 < 518.2 < 600$$

Figura 74: Power ratings del acople. [53]

El primer valor en superar el par nominal del motor se da en el acople de tamaño 150.

Como se muestra en la *Figura 74*, dicho acople puede transmitir un par máximo de 1500 Nm.

#### PHYSICAL DIMENSIONS AND CHARACTERISTICS

Size	Common Dimensions					Type F & H					Type B					
	A	B	E	F <sub>‡</sub>	G	Bush size	Max Bore		C	D	J†	Bore Dia's		Screw Over Key	C	D
							mm	ins.				Max.	Pilot H9			
<b>70</b>	69	60	31	25.0	18.0	1008	25	1*	20.0	23.5	29	32	8	M 6	20	23.5
<b>90</b>	85	70	32	30.5	22.5	1108	28	1 1/8	19.5	23.5	29	42	10	M 6	26	30.0
<b>110</b>	112	100	45	45.0	29.0	1610	42	1 5/8	18.5	26.5	38	55	10	M10	37	45.0
<b>130</b>	130	105	50	53.0	36.0	1610	42	1 5/8	18.0	26.5	38	60	15	M10	39	47.5
<b>150</b>	150	115	62	60.0	40.0	2012	50	2	23.5	33.5	42	70	20	M10	46	56.0
<b>180</b>	180	125	77	73.0	49.0	2517	60	2 1/2	34.5	46.5	48	80	25	M10	58	70.0
<b>230</b>	225	155	99	85.5	59.5	3020	75	3	39.5	52.5	55	100	25	M12	77	90.0
<b>280</b>	275	206	119	105.5	74.5	3525	100	4	51.0	66.5	67	115	30	M16	90	105.5

† 'J' is the wrench clearance required for tightening/loosening the bush on the shaft. A shortened wrench will allow this dimension to be reduced.

‡ F<sub>‡</sub> refers to combinations of flanges: FF, FH, HH, FB, HB, BB.

Bore limits H7 unless otherwise specified.

Figura 75. Dimensiones físicas y características del acople a utilizar. [53]

Los ejes por acoplar son de 45 milímetros de diámetro y el máximo admisible para este tipo de acople es igual a 50 mm (“Max Bore” en la *Figura 75*). Esto significa que el acople calculado es viable para esta aplicación.

De todos los tipos que se ofertan, se ha elegido el tipo H porque la geometría es la más adecuada para el motor escogido.

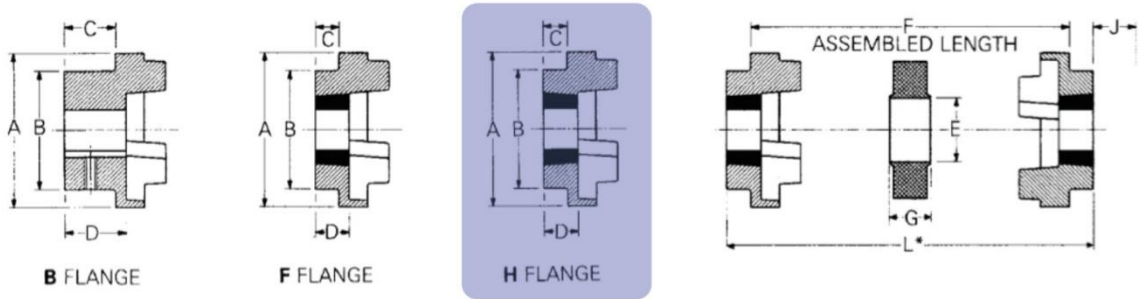


Figura 76. Tipo de acople seleccionado. [53]

La medida L es importante para el diseño del eje motriz, ya que variará la mecanización del eje y la posición axial de la chaveta, se ha elegido la L=107.

**PHYSICAL DIMENSIONS AND CHARACTERISTICS**

Size	Assembled Length (L*) Comprising Flange Types			Mass (kg)	Inertia Mr <sup>2</sup> (kgm <sup>2</sup> )	Dynamic Stiffness (Nm/°)	Maximum Misalignment		Nominal Torque (Nm)
	FF, FH, HH	FB, HB	BB				Parallel	Axial	
70	65.0	65.0	65.0	1.00	0.00085	—	0.3	+0.2	31
90	69.5	76.0	82.5	1.78	0.00115	—	0.3	+0.5	80
110	82.0	100.5	119.0	5.00	0.00400	65	0.3	+0.6	160
130	89.0	110.0	131.0	5.46	0.00780	130	0.4	+0.8	315
150	107.0	129.5	152.0	7.11	0.01810	175	0.4	+0.9	600
180	142.0	165.5	189.0	16.60	0.04340	229	0.4	+1.1	950
230	164.5	202.0	239.5	26.00	0.12068	587	0.5	+1.3	2000
280	207.5	246.5	285.5	50.00	0.44653	1025	0.5	+1.7	3150

All dimensions in millimetres unless otherwise stated.  
**All HRC couplings have an angular misalignment capacity of up to 1°.**  
 Mass is for an FF, FH or HH coupling with mid range Taper Lock Bushes.

Figura 78. Dimensiones físicas y características. [53]

**ORDERING CODES**

CÓDIGO: 045R0003

Size	Type F	Type H	Type B Unbored	Standard Element Tempr. -40°C/+100°C	FRAS Element Tempr. -20°C/+80°C
70	045L0002	045L0003	045L0004	045L0009	045L0006
90	045M0002	045M0003	045M0004	045M0009	045M0006
110	045N0012	045N0013	045N0004	045N0009	045N0006
130	045P0002	045P0003	045P0004	045P0009	045P0006
150	045R0002	045R0003	045R0004	045R0009	045R0006
180	045S0002	045S0003	045S0004	045S0009	045S0006
230	045T0002	045T0003	045T0001	045T0009	045T0006
280	045U0002	045U0003	045U0001	045U0009	045U0006

Note: For details of HRC couplings suitable for application to drives involving SAE engine flywheels, consult your local Authorised Distributor.

Figura 77. Código de la orden de la elección. [53]

El acople elegido para la aplicación que concierne a este proyecto es el de tamaño 150 y tipo H. HRC 150 H (045R0003). Se puede observar el acople real en la Figura 79.



Figura 79: Acople. Elaboración propia.

## 7.4. VERIFICACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO

A la hora de verificar el correcto funcionamiento de Spiker, han sido estudiados los elementos más solicitados, y por ello, más propensos al fallo. Las cuchillas serán las piezas en contacto con el plástico a triturar, pero los esfuerzos soportados se transmitirán a otras partes como pueden ser los ejes o las ruedas dentadas. Se efectuará el estudio estático a flexión, comprobando que las tensiones en los elementos son inferiores al límite elástico del material. Dicho de otra forma, que resistan la carga sin plastificar.

A parte del fallo a flexión, al ser un sistema de cargas variables, puede aparecer el fallo por fatiga del material. Algunas de las partes más propensas a fallar por fatiga serán los ejes, la superficie de los engranajes o las bolas de los rodamientos. Por ello, se ha considerado necesario que, además del estudio estático, se abarque el posible fallo por fatiga.

### 7.4.1. COMPROBACIÓN DE LAS CUCHILLAS A FLEXIÓN

Como ya se ha mencionado previamente, las cuchillas serán unas de las partes más críticas del diseño. Por esto, conviene comprobar su correcto dimensionamiento, deduciendo si soportarán las cargas a las que serán sometidas o no.

Al tratarse de una geometría compleja, se efectuará un estudio por elementos finitos, utilizando el software Fusion 360.

Para obtener la situación más desfavorable, se ha decidido destinar todo el par motor en crear una única fuerza de corte, la cual será repartida sobre una cuchilla de cada eje. Además, cada cuchilla estará cortando simultáneamente en dos de sus filos, ya que la propia geometría de la zona de corte hace que la cuchilla trabaje por arriba y por abajo al mismo tiempo.

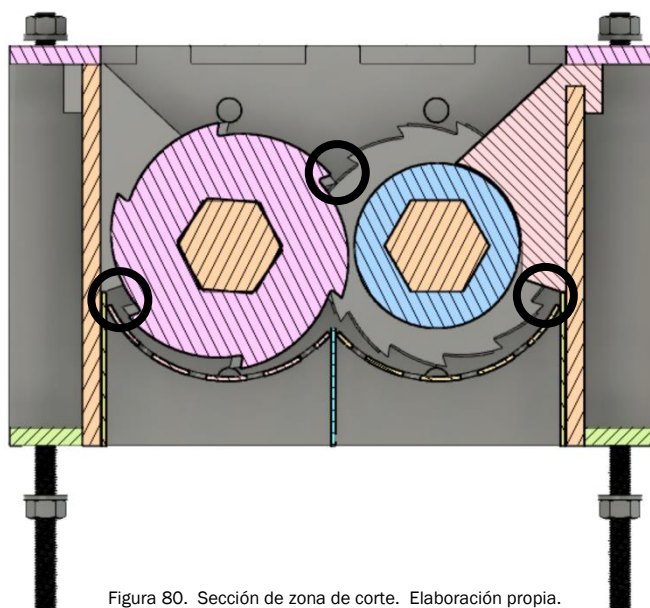


Figura 80. Sección de zona de corte. Elaboración propia.

Entre los tipos de cuchillas que dispone Spiker, las cuchillas que presentarán la situación límite, es decir, la más desfavorable, son las de espesor 4mm. La tensión en estas será mayor porque el área donde se distribuirá la carga es menor. La superficie de corte de la cuchilla de 6 filos (22,39 mm<sup>2</sup>) es algo más pequeña que la de la de trece filos (24,57 mm<sup>2</sup>), por lo que se estudiará la cuchilla de 6 filos.

En cuanto al valor de las cargas aplicadas, se va a utilizar la fuerza de corte calculada en el caso del par nominal, definida previamente en el apartado 7.2. Elección del motor-reductor. Dicha fuerza de corte viene dada según la Fórmula 12, y ronda los 5000N.

De esta forma, la fuerza de corte aplicada a cada filo quedará definida por la Fórmula 14.

$$F_{filo} = \frac{F_{corte,nom}}{4} = \frac{5000N}{4} = 1250N$$

Fórmula 14: Fuerza aplicada en cada filo

Una vez definidas las condiciones de contorno, se va a realizar el estudio sobre las cuchillas de 4mm de espesor de 6 filos. En el estudio se verán involucrados los separadores que están en contacto con las cuchillas, ya que crean restricciones de contacto.

La geometría del estudio va a estar compuesta de una cuchilla de 4mm de espesor del eje corto y dos separadores de 2,5mm de espesor para simular la situación real (Figura 81).

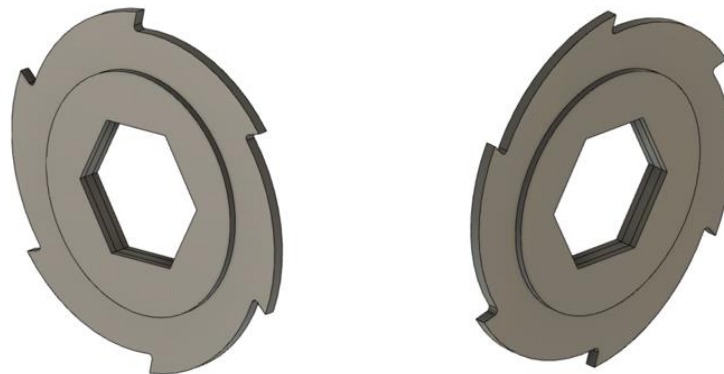


Figura 81: Geometría de la simulación cuchilla eje corto. Elaboración propia.

Una vez definido el objeto de estudio, el primer paso es ir a la pestaña de simulación estática y crear un estudio (Figura 82). En este, se configura el refinamiento de la maya, siendo sus valores ajustados hasta obtener una maya adecuada.

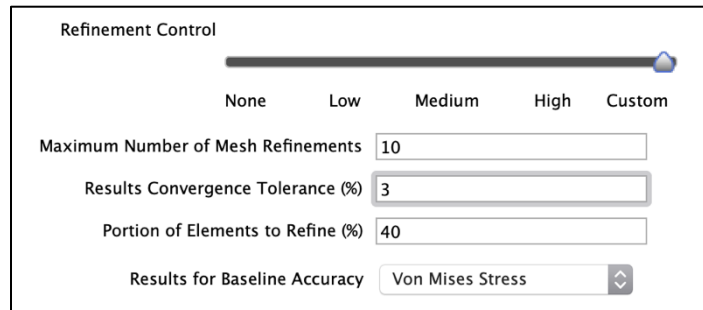


Figura 82: Control de refinado de maya en cuchillas de eje corto. Elaboración propia.

Como la medida que va a interesar en el estudio es la tensión de Von Mises, se dejará elegida esta tensión en la pestaña inferior.

Lo siguiente es asignar el material de los componentes. El material asignado al estudio deberá coincidir con el material de la pieza.

Es importante que el módulo de Young del material sea lo más parecido posible al de la pieza real, ya que este caracteriza el comportamiento elástico del material.

Las cuchillas son de acero F-114 según UNE 36011 y su límite elástico sin tratamientos es cercano a 340 MPa [54].

<b>Propiedades acero F-114</b>	
Módulo de Young	210 GPA
Densidad	7,85E-06 kg/mm <sup>3</sup>
Coefficiente de Poisson	0.3
Límite elástico	340MPa
Resistencia a la tracción	620Mpa
Conductividad térmica	0,056 W / (mm C)
Coefficiente de dilatación	1.2E-05 / C
Calor específico	480 J / (kg C)

Tabla 6: Propiedades del acero F-114 [54]



Se puede observar en la Figura 83 que la pieza 01-02-26 correspondiente a cada uno de los separadores, tiene un material acero F-112 según UNE 36011.

La pieza 01-02-13 corresponde a la cuchilla del eje corto, con su material personalizado acero F-114.

Category	Name	Component	Study Materials	Safety Factor
default	Acero F-114	01-02-13 v3:1	(Same as Model)	Yield Strength
Metal	Steel	01-02-26 v1:1	(Same as Model)	Yield Strength
Metal	Steel	01-02-26 v1:2	(Same as Model)	Yield Strength

Figura 83: Estudio de materiales de la simulación de las cuchillas. Elaboración propia.

Ya definido el análisis estático, se procede a imponer las restricciones de movimiento. Estos son los tipos de restricciones que ofrece Fusion 360 [55].

**Fijas:** Se aplican a una cara, eje o vértice. Elimina todos los grados de libertad y previene que dicha cara, eje o vértice se mueva o se deforme.

**De pasador:** Se aplica a caras cilíndricas. Previene que la cara se mueva en combinaciones de direcciones radiales, axiales o tangenciales.

**Sin fricción:** Se puede aplicar a una cara tanto plana como cilíndrica. Evita que esta se mueva o se deforme en la dirección normal relativa a la superficie.

**Desplazamiento prescrito:** Se usa para encontrar la fuerza de reacción requerida para curvar cierta zona de una pieza a una distancia prescrita [56].

Analizando el funcionamiento real de la máquina, se ha decidido aplicar restricciones de tipo fijo en las caras interiores como se muestra en la Figura 84.

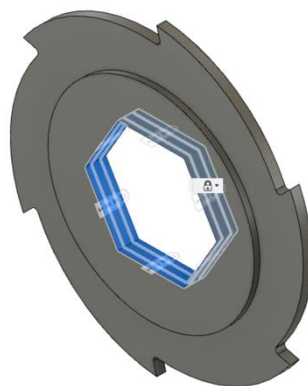


Figura 84: Restricciones de cuchilla del eje corto. Elaboración propia.

Sabiendo que la cuchilla se ve influida también por los separadores, se ha decidido añadir contactos de forma manual. Obviamente, los contactos se van a añadir entre las caras de los separadores que pegan con la cuchilla. Antes de decidir qué tipo es el más correcto para este estudio, se procede a buscar para qué se usa cada una de ellas.

Los tipos de contacto incluyen [57]:

**“Bonded”**: describe la geometría como soldada, pegada o permanentemente fija.

**“Separation”**: describe la geometría como separada, pero sin deslizamiento, como el espacio entre un tornillo y su agujero.

**“Sliding”**: describe la geometría que se desliza pero que no se puede separar, como unas tijeras.

**“Separation” + “Sliding”**: cualquier geometría que se puede separar completa o parcialmente. Si contactan, se pueden deslizar una sobre otra libremente en una dirección tangencial. Un ejemplo sería una abrazadera inicialmente separada, pero que una vez en contacto, deslice.

Analizando los diferentes tipos de contactos que hay en Fusion 360, se ha decidido añadirlos de tipo “Separation”.

Contact Set	Contact Type	Penetration Type	Bodies	Entities
[M] Separation1	Separation	Symmetric		
[M] Separation2	Separation	Symmetric		

Figura 85: Contactos cuchilla eje corto. Elaboración propia.

Por último, antes de realizar la simulación, hay que introducir las cargas a las que estará sometido el cuerpo. Como ya se justificó en la sección anterior, se aplicarán dos fuerzas de 1250N a filos opuestos de la cuchilla. La fuerza estará distribuida uniformemente por toda la cara de filos de aplicación (Figura 86).

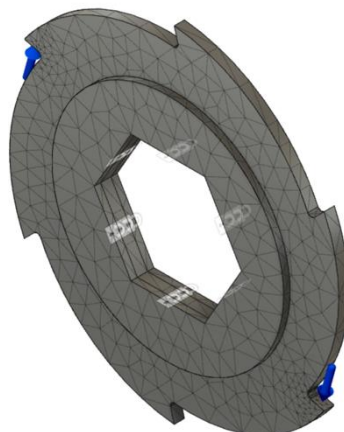


Figura 86. Fuerzas del estudio estático. Elaboración propia.

Una vez definidas las condiciones de contorno (cargas y restricciones), se procederá a realizar la simulación, de la cual se han obtenido los siguientes resultados de Tensión de Von Mises (Figura 87).

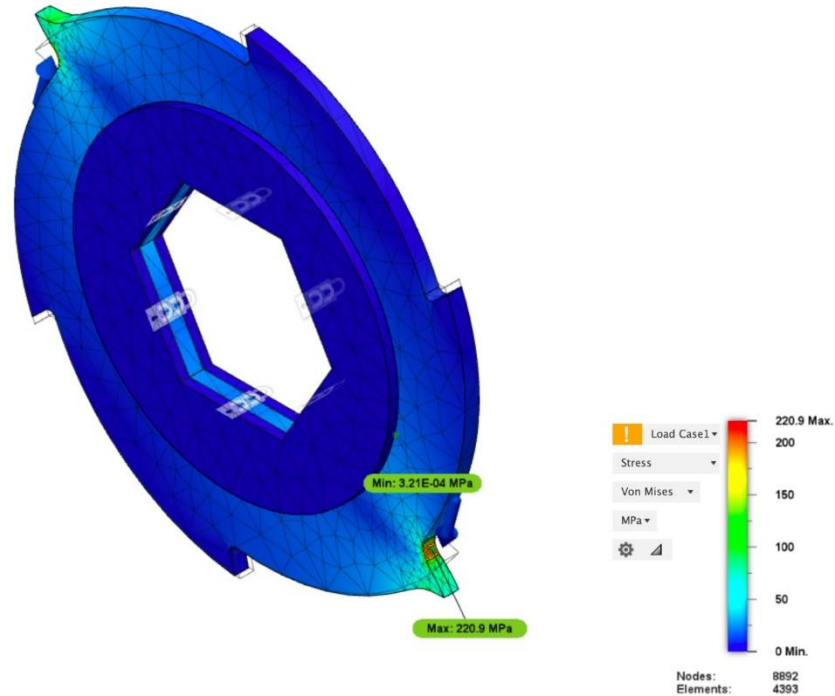


Figura 87. Tensión de Von Mises. Elaboración propia.

Se ha decidido basar el estudio en la Tensión de Von Mises (máxima energía de distorsión) ya que predice mejor el fallo y es un claro indicador de un buen diseño en cuanto a la ductilidad de un material.

La tensión de Von Mises máxima obtenida es de 220.9 MPa y tiene lugar en el redondeo del filo (Figura 88).

Comparando este resultado con el límite elástico del material, que es de 340 MPa, la diferencia de MPa hasta que el material comience a plastificar, es decir que alcance su límite elástico, es de 119.1 MPa.

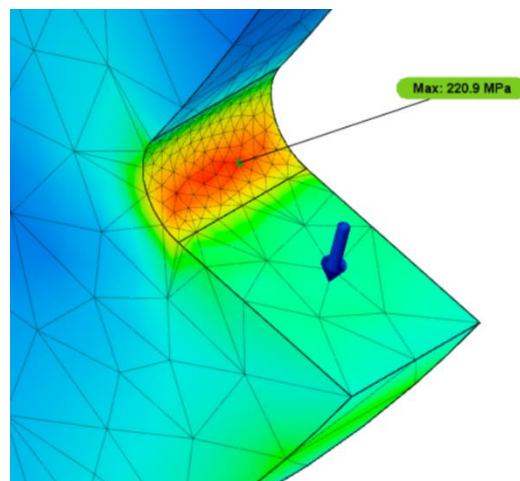


Figura 88. Detalle de Tensión de Von Mises. Elaboración propia.

En cuanto a su deformación, el resultado del desplazamiento máximo es de 0.014mm, como se puede observar en la Figura 89. Este valor es considerado óptimo teniendo en cuenta los valores de cargas aplicadas y las dimensiones del perfil.

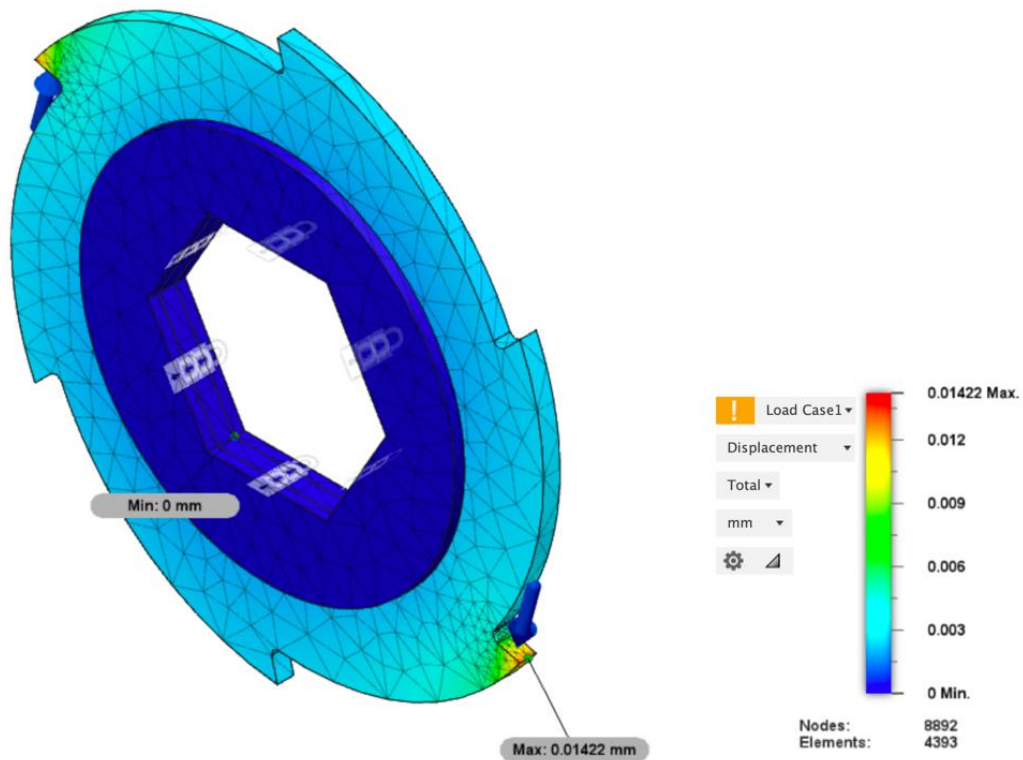


Figura 89. Desplazamiento máximo. Elaboración propia.

El factor de seguridad recomendado por el programa es de 3.00. Al ser este estudio sobre un caso extremo de fuerzas, el factor de seguridad de 1,54 puede darse como válido (Figura 90).

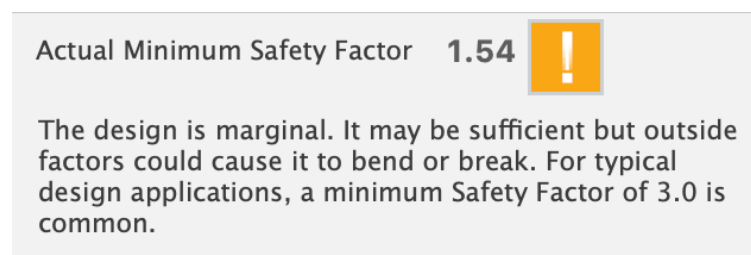


Figura 90. Factor de seguridad de la cuchilla crítica. elaboración propia.

A la vista de los resultados obtenidos, no se prevé realizar ningún tratamiento en las cuchillas, ya que se van a considerar óptimas la tenacidad y la resistencia al desgaste de este material para la aplicación deseada.

#### 7.4.2. COMPROBACIÓN DE LAS RUEDAS DENTADAS

Para transmitir el giro del eje motriz al secundario, será necesario implementar un vínculo entre ambos elementos. Para ello, se utilizarán engranajes de dientes rectos.

Las ruedas dentadas han de ser acordes a la separación entre ejes. En el apartado 7.1.4. se mencionó con mayor detalle cómo se iban a distribuir los ejes.

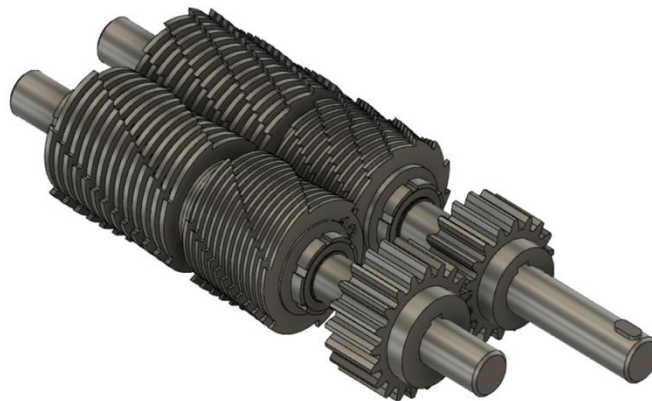


Figura 91: Ejes y ruedas dentadas. Elaboración propia.

Siguiendo el estado de la técnica, se escogerán unos engranes de dientes rectos, con módulo 6 y un número de dientes entre 15 y 20. El material de estos será acero C45 con un post-tratamiento de endurecimiento.

Las características del material son las mostradas en la siguiente tabla:

Propiedades acero C45 endurecido	
Módulo de Young	210 GPA
Densidad	7,87E-06 kg/mm <sup>3</sup>
Coefficiente de Poisson	0.29
Límite elástico	360 MPa
Resistencia a la tracción (S <sub>ut</sub> )	645 Mpa
Dureza Brinell	500 HB

Tabla 7: Propiedades Acero C45 con tratamiento [58]

Para verificar que las ruedas dentadas están bien dimensionadas, se seguirán los criterios de la AGMA (Asociación Americana de fabricantes de engranajes). Se realizará el cálculo por flexión del diente y posteriormente el cálculo por durabilidad de la superficie.

#### 7.4.2.1. ESTUDIO A FLEXIÓN

La única relación cinemática existente en el sistema de engranajes a estudiar será la fuerza de contacto que ejerce la rueda motriz ( $z=18$ ) sobre la rueda dentada conducida ( $z=20$ ). Esta fuerza se situará sobre la línea de presión. Para simplificar el estudio, se despreciará la fricción entre ambos engranes.

La longitud del diente,  $b$ , es el espesor de las ruedas dentadas. En este caso, 60mm.

El módulo de ambos engranes es de  $m=6\text{mm}$ .



Figura 92: Engranajes. Elaboración propia.

El objetivo es determinar la tensión que deberán soportar los dientes. Para ello, se utilizará la *Fórmula 15*:

$$\sigma = \frac{W_t}{b \cdot m \cdot J} \cdot K_v \cdot K_0 \cdot K_m$$

Fórmula 15: Tensión sobre el diente del engrane

Como se conoce la potencia transmitida por el eje conductor, se puede calcular la carga en el diente.

$$Potencia = H = T \cdot \omega$$

Dónde  $T$  representa el par debido a la componente tangencial de la fuerza de contacto.

$$T = W_t \cdot \frac{d}{2}$$

La velocidad de giro transversal,  $\omega$ , fue calculada en la sección 7.2, más concretamente, con la *Fórmula 9*.

$$\omega = 3,72 \text{ rad/s}$$

El diámetro de la circunferencia primitiva de los engranes es de  $d=108\text{mm}$

Reagrupando términos, la carga tangencial en el diente será la indicada en la *Fórmula 16*:

$$W_t = \frac{2 \cdot H}{\omega \cdot d} = \frac{2 \cdot 1265,4 \text{ W}}{3,72 \text{ rad/s} \cdot 0,108 \text{ m}} = 6303,5 \text{ N}$$

Fórmula 16: Carga tangencial en el diente

El siguiente término de la *Fórmula 15*,  $K_v$ , es el factor de efecto dinámico. Para este caso, con dientes tallados mediante generación:

$$K_v = \frac{3,56 + \sqrt{v}}{3,56} = 1,126$$

Siendo 'v' la velocidad de cualquier punto de la circunferencia primitiva.

$$v = \frac{d}{2} \cdot \omega = \frac{0,108}{2} \cdot 3,72 = 0,2 \text{ m/s}$$

$K_0$  es el factor de sobrecarga. Haciendo uso de la Tabla 8, para una fuente de potencia uniforme y maquinaria de choque moderado, se asignará un valor de 1,25 a dicho factor.

Fuente de potencia	Maquinaria impulsada		
	Uniforme	Choque moderado	Choque Severo
Uniforme	1,00	1,25	1,75
Choque ligero	1,25	1,50	2,00
Choque medio	1,50	1,75	2,25

Tabla 8: Factor de corrección por sobrecarga  $K_0$  [59]

$K_m$  es el factor de montaje. Haciendo uso de la Tabla 9, para una longitud de diente de 60mm y suponiendo contacto en toda la longitud del diente, se asignará un valor de 1,7 a este parámetro.

Características del soporte	Longitud del diente b (mm)			
	0 a 50	150	225	400 y más
Montajes precisos, tolerancias pequeñas de cojinetes, deflexión mínima, engranajes de precisión	1,3	1,4	1,5	1,8
Montajes menos rígidos, engranajes menos precisos, contacto en toda la longitud del diente	1,6	1,7	1,8	2,2
Exactitud y montaje tal que el contacto comprende menos de la longitud completa del diente	Más de 2,2			

Tabla 9: Factor de corrección por montaje  $K_m$  [59]

Para obtener el factor geométrico, J, se usará la Figura 93:

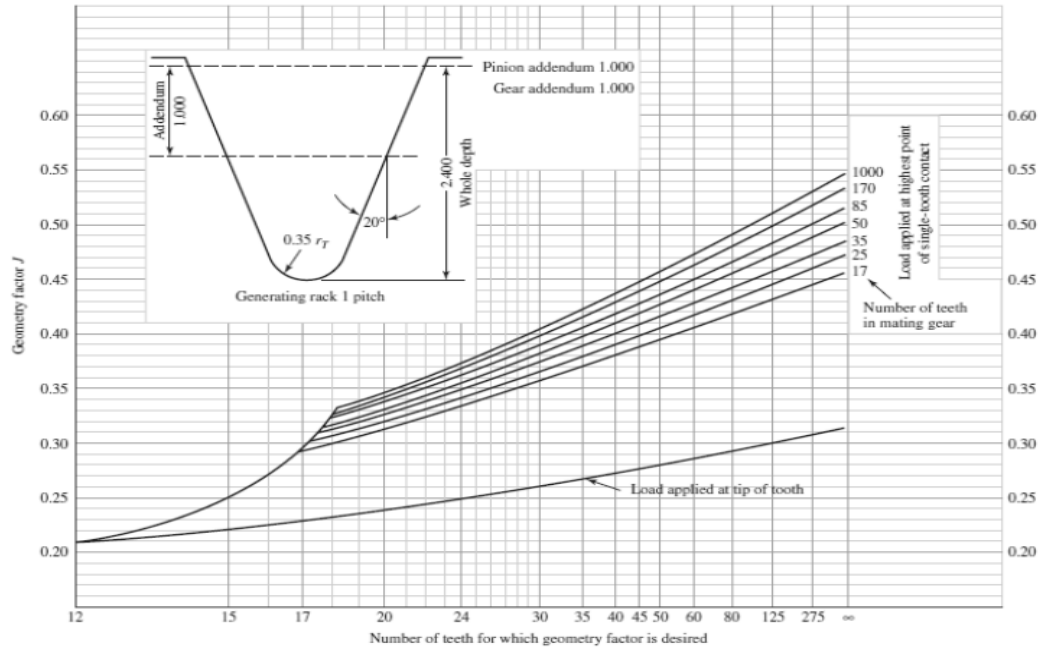


Figura 93: Gráfica factor geométrico de engranajes [59]

Obteniendo los siguientes valores:

$$J_{18-20} = 0,305$$

$$J_{20-18} = 0,312$$

Puesto que el resto de los factores que afectan a la tensión de flexión de los dientes son los mismos para ambas ruedas, se estudiará el caso rueda motriz-rueda conducida, cuyo factor geométrico es menor. De esta forma, se hace un estudio más crítico, inclinado hacia el lado de la seguridad.

Recopilando los datos obtenidos, se obtiene el siguiente esfuerzo estático en los dientes:

$$\sigma = \frac{6303,5}{60 \cdot 6 \cdot 0,305} \cdot 1,126 \cdot 1,25 \cdot 1,7 = 137,35 \text{ MPa}$$

A la vista de la *Tabla 7*, se puede ver que hasta tensiones de 360 MPa el material no plastifica, así que coeficiente estático de seguridad quedará de la siguiente forma:

$$n_{estático} = \frac{S_e}{\sigma} = \frac{360}{137,35} = 2,62$$



Puesto que la carga en el diente aumenta debido a efectos dinámicos, se comparará la tensión estática calculada con el límite de la resistencia a la fatiga de los dientes. Para ello, se implementará la siguiente expresión:

$$S_e = S'_e \cdot C_L \cdot C_G \cdot C_S \cdot K_r \cdot K_t \cdot K_{ms}$$

Dónde:

$$S'_e = \begin{cases} 0,5 \cdot S_{ut} & \text{si } S_{ut} \leq 1400 \text{ MPa} \\ 700 \text{ MPa} & \text{si } S_{ut} > 1400 \text{ MPa} \end{cases}$$

$S'_e$  es la resistencia teórica a la fatiga. En este caso:

$$S'_e = 0,5 \cdot 645 \text{ MPa} = 322,5 \text{ MPa}$$

$C_L$  es el factor de carga. Este será de 1,0 ya que el estudio es a flexión.

$C_G$  es el factor de tamaño. Este será de 0,85 ya que el módulo es mayor de 5

$C_S$  es el factor de superficie.

$$C_S = a \cdot S_{ut}^b$$

Para acabados superficiales en torno, el parámetro 'a' será de 4,51 y el exponente 'b' será de -0.265

$$C_S = 4,51 \cdot 645^{-0,265} = 0,812$$

$k_r$  es el factor de fiabilidad. Para una fiabilidad del 99.99%, el factor es 0,702

Fiabilidad [%]	Factor $K_e$
50	1
90	0,897
95	0,868
99	0,814
99,9	0,753
99,99	0,702
99,999	0,659
99,9999	0,62

Tabla 10: Factor de fiabilidad  $K_e$

$k_t$  es el factor de temperatura. Como no se trabajará a temperaturas superiores a los 70°C, el factor será unitario.

$k_{ms}$  es el factor de tensión media. Como los dientes solamente estarán sometidos a flexión por un sentido, el factor será de 1,4.

Sustituyendo los valores, se obtiene el siguiente límite de resistencia a fatiga:

$$S_e = 322,5 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 0,812 \cdot 0,702 \cdot 1 \cdot 1,4 = 218,8 \text{ MPa}$$

Ahora que ya se conoce la carga a la que estarán sometidos los dientes y la resistencia a fatiga, se calculará el coeficiente de seguridad a flexión:

$$n_{flexión} = \frac{S_e}{\sigma} = \frac{218,8}{137,35} = 1,59$$

A la vista de los resultados, se puede asegurar que no existirá problema de fallo por flexión en el diente, puesto que el coeficiente de seguridad es suficientemente elevado.

#### 7.4.2.2. ESTUDIO A FATIGA

Otro posible fallo que pueden presentar los engranes es el fallo superficial. La picadura es un fallo a fatiga debido a muchas repeticiones de tensiones de contacto elevadas. El factor de seguridad para la durabilidad de la superficie se calculará con la siguiente expresión:

$$\sqrt{n_{superf}} = \frac{S_c}{\sigma_H}$$

Dónde:

$$\sigma_H = C_p \cdot \sqrt{\frac{W_t}{b \cdot d \cdot I} \cdot K_v \cdot K_0 \cdot K_m}$$

$$S_c = S_{fe} \cdot C_{Li} \cdot C_r$$

Los parámetros  $b$ ,  $d$ ,  $W_t$ ,  $K_v$ ,  $K_0$  y  $K_m$ , fueron definidos en el estudio estático, para la flexión del diente.

El valor del coeficiente elástico para el caso de estudio, a la vista de la Tabla 11, será de  $C_p=190$ , ya que ambos componentes son de acero.

Material del piñón	E (GPa)	Material de la rueda			
		Acero	Hierro fundido	Bronce-aluminio	Bronce al estaño
Acero	207	190	168	163	159
Hierro fundido	131	168	151	1458	145
Bronce-aluminio	121	163	148	145	142
Bronce al estaño	110	159	145	142	139

Tabla 11: Coeficiente elástico según el material de la rueda-piñón

El factor de configuración geométrica viene dado por la siguiente fórmula:

$$I = \frac{\sin \alpha \cdot \cos \alpha}{2} \cdot \frac{i}{i+1}$$

Donde  $i$  es la relación de velocidades entre la rueda y el piñón:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{20}{18} = 1,11$$

El ángulo de presión será de  $20^\circ$ .

Quedando un factor de configuración geométrica de  $I=0,09804$

Reagrupando términos, la tensión de compresión en la superficie de los engranes queda:

$$\sigma_H = 190 \cdot \sqrt{\frac{6303,53}{60 \cdot 108 \cdot 0,098}} \cdot 1,13 \cdot 1,25 \cdot 1,7 = 925,71 \text{ MPa}$$

Esta tensión habrá que compararla con la resistencia a la fatiga de la superficie del diente,  $S_c$ .

Para obtener este valor, se impondrá que la vida útil de la superficie supere los 10 millones de ciclos, con un factor de seguridad de 99,99%. Además, según el fabricante de los engranajes, estos son de acero, con una dureza Brinell de 500HB. Por ello:

$$S_{fe} = 2,76 \cdot HB - 70 = 2,76 \cdot 500 - 70 = 1310 \text{ MPa}$$

Se impondrá una fiabilidad del 99,99%, quedando un factor de fiabilidad  $C_r=0,8$ , según se puede observar en la *Tabla 12*.

Fiabilidad [%]	Factor $C_r$
50	1,25
99	1
99,99	0,8

Tabla 12: Factor de fiabilidad  $C_r$

El factor de vida,  $C_{Li}$  será unitario, ya que se busca una duración de  $10^7$  ciclos.

Reagrupando términos, la resistencia a la fatiga de la superficie del diente,  $S_c$ :

$$S_c = S_{fe} \cdot C_{Li} \cdot C_r = 1310 \cdot 1 \cdot 0,8 = 1048 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad a fatiga queda de la siguiente forma:

$$\sqrt{n_{superf}} = \frac{S_c}{\sigma_H} = \frac{1048}{925,71} = 1,1321$$

$$n_{superf} = 1,1321^2 = 1,28$$

Los engranes propuestos cumplen tanto a flexión como a fatiga de la superficie.

### 7.4.3. COMPROBACIÓN DE LOS EJES

Para efectuar la verificación de los ejes, se estudiará solamente el eje motriz, ya que ambos estarán sometidos a los mismos esfuerzos, según las hipótesis adoptadas en la sección 6.2.

El primer punto a determinar serán los enlaces entre el eje y el resto de la máquina. En este caso, el eje tiene tres vínculos con el resto de la trituradora. Estos enlaces tienen lugar en los rodamientos.

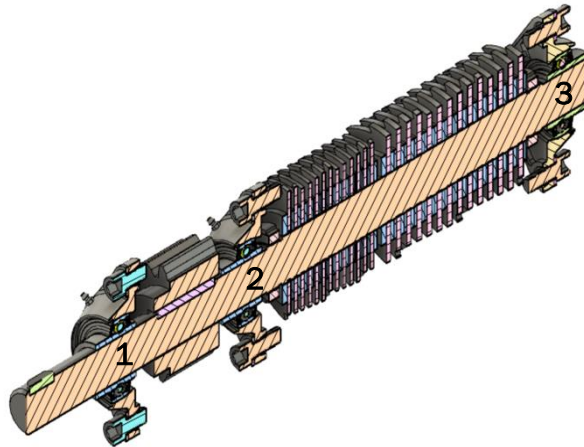


Figura 94: Contactos del eje con el resto de la máquina. Elaboración propia.

Dado que existen más reacciones de ligadura que grados de libertad, es un sistema hiperestático. Para simplificar el estudio, se decidirá desprestigiar uno de los cojinetes, absorbiendo las fuerzas resultantes solamente dos rodamientos.

En la aplicación final estarán los tres cojinetes, es decir, estará sobredimensionado, hacia el lado de la seguridad.

Para seleccionar el cojinete a desprestigiar, hay que analizar la geometría del sistema. Como se puede observar en la *Figura 94*, hay dos cojinetes muy juntos (1 y 2) y un tercero más alejado, en el otro extremo del eje (3).

Si quitamos este último cojinete (3), el sistema se puede volver inestable, por lo que no tendría sentido omitir dicha ligadura. Por ello, entre las dos opciones restantes, el cojinete omitido será el ubicado más cerca de la zona de corte (2). De esta forma, se crea un vano entre (1) y (3), haciendo el estudio más crítico que si se omitiese el rodamiento exterior (1).

La *Figura 95* muestra la distribución de las cargas inducidas por el corte a lo largo del eje. Dado que las tensiones de corte en ambas zonas de corte son muy próximas, no se discernirá entre la zona de corte gruesa y la zona de granulado.

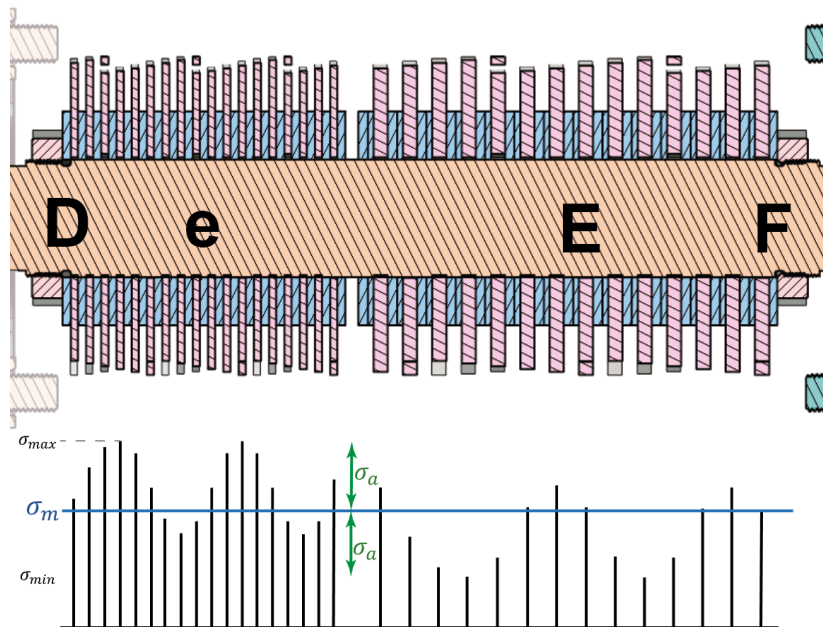


Figura 95: Distribución de cargas en el eje. Elaboración propia

A la vista de la *Figura 95* se puede deducir que las cargas en el eje van a ser variables. Seguirán un ciclo sinusoidal, cuyo periodo será función de la disposición de las cuchillas sobre el eje y su amplitud dependerá de la carga a cizallar.

Para comprobar el correcto dimensionamiento en relación con la resistencia del material, será necesario fijar un valor a la carga de corte. Tal y como se calculó en la *Fórmula 12*, la fuerza de cizalladura trabajando a velocidad nominal será de 5000N. Se supondrá que esta carga va a ser repartida uniformemente a lo largo de la zona de corte del eje objeto de estudio.

$$F_{distribuida} = \frac{F_{corte,nom}}{L_{zona\ corte}} = \frac{5000N}{300mm} = 16,67\ N/mm$$

El par torsor entregado por el motor será distribuido en los dos ejes. Al comienzo del eje, este verá todo el par transmitido por el motor. Cuando llegue a la zona de los engranes, dicho momento se repartirá entre ambos ejes. Para que esto ocurra, aparecerá una fuerza de contacto entre ambas ruedas dentadas.

A continuación, la *Figura 96* muestra el diagrama del eje como sólido libre, junto a las cargas que está sometido y las reacciones en los apoyos (cojinetes).

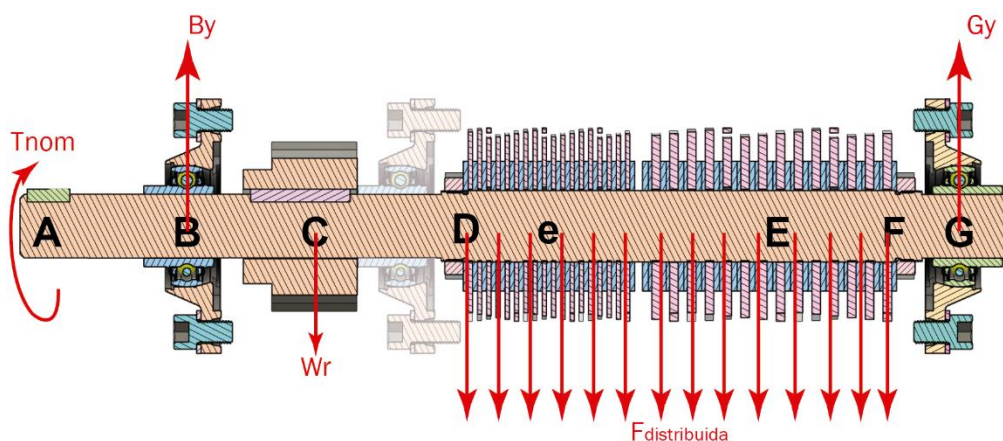


Figura 96: Cargas presentes en el eje. Elaboración propia.

Para poder determinar los valores de los esfuerzos que inducirán dichas cargas, es necesario conocer las dimensiones del eje.

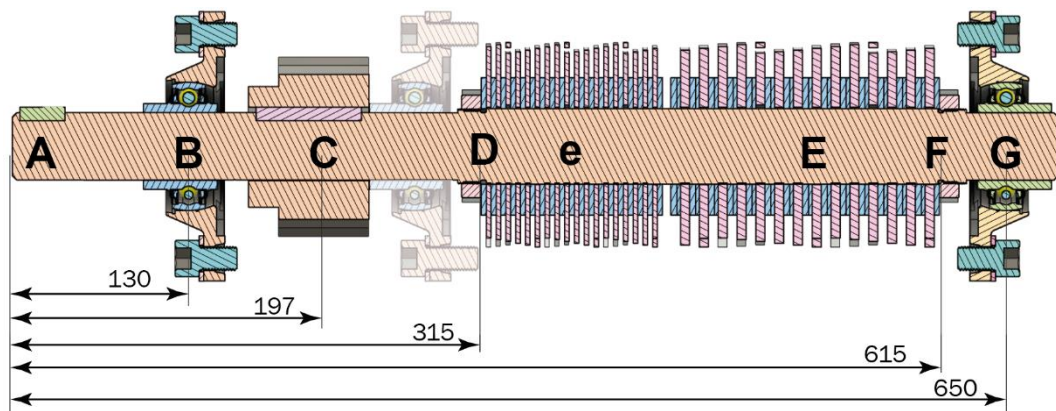


Figura 97: Dimensiones del eje. Elaboración propia.

Una vez conocida la geometría y las cargas del sistema, se pueden obtener los diagramas de esfuerzos.

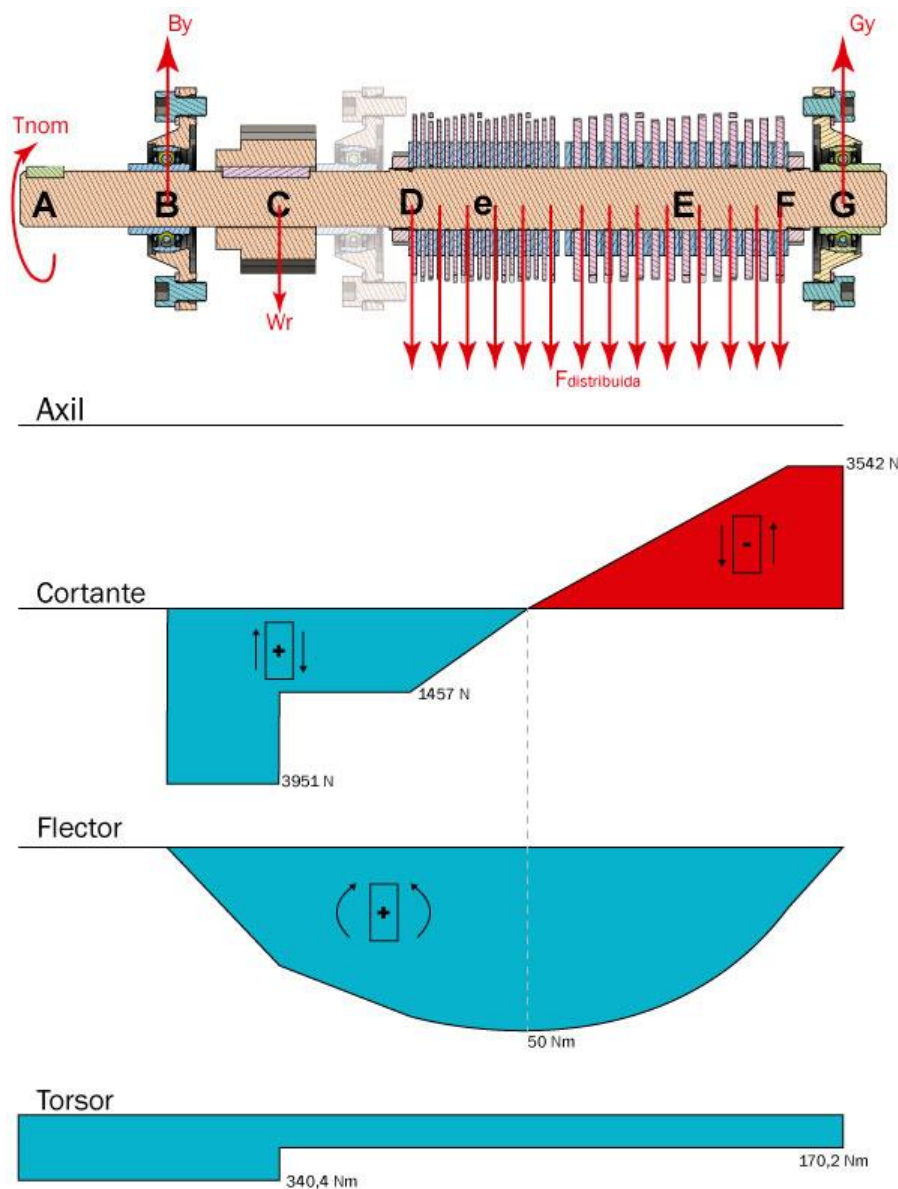


Figura 98: Diagramas de esfuerzos en el eje. Elaboración propia

A la vista de Figura 98, las posibles secciones críticas serán la B y 'E'. En la sección B el momento flector es nulo. Sin embargo, el momento torsor y el esfuerzo cortante son máximos. La sección crítica en la zona de corte ('E') estará ubicada en el punto donde el esfuerzo cortante es nulo, ya que en esa ubicación el momento flector será máximo. El punto 'E' se encuentra a unos 90mm de la entalla D.

Para abarcar el estudio a fatiga simultáneamente, se considerará también como sección crítica la entalla D, ya que esta sometida a un momento flector de 43,67 Nm, superior al presente en la entalla F, cuyo módulo es 12,4 Nm.

Posibles Secciones críticas			
	Sección B	Sección D	Sección 'E'
d [m]	0,045	0,05	0,045
F [N]	0	0	0
V [N]	3951	1457	0
M [N·m]	0	43,67	50,04
T [N·m]	340	340	340

Tabla 13: Posibles secciones críticas

En el estudio del fallo del eje ante cargas dinámicas, para determinar la amplitud de la carga, se tomará como valor máximo la tensión alcanzada en la zona de granulado. La tensión mínima será nula, y tendrá lugar cuando alguna cuchilla no esté trabajando.

Este es un escenario de cargas combinadas, ya que existe momento flector y torsor, además de esfuerzo cortante por flexión. Por ello, el cálculo de las tensiones se realizará con las siguientes fórmulas:

$$\sigma'_a = \sqrt{\left(K_{ff} \cdot \sigma_{af} + K_{fa} \cdot \frac{\sigma_{aa}}{0,85}\right)^2 + 3 \cdot (K_{fst} \cdot \tau_{at} + \tau_{af})^2}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\left(K_{ff} \cdot \sigma_{mf} + K_{fa} \cdot \sigma_{ma}\right)^2 + 3 \cdot (K_{fst} \cdot \tau_{mt} + \tau_{mf})^2}$$

Dónde:

$$\sigma_a = \frac{4 \cdot F_a}{\pi \cdot d^2} \quad \sigma_f = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot d^3} \quad \tau_t = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot d^3} \quad \tau_f = \frac{4 \cdot V}{3 \cdot A}$$

La componente alterna de la tensión, independientemente de si es para el esfuerzo flector, axil o torsor, se calculará de la siguiente forma:

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right|$$

Y la tensión media:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

Notar que para calcular la tensión tangencial por flexión ( $\tau_f$ ), se ha supuesto que la sección será circular, no hexagonal.

Además, la componente axial será nula, ya que no existe carga axial.

En la sección D existe un cambio en el diámetro, por ello, se corregirán las tensiones calculadas, aplicándoles un factor de concentración de tensiones por fatiga ( $K_f$ ).

Este factor considerará tanto la sensibilidad a la entalla ( $q$ ) como el factor teórico de concentración de tensiones ( $K_t$ ). Ambos valores se obtendrán de las siguientes figuras:

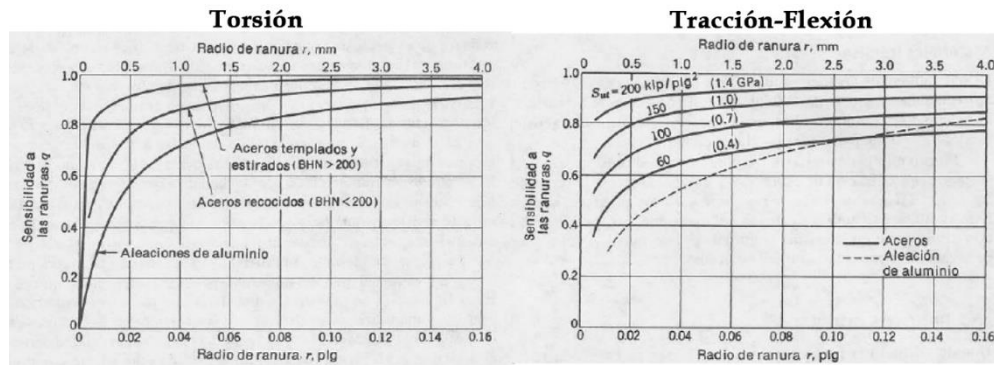


Figura 100: Gráficas de sensibilidad a la entalla. [59]

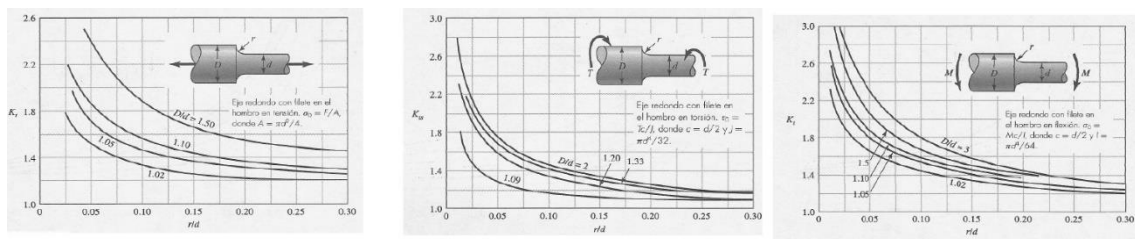


Figura 99: Gráficas de concentración de tensiones. [59]

Para aplicar del factor de concentración de tensiones por fatiga ( $K_f$ ), se aplicará la siguiente expresión:

$$q = \frac{K_f - 1}{K_t - 1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow K_f = 1 + q \cdot (K_t - 1)$$

El radio en el cambio de sección, en este caso es el radio de la herramienta de mecanizado. Concretamente, 0,5mm.



A la vista de la Figura 100, la sensibilidad a la entalla en el caso de estudio será:

$$q_{flexión} = 0,65$$

$$q_{torsión} = 0,9$$

Para determinar el factor teórico de concentración de tensiones ( $K_t$ ), según la Figura 99, se necesita saber la relación entre  $D/d$  y  $r/d$ .

$$\frac{D}{d} = \frac{50}{45} = 1,11$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0,5}{45} = 0,01$$

Quedando los siguientes factores:

$$K_{t,flexión} = 2,4$$

$$K_{t,torsión} = 1,7$$

El factor de concentración de tensiones por fatiga ( $K_f$ ), quedará de la siguiente forma:

$$K_{f,flex} = 1 + q_{flex} \cdot (K_{t,flex} - 1) = 1 + 0,65 \cdot (2,4 - 1) = 1,91$$

$$K_{f,tors} = 1 + q_{tors} \cdot (K_{t,tors} - 1) = 1 + 0,9 \cdot (1,7 - 1) = 1,63$$

Una vez calculadas las tensiones y los coeficientes de concentración de tensiones, las tensiones corregidas serán de la forma:

$$\sigma_{corregida} = \sigma \cdot K$$

Notar que solamente habrá que corregir los esfuerzos de la sección D, ya que es la única candidata que presenta entalla.

Determinadas las tensiones existentes en las posibles secciones críticas, se podrá discernir la sección más crítica. Se usará el criterio de Goodman modificado:

$$\begin{aligned} \text{Criterio de Goodman: } \frac{\sigma_a}{S_f} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} &= 1 \Rightarrow \\ \Rightarrow S_f &= \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} \end{aligned}$$

En este estudio se realizará el cálculo de las tres secciones candidatas a fallar. De esta forma, se verá claramente cuál es la más crítica y se podrán

sacar conclusiones acerca de los esfuerzos más influyentes a la hora de dimensionar el eje.

Para el cálculo de número de ciclos, se utilizará la siguiente expresión:

$$N = \left(\frac{S_f}{a}\right)^{\frac{1}{b}}$$

Dónde:

$$a = \frac{(0,9 \cdot S_{ut})^2}{S_e} \quad b = -\frac{1}{3} \cdot \log \frac{0,9 \cdot S_{ut}}{S_e}$$

Y a su vez,  $S_e$  es el límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = S'_e \cdot k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f$$

Para calcular el límite de resistencia a la fatiga, será necesario determinar todos sus factores. El límite teórico de resistencia a la fatiga ( $S'_e$ ), el factor de superficie ( $k_a$ ), factor de tamaño ( $k_b$ ), de carga ( $k_c$ ), de temperatura ( $k_d$ ), de fiabilidad ( $k_e$ ) y de efectos diversos ( $k_f$ )

$$S'_e = \begin{cases} 0,5 \cdot S_{ut} & \text{si } S_{ut} \leq 1400 \text{ MPa} \\ 700 \text{ MPa} & \text{si } S_{ut} > 1400 \text{ MPa} \end{cases}$$

En este caso, la tensión última a tracción es menor de 1400 MPa, por lo que el límite teórico de resistencia a la fatiga quedará:

$$S'_e = 0,5 \cdot S_{ut} = 0,5 \cdot 620 \text{ MPa} = 310 \text{ MPa}$$

El factor de superficie viene dado por la expresión que se muestra a continuación:

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b$$

Para mecanizado:  $a=4,51$  y  $b=-0,265$

$$k_a = 4,51 \cdot 610^{-0,265} = 0,82$$

Para determinar el factor de tamaño, se seguirá el siguiente criterio:

$$k_b = \begin{cases} 1,24 \cdot d^{-0,107} & \text{si } 2,79 < d < 51 \text{ mm} \\ 1,51 \cdot d^{-0,157} & \text{si } 51 < d < 254 \text{ mm} \end{cases}$$

En este caso,  $d$  es menor de 51mm, por lo que el factor de tamaño quedará:

$$k_b = 1,24 \cdot 45^{-0,107} = 0,83$$

$$k_b = 1,24 \cdot 50^{-0,107} = 0,82$$

El factor de carga,  $k_c$ , será unitario, ya que se está suponiendo un estudio a flexión.

$$k_c = 1$$

Dado que las condiciones de temperatura se prevén las ambientales, el factor de temperatura,  $k_d$ , quedará definido de la siguiente forma:

$$k_d = 1,01$$

Temperatura [°C]	$k_d = \frac{S_T}{S_{RT}}$
20,00	1,00
50,00	1,01
100,00	1,02
150,00	1,03
200,00	1,02
250,00	1,00
300,00	0,98
350,00	0,94
400,00	0,90
450,00	0,84
500,00	0,77
550,00	0,67
600,00	0,55

Tabla 14: Factor de temperatura  $K_d$

El factor de fiabilidad,  $k_e$ :

$$k_e = 0,62$$

Fiabilidad [%]	$k_e$
50,00	1,00
90,00	0,90
95,00	0,87
99,00	0,81
99,90	0,75
99,99	0,70
99,999	0,66
100,00	0,62

Tabla 15: Factor de fiabilidad  $K_e$

El factor de efectos diversos será unitario.

Reagrupando términos,

$$S_e = 310 \text{ MPa} \cdot 0,82 \cdot 0,83 \cdot 1 \cdot 1,01 \cdot 0,62 \cdot 1 = 131,46 \text{ MPa}$$

Ahora ya se puede deducir el número de ciclos para cada posible sección crítica.

Los coeficientes de seguridad son:

$$n_{est} = \frac{S_y}{\sigma_a + \sigma_m} \quad n_{fatiga} = \left( \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} \right)^{-1}$$

Posibles Secciones críticas				
	Sección B	Sección D	Sección E	Unidades
$\sigma'_a =$	0,00	9,32	4,08	MPa
$\sigma'_m =$	38,69	56,20	24,36	MPa
<b>Se =</b>	131,46	131,46	129,99	MPa
<b>Sf =</b>	0,00	10,25	4,24	MPa
<b>n fatiga =</b>	16,03	6,19	14,15	
<b>n est =</b>	13,62	8,04	18,53	
<b>N =</b>		1,97E+11	1,11E+13	Ciclos
		3850452,49	217468691,11	Dias

Tabla 16: Posibles secciones críticas

Como conclusión, se puede asegurar que bajo las sollicitaciones estudiadas, el eje tendrá vida ilimitada, tanto a flexión como a fatiga.

Cabe destacar como, pese a que en la sección de la entalla el momento flector no era el máximo, esta sigue siendo la sección con menor coeficiente de seguridad.

#### 7.4.4. ELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Para lograr el giro de los ejes y por consiguiente, de las cuchillas, se dimensionarán unos rodamientos acordes con el diámetro del eje y las cargas a las que se verá sometido. Para este proyecto, el fabricante de cojinetes seleccionado será SKF.

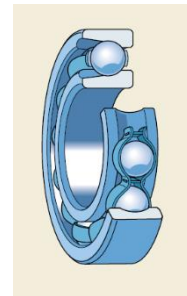


Figura 101: Rodamiento rígido de bolas con una hilera. [60]

Dentro de la gran selección de cojinetes disponibles en el catálogo del fabricante, se optará por los rodamientos rígidos de bolas, con una hilera. [60]

Para seleccionar el cojinete adecuado, será imprescindible conocer la velocidad de giro del eje. Esto se calculó en la sección 7.2, más concretamente, en la Fórmula 9.

$$n_{eje} = 35,5 \text{ rev}/\text{min}$$

Además, las solicitaciones a las que estará sometido el eje y por lo tanto, las reacciones de contacto con los cojinetes se pueden ver reflejadas en la Figura 98. Se escogerá el valor de la reacción más elevado.

$$F_r = 3951 \text{ N}$$

Tal y como se mencionó en la sección 7.1.1, el bruto del eje será de forma hexagonal, el cual tiene una distancia de 50mm entre caras paralelas



Figura 102: Dimensiones del eje. Elaboración propia.

De acuerdo con la Figura 102, se optará por un diámetro interno del rodamiento no superior a 50mm, ya que el bruto del eje no alcanza para dimensiones superiores.

A la vista del catálogo del fabricante, se considerarán los diámetros 50mm, 45mm o inferior, siendo todos múltiplos de 5.

Para asegurar la tolerancia geométrica de cilindricidad, se optará por mecanizar el hexágono hasta un diámetro de 45mm. De esta forma, la elección del cojinete se limita a siete posibles candidatos, mostrados en la Figura 103.

Principal dimensions			Basic load ratings dynamic static		Fatigue load limit	Speed ratings Reference speed Limiting speed		Mass	Designation	Dimensions				Abutment and fillet dimensions			Calculation factors	
d	D	B	C	C <sub>0</sub>	P <sub>e</sub>					d <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	r <sub>1,2</sub> mm	d <sub>a</sub> mm	D <sub>a</sub> max.	r <sub>a</sub> max.	k <sub>v</sub>	f <sub>0</sub>
mm			kN		kN		r/min	kg	--					mm			--	--
45	58	7	6,63	6,1	0,26	22 000	14 000	0,04	61809	49,1	53,9	--	0,3	47	56	0,3	0,015	17
	68	12	14	10,8	0,465	20 000	13 000	0,14	61909	52,4	60,6	--	0,6	48,2	64,8	0,6	0,02	16
	75	10	16,5	10,8	0,52	20 000	12 000	0,17	* 16009	55	65	--	0,6	48,2	71,8	0,6	0,02	14
	75	16	22,1	14,6	0,64	20 000	12 000	0,24	* 6009	54,7	65,3	67,8	1	50,8	67,2	1	0,025	15
85	100	25	35,3	31,5	1,34	15 000	9 500	0,84	* 6309	62,1	82,7	86,7	1,5	54	91	1,5	0,03	13
	120	29	76,1	45	1,9	13 000	8 500	1,55	6409	68,9	95,9	--	2	58	107	2	0,035	12
	85	19	35,1	21,6	0,915	17 000	11 000	0,42	* 6209	57,6	72,4	75,2	1,1	52	78	1	0,025	14

Figura 103: Posibles Cojinetes de una hilera de bolas. Candidatos de utilización

Para la selección del rodamiento idóneo, a la vista de la norma UNE 18113, se obtienen las siguientes directivas:

Dado que la velocidad de giro de los ejes será superior a las 10 rev/min, los cálculos se basarán en cargas dinámicas, descartando el método de cargas estáticas.

Como el rodamiento va a girar bajo carga, se supondrá el caso más desfavorable, es decir, la carga máxima que va a soportar el rodamiento como carga constante a lo largo del tiempo.

Debido a la geometría del sistema, el eje no tendrá permitido el movimiento en el eje axial, sin embargo, se considerará una carga de 1000N en la dirección axial, validando así la hipótesis de carga combinada y haciendo el estudio más conservador.

Utilizando como referencia los valores de vida útil del fabricante (Figura 104), el objetivo a la hora de dimensionar el rodamiento será una vida nominal de 25.000 horas.

#### Valores orientativos de la vida útil especificada de los diferentes tipos de máquinas

Tipo de máquina	Vida útil especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3 000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos donde se requiere una alta confiabilidad: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, <u>tritadoras giratorias</u>	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Maquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	> 100 000

Figura 104: Valores orientativos de la vida útil del rodamiento según el tipo de máquina. [60]

El cálculo de la vida nominal (L) de un rodamiento, según la norma ISO 281:1990, sigue la siguiente expresión:

$$L = L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^\alpha$$

Esta magnitud representa la vida nominal del rodamiento, con una fiabilidad del 90%, expresada en millones de revoluciones.

Para transformarlo en horas de funcionamiento:

$$L_{10,h} = L_{10} \cdot \frac{10^6 [\text{rev}]}{60 \left[\frac{\text{min}}{h}\right] \cdot n \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right]}$$

Antes de definir la vida nominal, es necesario saber la capacidad de carga dinámica (C) además de la carga dinámica equivalente del rodamiento (P).

El exponente de la ecuación de vida ( $\alpha$ ) es 3 para rodamientos de bolas.

La carga dinámica, C, es un valor tabulado, el cual se puede obtener en la *Figura 103*.

La carga dinámica equivalente, P, tomará un valor u otro en función de un umbral (e).

$$\begin{cases} P = F_r & \text{cuando } \frac{F_a}{F_r} \leq e \\ P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a & \text{cuando } \frac{F_a}{F_r} > e \end{cases}$$

Dónde:

$F_r$  representa la carga radial soportada por el rodamiento

$F_a$  la carga axial soportada por el rodamiento

X e Y son factores de carga radial y axial respectivamente, tabulados en la *Figura 105*

Factores de cálculo para los rodamientos rígidos de una hilera de bolas						
$f_0 F_a/C_0$	Juego Normal			Juego C3		
	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,30	0,29	0,46	1,88
0,345	0,22	0,56	1,99	0,32	0,46	1,71
0,689	0,26	0,56	1,71	0,36	0,46	1,52
1,03	0,28	0,56	1,55	0,38	0,46	1,41
1,38	0,30	0,56	1,45	0,40	0,46	1,34
2,07	0,34	0,56	1,31	0,44	0,46	1,23
3,45	0,38	0,56	1,15	0,49	0,46	1,10
5,17	0,42	0,56	1,04	0,54	0,46	1,01
6,89	0,44	0,56	1,00	0,54	0,46	1,00

Los valores intermedios se obtienen mediante la interpolación lineal

Figura 105: Factores de cálculo para rodamientos rígidos de una hilera de bolas. [60]

Para obtener los parámetros X e Y, los valores de  $f_0$  y  $C_0$  se pueden encontrar en Figura 103, según el rodamiento escogido.

Se partirá de la premisa de que  $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ , de esta forma, la carga dinámica equivalente será igual a la carga radial del rodamiento,  $P = F_r = 3,95 \text{ kN}$ .

La vida nominal del rodamiento, con un 90% de fiabilidad ( $L_{10}$ ) queda de la siguiente forma:

$$L_{10} = \left( \frac{C}{3,95} \right)^3$$

La primera iteración se efectuará con el rodamiento más pequeño de la Figura 103, es decir, el 61809. La carga dinámica en este caso será de  $C=6,63 \text{ kN}$

$$L_{10} = \left( \frac{6,63}{3,95} \right)^3 = 4,73 \cdot 10^6 \text{ revs}$$

En horas de funcionamiento:

$$L_{10,h} = 4,73 \cdot \frac{10^6 [\text{rev}]}{60 \left[ \frac{\text{min}}{\text{h}} \right] \cdot 35,5 \left[ \frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]} = 2220 \text{ h}$$

Acorde con la *Figura 104*, la vida útil de este rodamiento no será suficiente, por ello, se analizará otro rodamiento de la Figura 103

Escogiendo el rodamiento 6209, La carga dinámica en este caso será de  $C=35,1 \text{ kN}$

$$L_{10} = \left( \frac{35,1}{3,95} \right)^3 = 701,66 \cdot 10^6 \text{ revs}$$

En horas de funcionamiento:

$$L_{10,h} = 701,66 \cdot \frac{10^6 [\text{rev}]}{60 \left[ \frac{\text{min}}{\text{h}} \right] \cdot 35,5 \left[ \frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]} = 329420 \text{ h}$$

Ahora el rodamiento supera las 25.000 horas de servicio, que era lo mínimo que se exigía.

Para este proyecto, se buscará aumentar la fiabilidad del rodamiento. Para ello, se calculará la vida nominal corregida:

$$L_{mn} = a_1 \cdot a_{SKF} \cdot L_{10}$$



Dónde  $a_1$  y  $a_{SKF}$  son unos factores de ajuste tabulados

Values for life adjustment factor $a_1$			
Reliability	Failure probability $n$	SKF rating life $L_{nm}$	Factor $a_1$
%	%	million revolutions	-
90	10	$L_{10m}$	1
95	5	$L_{5m}$	0,64
96	4	$L_{4m}$	0,55
97	3	$L_{3m}$	0,47
98	2	$L_{2m}$	0,37
99	1	$L_{1m}$	0,25

Figura 106: Valores del factor de ajuste para la vida nominal,  $a_1$ . [60]

Imponiendo una fiabilidad del 99% ( $a_1=0.25$ )

El parámetro  $a_{SKF}$  se calcula a partir de los siguientes diagramas:

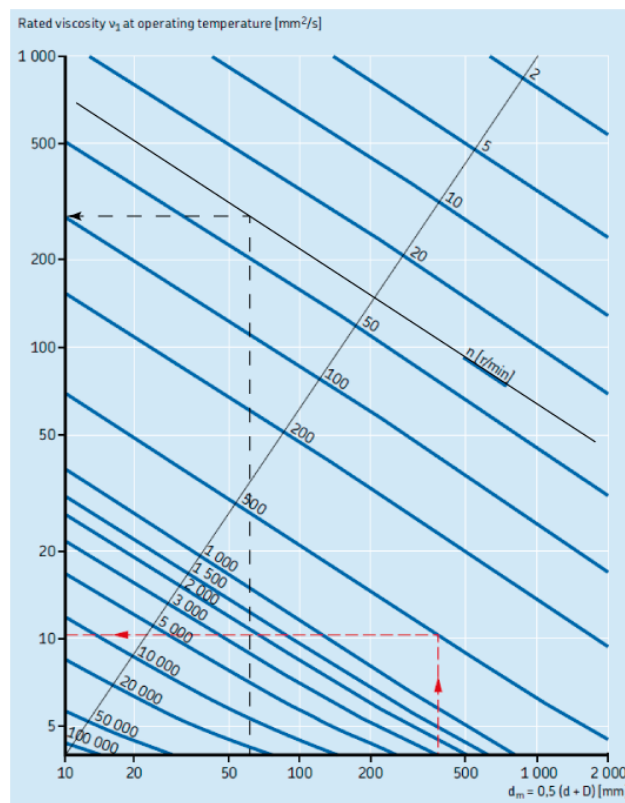


Figura 107: Viscosidad cinemática estimada. [60]

Donde  $d_m$  es  $0,5 \cdot (45 + 85) = 65$

Y las revoluciones del rodamiento serán la  $n_{eje} = 35,5 \text{ rev/min}$

Quedando una  $v_1 = 300 \text{ mm}^2/s$

Una vez obtenido dicho valor, habrá que determinar el factor de contaminación. Para ello, se utilizará la Figura 108.

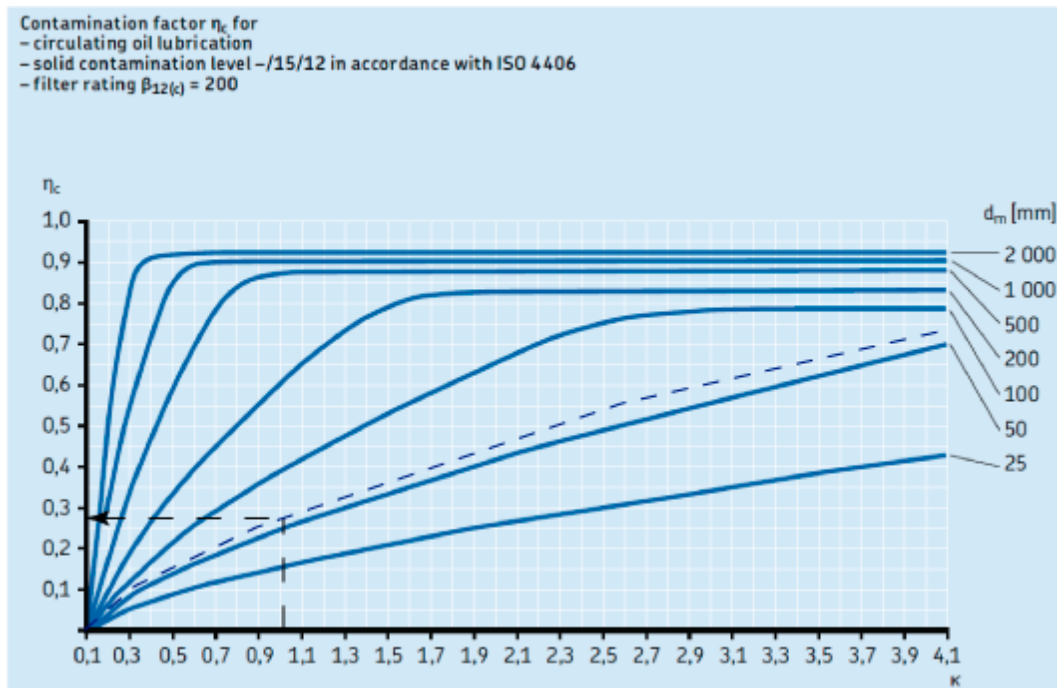


Figura 108: Factor de contaminación. [60]

Para entrar a la tabla, hay que calcular la relación de viscosidades. Será necesario conocer el lubricante que va a tener el rodamiento. Se ha seleccionado un LGFQ 2, en el catálogo de SKF [61], el cual tiene una viscosidad de  $\nu = 320 \text{ mm}^2/\text{s}$

$$\kappa = \frac{\nu}{\nu_1} = \frac{320}{300} = 1,067$$

Obteniendo el siguiente factor de contaminación:

$$\eta_c = 0,28$$

Por último, para determinar el factor  $a_{SKF}$  será necesario obtener la siguiente relación para entrar en la Figura 109:

$$\eta_c \cdot \frac{P_u}{P}$$

Donde  $P_u$  es un valor tabulado, que se puede obtener en la Figura 103. Para el rodamiento escogido:

$$P_{u,6209} = 0,915$$

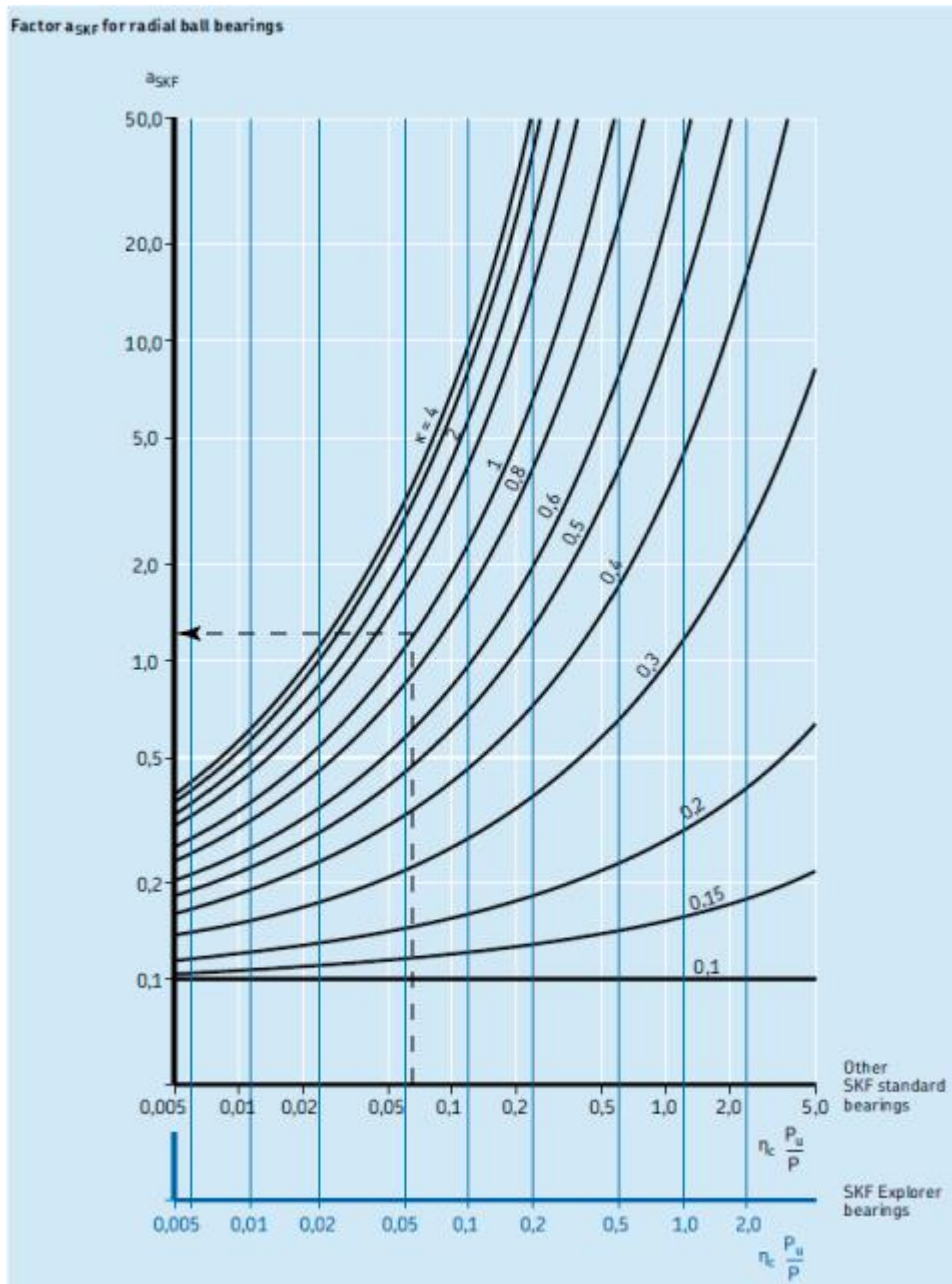


Figura 109: Factor  $a_{SKF}$  para rodamientos rígidos de bolas. [60]

$$\eta_c \cdot \frac{P_u}{P} = 0,28 \cdot \frac{0,915}{3,95} = 0,065$$

Quedando un factor  $a_{SKF}$  de 1,2

$$L_{1n} = 0.25 \cdot 1,2 \cdot 701,66 \cdot 10^6 \text{ revs} = 176,82 \cdot 10^6 \text{ revs}$$

Lo que se traduce en las siguientes horas de servicio:

$$L_{1,h} = 176,82 \cdot \frac{10^6 [\text{rev}]}{60 \left[ \frac{\text{min}}{h} \right] \cdot 35,5 \left[ \frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]} = 83013,94 h$$

Sigue superando el valor límite de 25000h, por ello, el rodamiento seleccionado para cumplir con las hipótesis adoptadas será adecuado.

<b>Designation</b>	FYTB 45 TF
<b>End cover</b>	No end cover
<b>d - Bore diameter</b>	45 (mm)
<b>Da - Centering diamete</b>	98.4 (mm)
<b>Db1 - Top external diameter</b>	102 (mm)
<b>Db2 - Base external diameter</b>	111 (mm)
<b>A - Overall width</b>	39 (mm)
<b>A1 - Flange width</b>	14 (mm)
<b>A3 - Depth of centring recess</b>	3.2 (mm)
<b>A5 - Standout of end cover</b>	26.5 (mm)
<b>B4 - Distance from locking device side face to thread centre</b>	8 (mm)
<b>J - Distance between attachment bolts</b>	148.5 (mm)
<b>H - Overall height</b>	178.5 (mm)
<b>L - Overall length</b>	111 (mm)
<b>N - Diameter of attachment bolt hole</b>	16 (mm)
<b>T - Overall unit width</b>	54.2 (mm)
<b>C - Basic dynamic load rating</b>	33.2 (kN)
<b>C0 - Basic static load rating</b>	21.6 (kN)
<b>Limiting speed</b>	4300 (r/min)
<b>G - Recommended diameter for attachment bolts, mm</b>	14 (mm)
<b>G - Recommended diameter for attachment bolts, inch</b>	0.563 (mm)
<b>Housing</b>	FYTB 509 M
<b>Bearing</b>	YAR 209-2F
<b>End cover</b>	ECY 209

Figura 110: Propiedades del rodamiento [60].



Figura 111: Rodamiento FYTB 45 TF.  
Elaboración propia

## 7.5. CAJA

A la hora de diseñar la caja se ha tomado de referencia la idea básica del diseño previo y Shredder Pro. La parte principal delimitante de la caja es la distancia entre ejes necesaria para que la máquina funcione adecuadamente, que como se ha definido anteriormente es de 114mm.

A parte de esta medida, se deben de tener en cuenta otros factores como incluir el espacio suficiente para poder hacer el mantenimiento de las ruedas dentadas y los rodamientos seleccionados. Para ello, en las zonas en las que quedan encerrados dentro de la caja, se ha incluido una ventana de plástico PMMA transparente que se puede abrir fácilmente ya que va unida a la caja mediante tornillos Allen. Esta también permite ver el movimiento de los engranajes para cerciorarse de que todo funciona correctamente.

Por razones de montaje y mantenimiento, la caja debe permitir su desmontaje. Para ello, se han evitado hacer uniones fijas mediante soldadura u otras técnicas. Gracias a su geometría, las piezas encajan unas con otras y de esta manera se refuerzan las uniones. Además, se ahorra tiempo en documentación del montaje y se elimina la necesidad de hacer mediciones durante el ensamblaje.

Considerando estos condicionantes se procede a definir la caja en su totalidad.

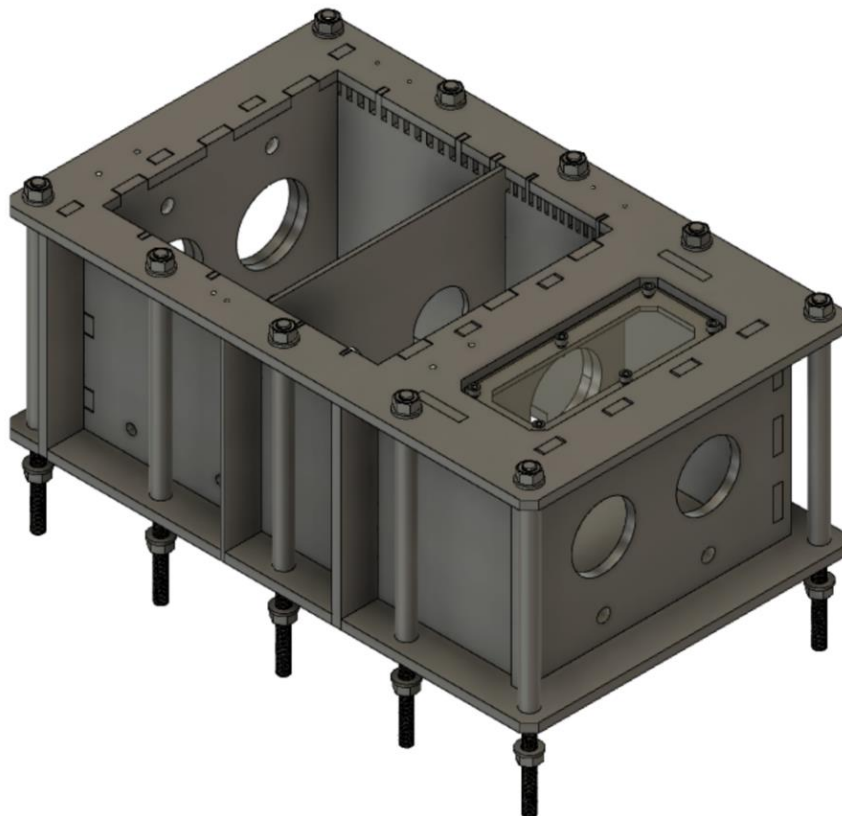


Figura 112: Caja. Elaboración propia.

La caja se compone de doce chapas de acero cortadas por láser, siendo sus espesores de 5mm o 10mm. Estas chapas se encajan unas con otras para formar la geometría de la caja final. Como se puede apreciar en la *Figura 112*, se diferencian las dos zonas de corte mediante una chapa separadora.

Una vez montado el cuerpo con las piezas cortadas por láser, se reforzará la unión con diez varillas M12. Estas comprimirán la chapa superior de la caja (01-01-01) contra el chapón común (05-01-00). Se aseguran con un sistema de tuerca y arandela para facilitar su desmontaje en caso de necesitar cambiar las cuchillas o necesitar cualquier tipo de ajuste interno. Las tuercas y arandelas de la parte inferior de las varillas se colocarán una vez situado el ensamblaje completo de la caja sobre el bastidor (7.8).

De esta forma las piezas finales que componen la caja, excluyendo elementos normalizados son las siguientes:

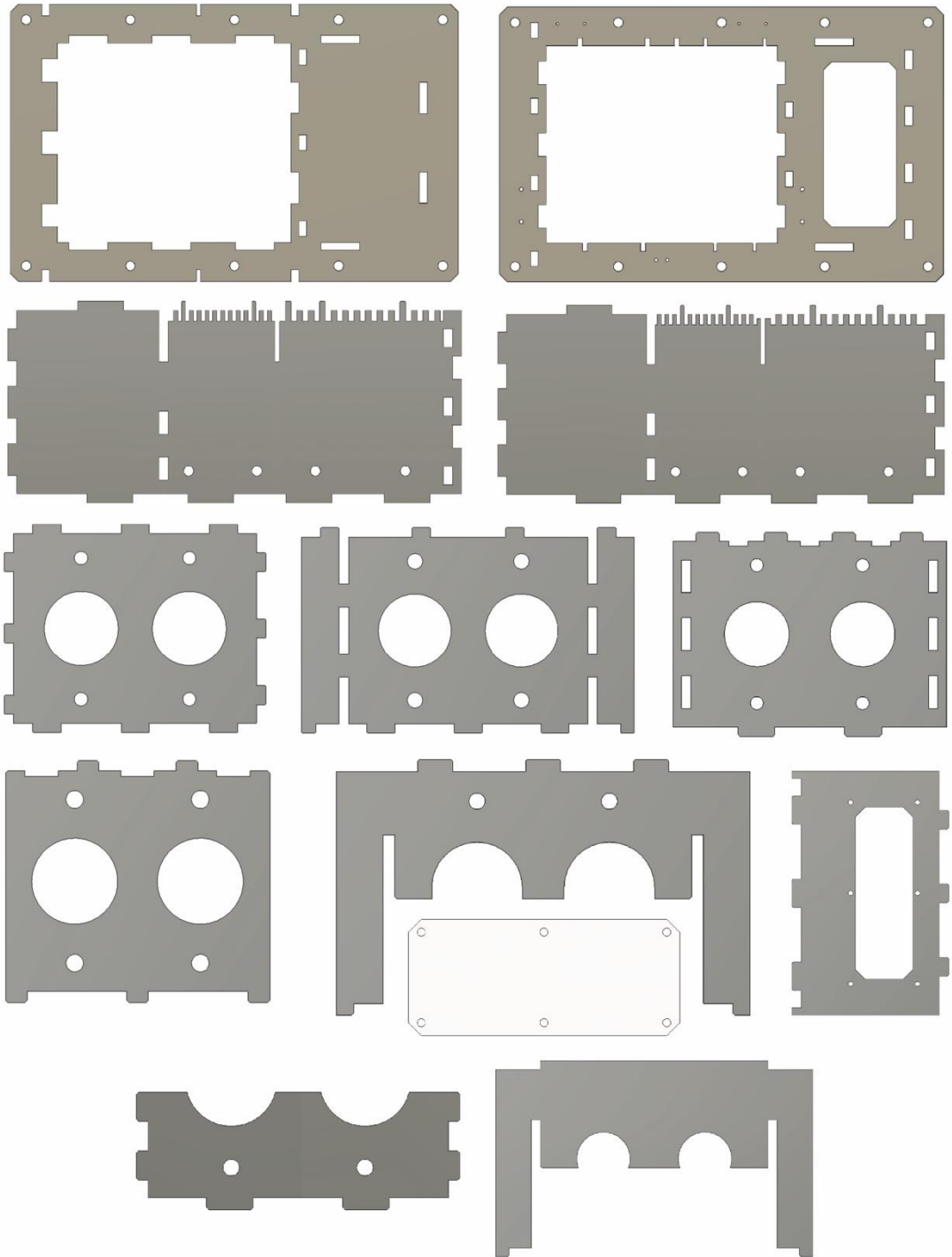


Figura 113: Piezas caja. Elaboración propia.

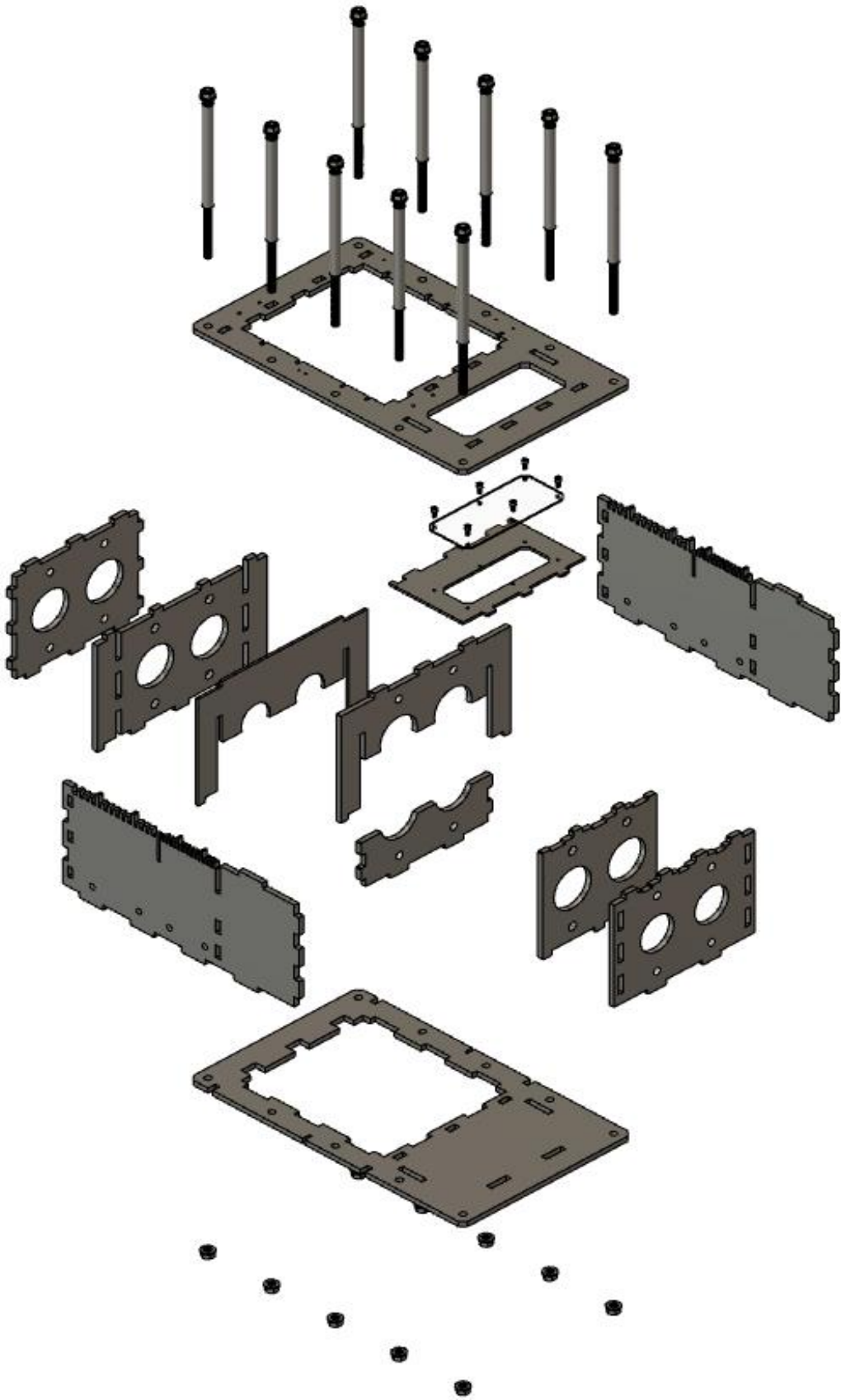


Figura 114: Explosión caja. Elaboración propia.



## 7.6. REJILLAS

La función de las rejillas es redirigir otra vez hacia el circuito de corte el posible plástico que se pudiese colar por la máquina sin haber alcanzado el tamaño final deseado. A cada zona de corte de la caja se le asignará una rejilla diferente según el diámetro mínimo de trozo o granulado que se quiera conseguir.

Ambas rejillas, la grande y la pequeña, se colocarán dentro de la caja en la parte inferior. Para facilitar las labores de mantenimiento, limpieza, atascos, etc., su unión se realizará mediante un sistema tornillo, arandela y tuerca para así facilitar la extracción. Todas sus partes se cortarán por láser y se unirán mediante soldadura, ya que, al contrario que en la caja, no va a ser necesario separar las piezas ensambladas en ninguna circunstancia. Además, se facilita la extracción del conjunto como pieza única en caso de necesitarlo.

Cada una de las rejillas está compuesta por cinco chapas de 2.5mm de espesor y dos chapas perforadas plegadas para acoplarse correctamente al diámetro de las cuchillas. La parte perforada puede tener agujeros de diámetros variados dependiendo las necesidades del usuario. En lo que concierne a este proyecto, se van a fabricar dos diferentes, una con agujeros de diámetro 5mm para la rejilla pequeña y otra con agujeros de diámetro 14mm para la rejilla grande.

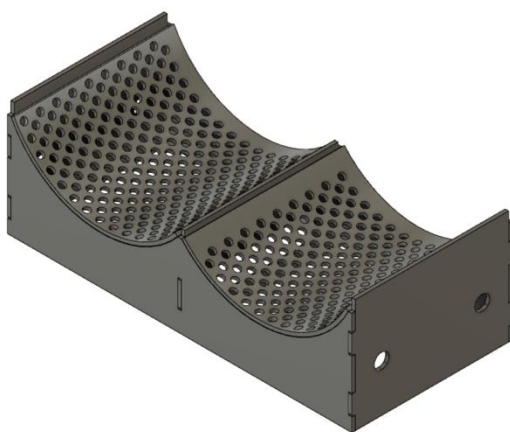


Figura 115: Rejilla pequeña. Elaboración propia.



Figura 116: Rejilla grande. Elaboración propia.

Las piezas seguirán el mismo concepto de diseño de la caja, teniendo guías para facilitar su montaje. Además, por debajo incluye un asa que facilita su retirada.

Las piezas que componen cada una de las rejillas serán las siguientes:

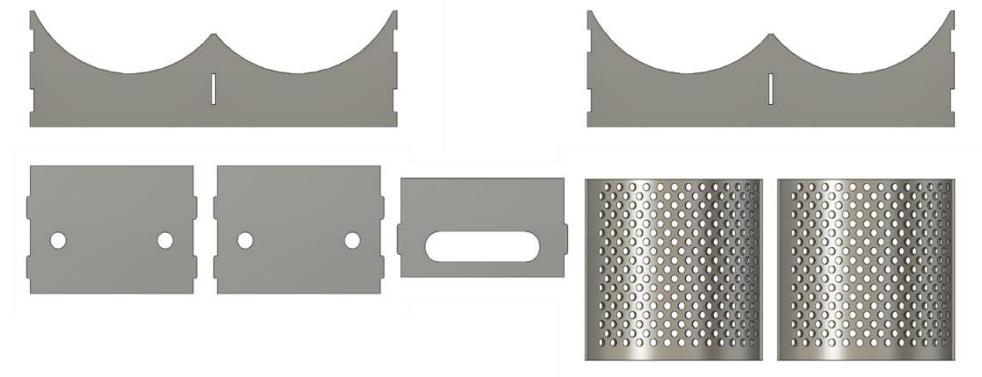


Figura 119: Piezas rejilla pequeña. Elaboración propia.

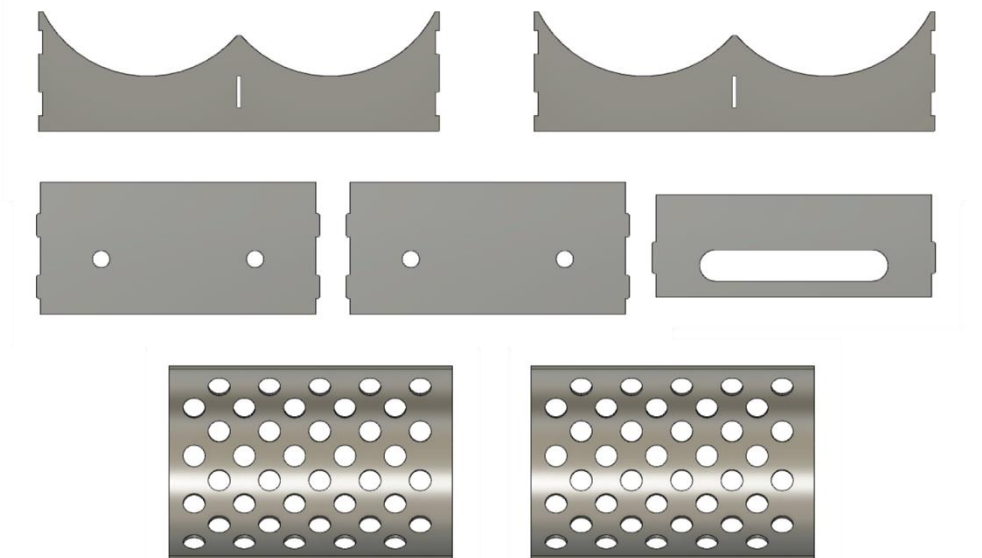


Figura 118: Piezas rejilla pequeña. Elaboración propia.

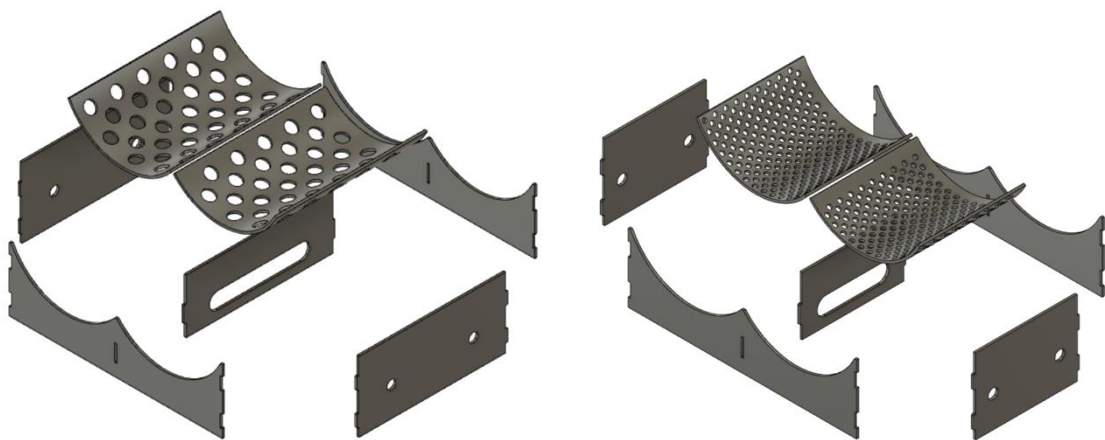


Figura 117: Explosión rejillas. Elaboración propia.

## 7.7. TOLVA

A la hora de diseñar la tolva se ha tenido en cuenta nociones de ergonomía y de seguridad. Se han tomado personalmente las dimensiones generales de productos voluminosos comunes de HDPE para dimensionar la misma.

- Dimensiones botella de lejía 5l: 150x150x380mm
- Dimensiones botella de lejía 2l: 120x100x280mm

Teniendo en cuenta estos datos, al igual que en el apartado 6.3., se ha procedido a diseñar una tolva con una geometría tal que no se pueda introducir una extremidad dentro y evitar riesgos. Está tolva ira dividida en dos secciones diferentes, que coincidirán con las dos partes diferentes de corte de la caja. Cada una de estas secciones tendrá un agujero diferente por el que se introducirán los envases o trozos de plástico a triturar.

El tamaño de estos agujeros se ha pensado de forma que sea intuitivo cual es la zona que trocea y cuál es la zona que granula (siendo el agujero de la que trocea más grande y el de la que granula más pequeño). Aun así, para cerciorarse de la claridad de las zonas, se incluirán dos pegatinas que se colocarán en la cara que se muestra en la Figura 120, que dejarán completamente diferenciadas las dos zonas.

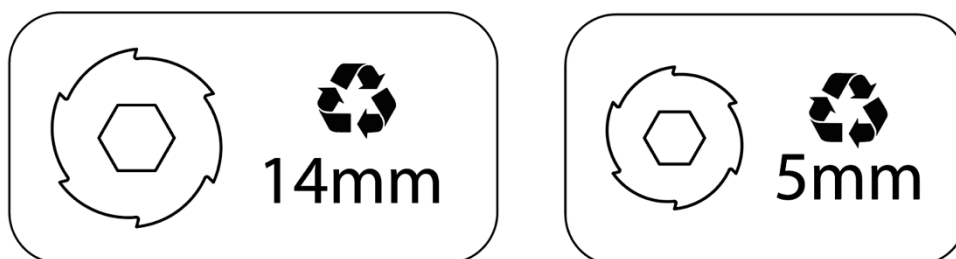


Figura 120. Pegatinas zonas de corte. Elaboración propia.

Al igual que las rejillas, la tolva se considera como pieza única e irá soldada, ya que al contrario que la caja, en ningún momento se va a necesitar desmontar. Constará de cinco chapas de 5mm de espesor, de las cuales dos se someterán a un proceso de plegado para que adquieran las curvas deseadas. Por todo su perímetro tendrán un sistema de muescas, continuando con la idea de la caja y las rejillas, para facilitar su montaje y ahorrarse realizar marcas de soldadura. La parte de abajo que desemboca en la zona de corte estará perfectamente alineada con esta con la intención de evitar acumulaciones de polvo o residuos.

Pensando en el posible atasco o necesidad de acceder a la zona de corte de la caja, se ha decidido que la tolva no esté unida de forma fija a la caja, sino

que se puede abrir y cerrar de forma sencilla. Para ello, se ha pensado incluir en el montaje un cierre, unos resortes a gas y unas bisagras. Este sistema permitirá una apertura de 45° que se verá facilitado por los resortes a gas seleccionados, que ayudarán a esta función.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, la solución final queda representada en la Figura 122 y la Figura 121.

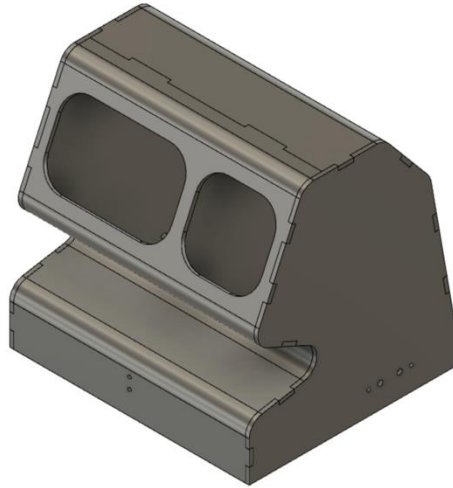


Figura 122. Tolva. Elaboración propia.

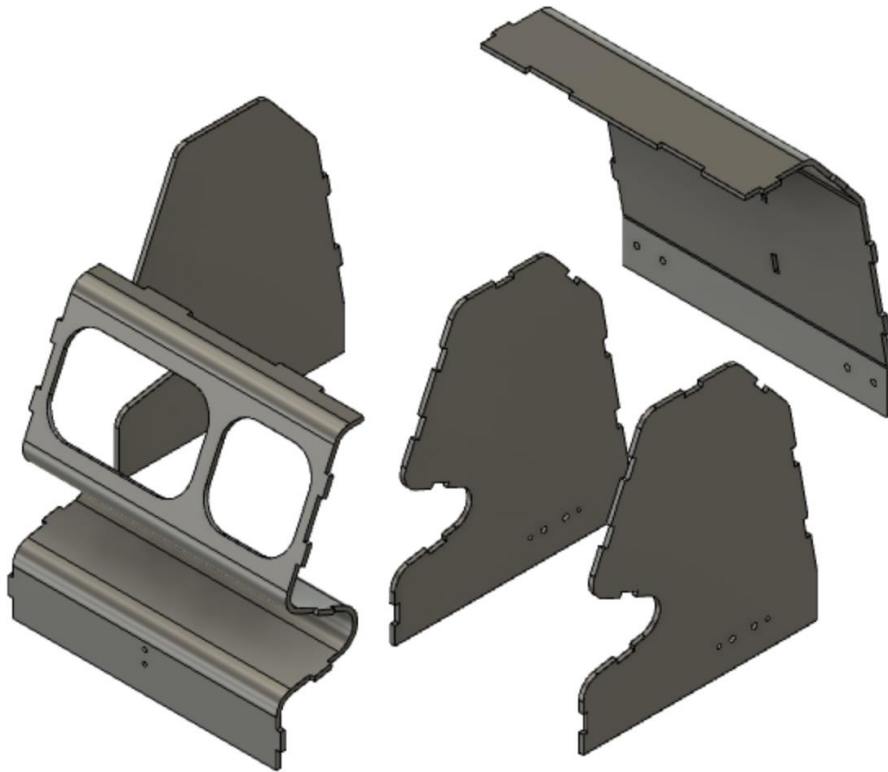


Figura 121. Explosionado tolva. Elaboración propia.

## 7.8. BASTIDOR

Debido a la idea de facilitar el montaje y abaratar costes se ha decidido hacer el bastidor a partir de comerciales de la marca Fasten. Estos se especializan en perfilería y elementos de unión y fijación, como ya se mencionó en el apartado 5.3.-Empresas de comerciales. Para ello se ha tenido en cuenta lo que se oferta en catálogo y se ha realizado el bastidor con las medidas necesarias para soportar las demandas de la máquina. Para escoger entre las diferentes opciones que ofertan, se ha contactado con Fasten para que den una descripción más detallada de ellas y como orientarlas a nuestro proyecto concreto.

El marco se ha realizado a partir de perfiles básicos de aluminio de medida 45x45. Se han cortado de tal manera que los finales de perfil queden ocultos entre ellos o con las chapas que se van a añadir posteriormente. De esta forma, se evita tener que incluir embellecedores de perfil y ahorrar costes. Además, se han incluido dos perfiles a mayores en la zona donde van a ir apoyados el motor y la reductora, para así aportar mayor estabilidad a la zona.



Figura 123: Perfiles del bastidor. Elaboración propia.

Estos perfiles irán unidos con conectores de cabeza redonda para canal 10 que se pueden ver en la Figura 124: Conector de cabeza redonda. Elaboración propia. Estos se colocan por dentro de los perfiles de manera que queden ocultos a la vista (Figura 125).

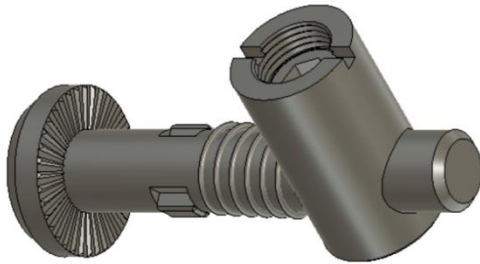


Figura 124: Conector de cabeza redonda. Elaboración propia.

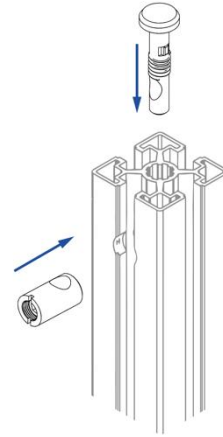


Figura 125. Inserción de conector de cabeza redonda. Elaboración propia.

Los perfiles se unen en ángulo recto gracias a los conectores de cabeza redonda y a los agujeros que se harán en los perfiles para su inserción. Estos permiten la orientación del casquillo en cualquier posición.

Para su montaje, deben ser introducidos desde el extremo del perfil. Se han elegido porque son unas de las uniones más fuertes que ofrece Fasten. De esta forma, aseguramos que las fuerzas de trepidación que va a generar Spiker, sean amortiguadas correctamente. Quedarán montados como se puede ver en la Figura 126.

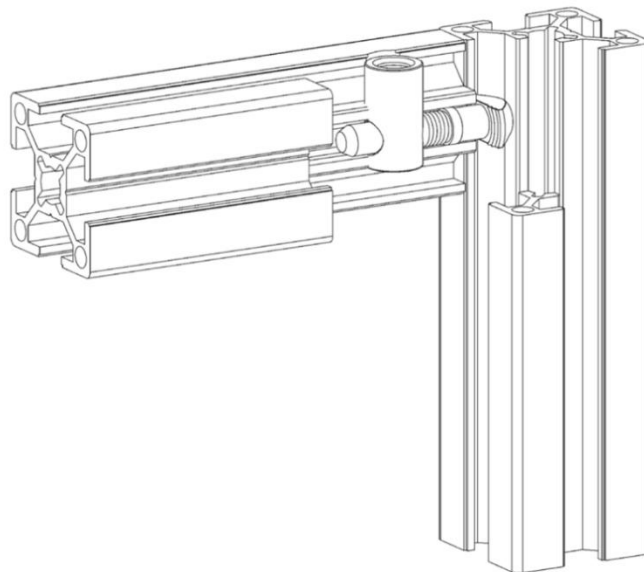


Figura 126: Montaje conector de cabeza redonda con el perfil. Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 127, todos los perfiles tendrán dos agujeros de 15 mm de diámetro en ambos extremos, para la inserción de estos conectores. Estarán a 33mm de su extremo, a excepción de los perfiles de longitud igual a 775mm que no se perforarán en ningún extremo y los de longitud 730mm que solo se perforarán en un extremo. Su profundidad será de 26mm.

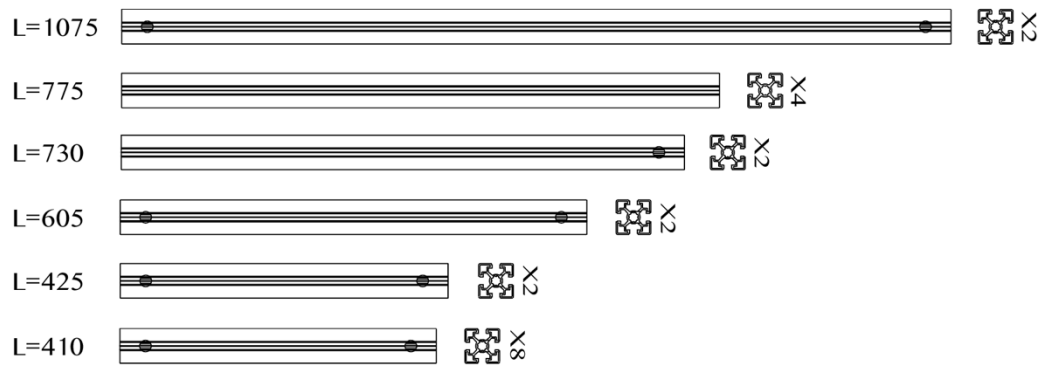


Figura 127. Agujeros en perfiles. Elaboración propia.

Por motivos estéticos, se procurará siempre que los agujeros para estos conectores estén situados en las zonas internas o mirando hacia abajo, quedando así ocultos a la vista.

A parte de estos conectores también se van a pedir escuadras (Figura 128) y sus correspondientes tornillos de cabeza martillo y tuercas biseladas (Figura 129).



Figura 129. Tuerca y tornillo cabeza martillo. Elaboración propia.

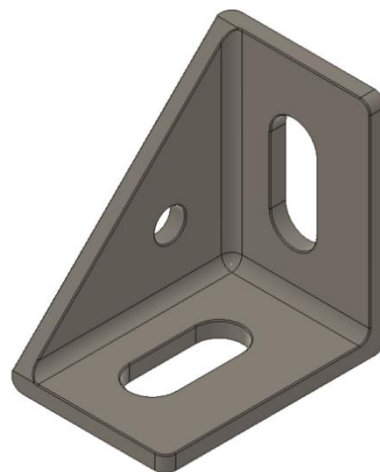


Figura 128: Escuadra 43x43x30. Elaboración propia.

Montando los conectores y las escuadras sobre la estructura de perfiles, el esqueleto del bastidor quedará de la siguiente forma (Figura 130):



Figura 130. Esqueleto del bastidor con escuadras. Elaboración propia.

Después de montar el esqueleto del bastidor, se deben introducir en el canal de los perfiles las tuercas cabeza de martillo M8 (Figura 131), para que junto a tornillos avellanados unan las chapas a los perfiles (Figura 132). Como las chapas van a tener espesores de 10mm y 20mm, los tornillos avellanados tendrán diferentes longitudes, pero misma métrica. De esta forma, las tuercas valdrán tanto para el chapón común (05-01-00) como para las placas inferiores del bastidor (05-02-00).



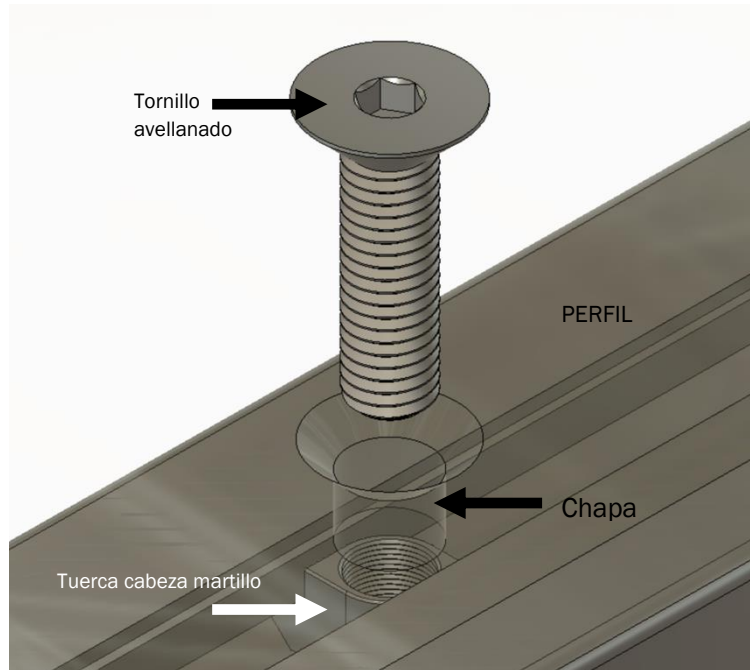


Figura 132: Unión chapa a perfil. Elaboración propia.

Para apoyar todo el bastidor se ha elegido el pie anti-vibratorio con rótula, en su modelo de diámetro 80 y M12 para poder roscarlo al perfil de 45x45.



Figura 133: Pie anti-vibratorio. Elaboración propia.

El peso máximo que soporta cada uno de estos apoyos es de 2200 kg, lo cual excede en gran cantidad al peso que va a soportar este bastidor, sin embargo, se ha elegido este pie principalmente para disipar las posibles fuerzas de trepidación y las vibraciones que va a soportar toda la estructura. En total se colocarán seis pies, uno en cada apoyo de las patas con el suelo (Figura 134).

Se recomienda colocarlos en las patas antes de empezar a montar el esqueleto del bastidor. Todo el proceso de montaje quedará definido claramente en el Anejo: manual de montaje bastidor.



Figura 134: Esqueleto bastidor con pies. Elaboración propia.

Una vez montado el esqueleto, se procederá a montar el chapón común (05-01-00) y las placas inferiores del bastidor (05-02-00).

Al chapón común se va a anclar el motor y el ensamblaje de la caja.

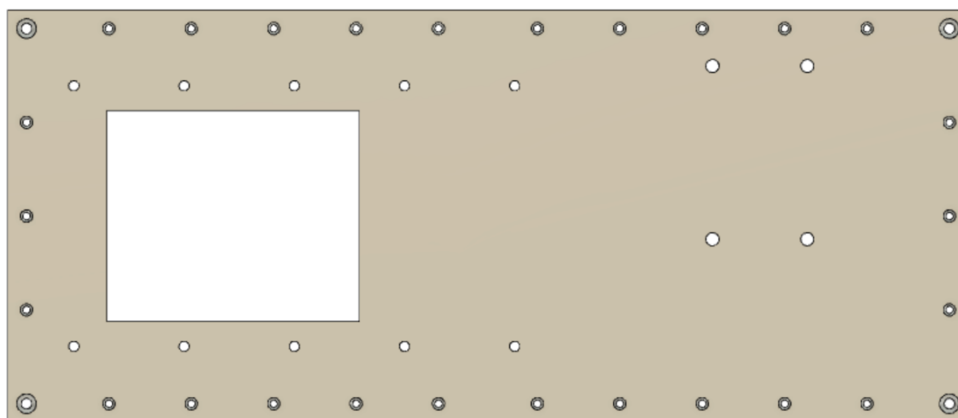


Figura 135: Chapón común. Elaboración propia.

El chapón es una de las piezas más importantes junto a los ejes y las cuchillas, ya que proporciona la superficie común de alineamiento entre el ensamblaje de la caja y el motor reductor. Se han incluido las respectivas tolerancias geométricas para el correcto cumplimiento de esta función.

Las placas inferiores sirven para colocar cualquier caja normalizada de los litros que sean necesarios para recoger el plástico que triture Spiker, además de servir como superficie de almacenamiento para otros elementos como materiales o herramientas. La máxima altura de caja permitida por geometría es 545 mm.

En el bastidor se incluirán cinco placas inferiores, quedando el diseño final como se muestra en la Figura 136.



Figura 136: Bastidor. Elaboración propia.

A parte de esta función, las chapas inferiores también sirven de contrapeso y así bajar el centro de gravedad del ensamblaje. De esta forma, se minimizarán las vibraciones que van a producirse en la estructura. En la zona donde no esté la caja que va a recoger el plástico, se instalará toda la parte eléctrica de Spiker, con su correspondiente cuadro.

La altura total será de 846,5 mm. Esta medida será muy relevante, ya que se debe tener en cuenta su relación con el resto de la máquina, de manera que quede todo a escala adecuada para que una persona de estatura media pueda introducir producto en la tolva sin problemas.

Finalmente, el pedido que se va a hacer a Fasten viene especificado en la *Tabla 17*:

DESCRIPCIÓN	CANT	REFERENCIA
L= 1075 PERFIL BÁSICO 45X45	2	5021
L= 775 PERFIL BÁSICO 45X45	4	5021
L= 730 PERFIL BÁSICO 45X45	2	5021
L= 605 PERFIL BÁSICO 45X45	2	5021
L=425 PERFIL BÁSICO 45X45	2	5021
L= 410 PERFIL BÁSICO 45X45	8	5021
PIE ANTIVIBRATORIO	6	540780121
TUERCAS CABEZA MARTILLO	46	52018
CONECTOR DE CABEZA REDONDA	30	5352
ESCUADRA 43x43x30	18	53010
TORNILLO CABEZA MARTILLO 8x20	36	525020

Tabla 17: Pedido Fasten.

Nota: las tuercas biseladas vienen incluidas en el pedido de tornillos cabeza martillo.

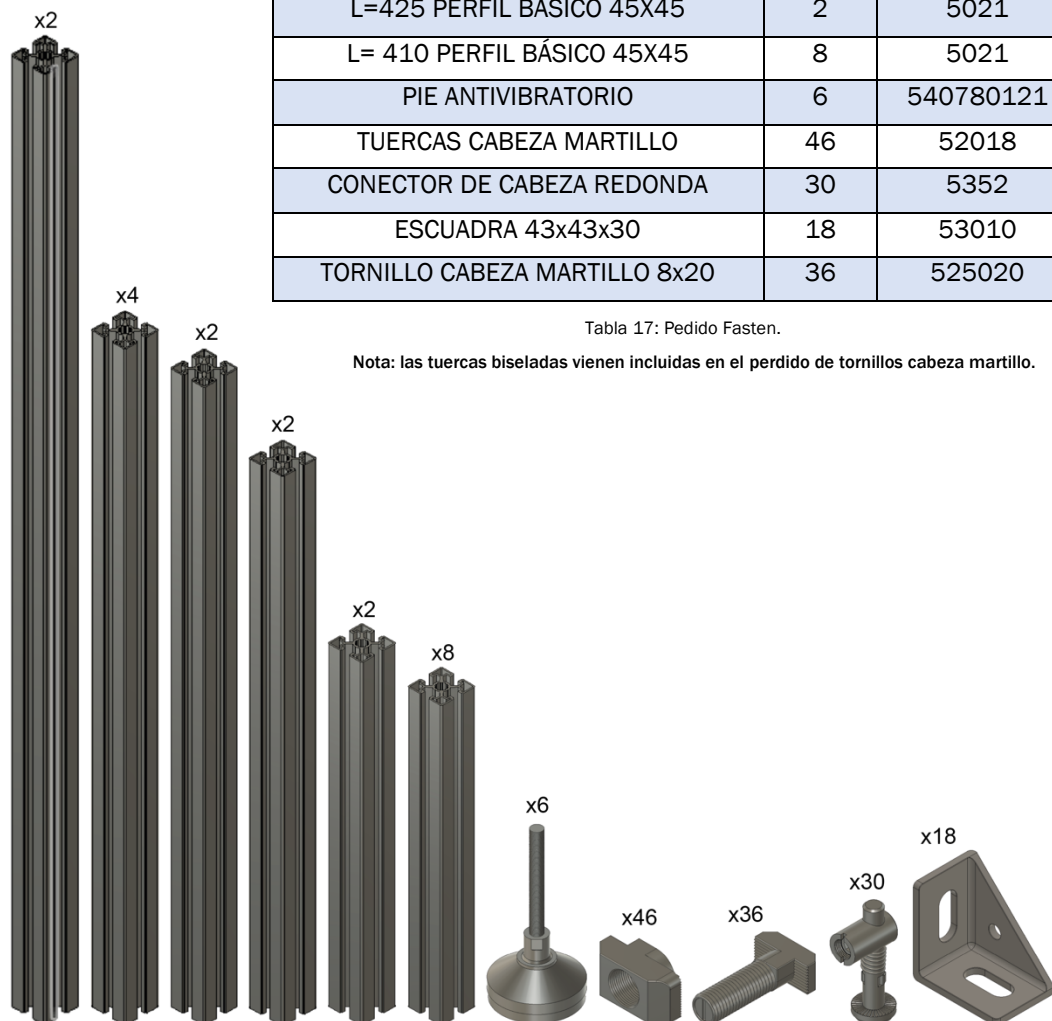


Figura 137. Piezas bastidor. Elaboración propia.

## 7.9. MONTAJE

Una vez especificadas y descritas todas las partes que componen Spiker, queda explicar cómo se ha abordado su montaje. En este apartado se va a hablar de todas las piezas necesarias para que la máquina opere de manera adecuada.

Un factor determinante para su correcto funcionamiento es la alineación del eje de salida del reductor con el eje motriz. Dicha alineación debe ser asegurada en los tres ejes cartesianos.

La alineación en el plano horizontal, el del chapón común (05-01-00), se conseguirá gracias al previo diseño del propio chapón. Es decir, hay que conocer la posición relativa del eje respecto la caja, la posición de la caja sobre el chapón y finalmente, colocar el eje de salida del reductor consecuentemente alineado con el eje de la máquina.

Para ello se han utilizado cotas teóricamente exactas y tolerancias en los planos.

Para asegurar las cotas del reductor, hay que acudir a los planos proporcionados por el fabricante [62].

Una vez conseguido el alineamiento horizontal, habrá que asegurar el alineamiento vertical. Para ello, se parte de la premisa de que el reductor estará anclado al chapón, quedando una altura del eje de 127,5mm, tal como se puede observar en la *Figura 138*.

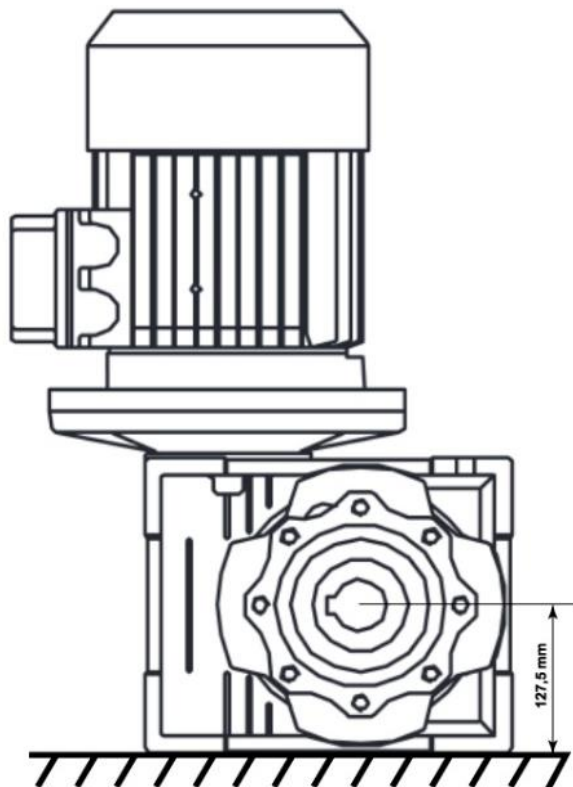


Figura 138: Altura de la salida del reductor respecto a la bancada. Elaboración propia.

Por otra parte, la altura del eje de entrada a la trituradora en relación con el chapón es de 110mm, como se puede apreciar en la *Figura 139*.



Figura 139: Altura de la entrada de Spiker respecto a la bancada. Elaboración propia.

Para salvar esta diferencia de altura, se ha optado por añadir unas placas niveladoras entre el chapón común y la base de la trituradora.

Pensando en que se pueden escoger motores provenientes de diferentes proveedores, se ha elegido incluir estas placas en vez de otros métodos para que se puedan alinear los ejes fácilmente. Así se consigue que, en el caso de que el eje de la reductora tuviese otra altura, simplemente modificando esta pieza se pueda obtener un alineamiento correcto sin cambiar partes elementales del diseño. Se puede decir que tienen una función de cala.

De este modo, con la reductora escogida, los espesores elegidos deberán sumar un total de 17.5mm. Mirando los espesores comerciales de chapas, se ha decidido dividir esta medida en dos espesores, de 15mm y 2.5mm respectivamente (Figura 140).



Figura 140. Espesores de espaciadores. Elaboración propia.

En cuanto a su perfil, este equivaldrá al perfil exterior de las placas superior e inferior de la caja. En sus esquinas tendrán un chaflán y en su interior tendrán una ventana que coincidirá con el hueco de la caja. Por lo tanto, el exterior quedará alineado y no habrá salientes que puedan producir cortes. Además, incluirá 10 agujeros para que puedan pasar las varillas M12 a través de los mismos desde la caja hasta el chapón común. El perfil de ambas placas niveladoras se puede observar en la *Figura 141*.

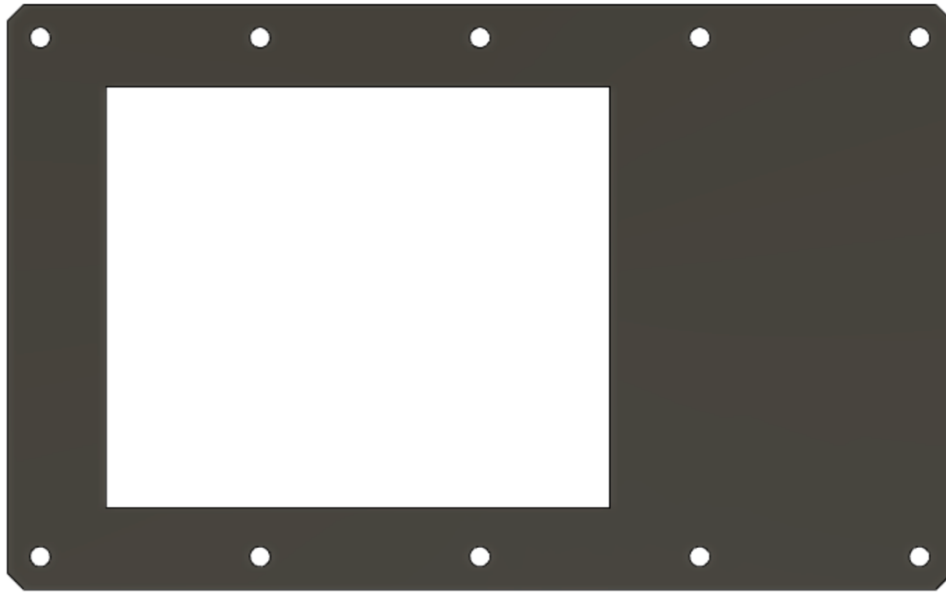


Figura 141. Perfil placa niveladora. Elaboración propia.

Los elementos finales para concluir el montaje están relacionados con la apertura de la tolva.

Se incluirán dos resortes a gas. Para la correcta selección del amortiguador, se procederá a hacer un pequeño estudio sobre el movimiento de la tolva y poder dimensionar los amortiguadores correctamente.

Para definir el amortiguador, en la Figura 142 se muestran las propiedades de la tolva como conjunto, además de la posición de su centro de masas.

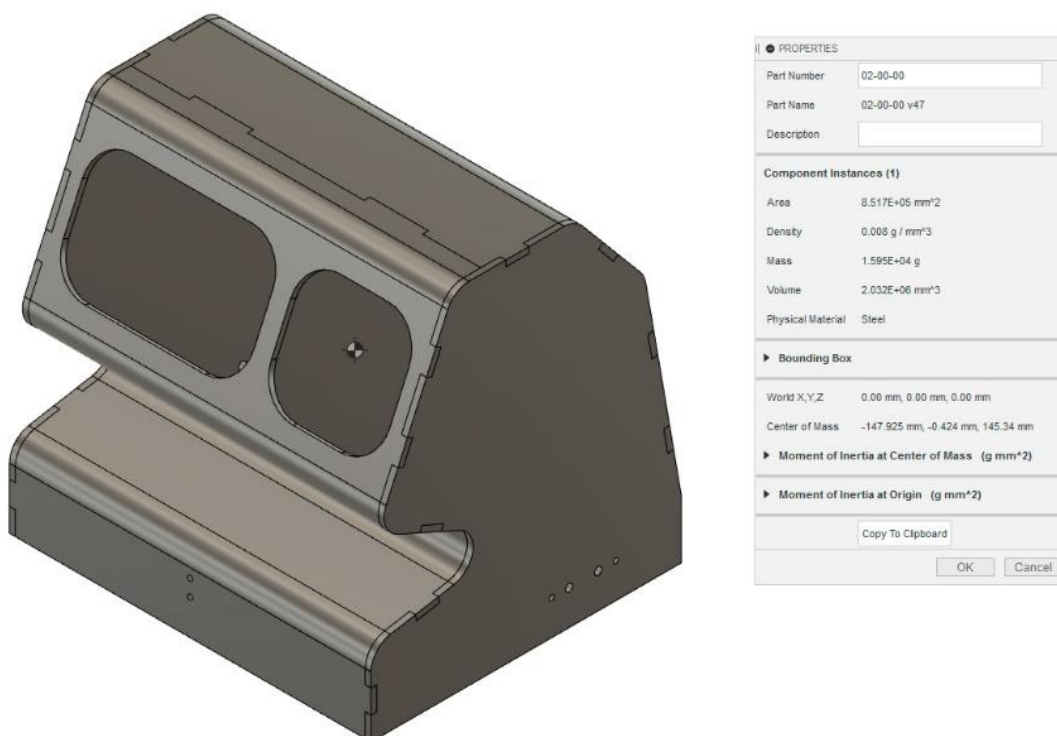


Figura 142: Propiedades físicas de la tolva. Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 142 , el peso del conjunto de la tolva será de unos 16kg, y la distancia del punto de aplicación a la bisagra será de aproximadamente 150mm

$$T_{Amortiguador} = P \cdot d = m \cdot g \cdot d = 16kg \cdot 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 0,15m = 23,5 N \cdot m$$

Este valor tiene lugar en el punto donde la tolva debería estar cerrada y por ello, la distancia es máxima.

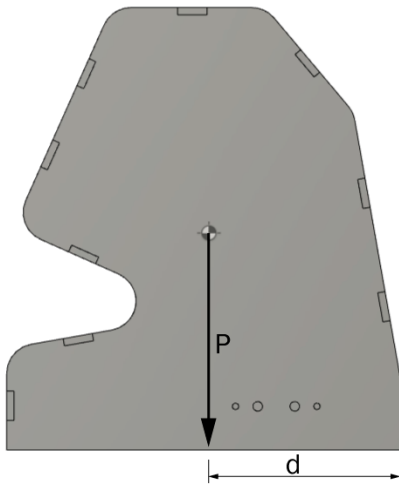


Figura 144: Perfil de la tolva junto a su centro de gravedad  
Elaboración propia

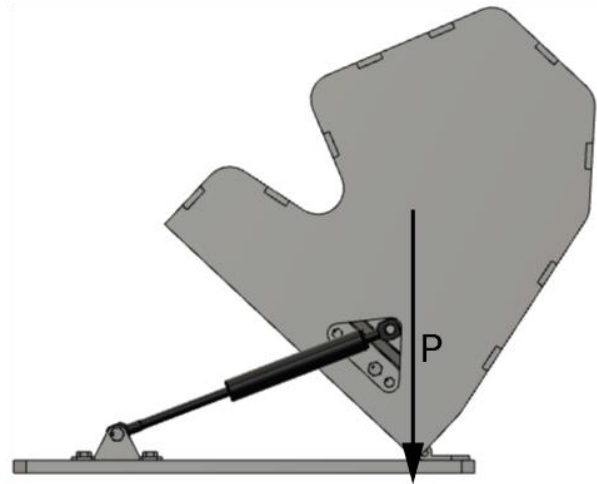


Figura 144: Tolva en posición abierta. Elaboración propia.

Obviamente, la robustez del amortiguador deberá ser menos que dicho peso, ya que sino levantaría la tolva siempre. Por ello, se ha considerado suficiente escoger un amortiguador de 10N·m.

Una vez definido el peso que puede aguantar el resorte, queda definir su geometría, es decir, su longitud cuando está recogido y al final de su carrera.

Haciendo unas relaciones trigonométricas muy sencillas se llegó a la definición de un amortiguador de longitud máxima 225 mm y una carrera de 70mm.





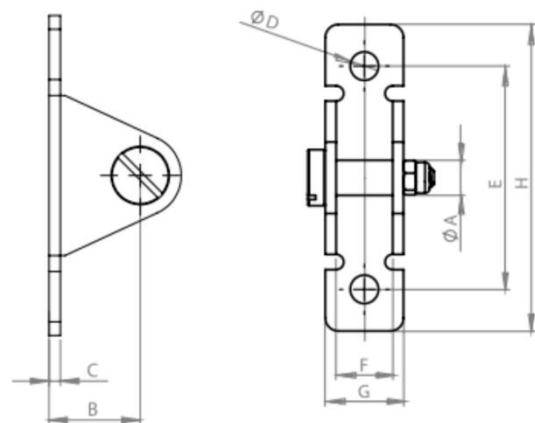
Figura 145. Amortiguador. Elaboración propia.

Debido a la propia geometría de la caja, los resortes deberán estar separados lateralmente de la tolva un mínimo de 15mm para no interferir con las chapas verticales que quedan por dentro de la caja. Por este motivo, los resortes se han pedido con doble final en agujero (Figura 145), y se unirán con escuadras de la empresa Camloc.

En la zona inferior, que va unida a la placa superior de la caja, se unirán a la tolva por unas escuadras en forma de U (referencia 004643), con un método de pasador (Figura 147 y Figura 146).



Figura 147. Escuadra en U.



**U BRACKETS**

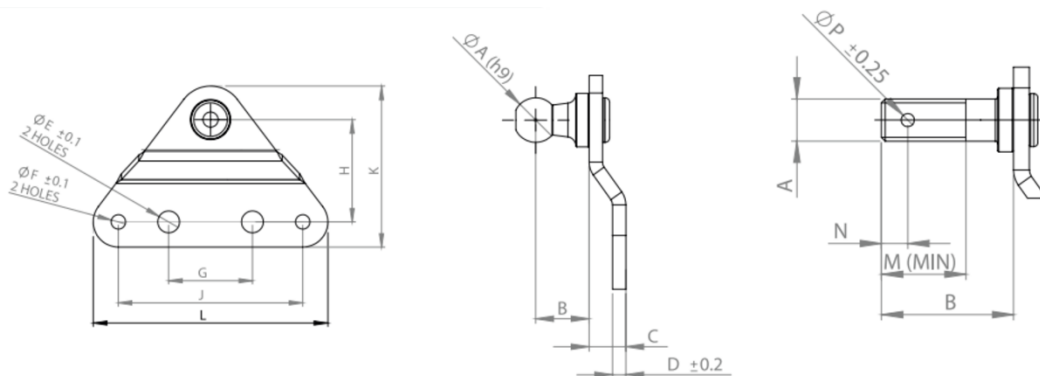
PART NO	A	B	C	D	E	F	G	H	END FITTINGS
004643	8	20	2.5	6.5	51	13	18	70	E3, F2, F4, Z2, Z4

Figura 146. Dimensiones escuadra en U.

En la zona superior, que va unida a la tolva, se emplearán unas escuadras planas que acaban en perno roscado (referencia 004266). Se unirán con un sistema de tuerca y arandela (Figura 148 y Figura 149).



Figura 148. Escuadra plana.



**FLAT BRACKETS**

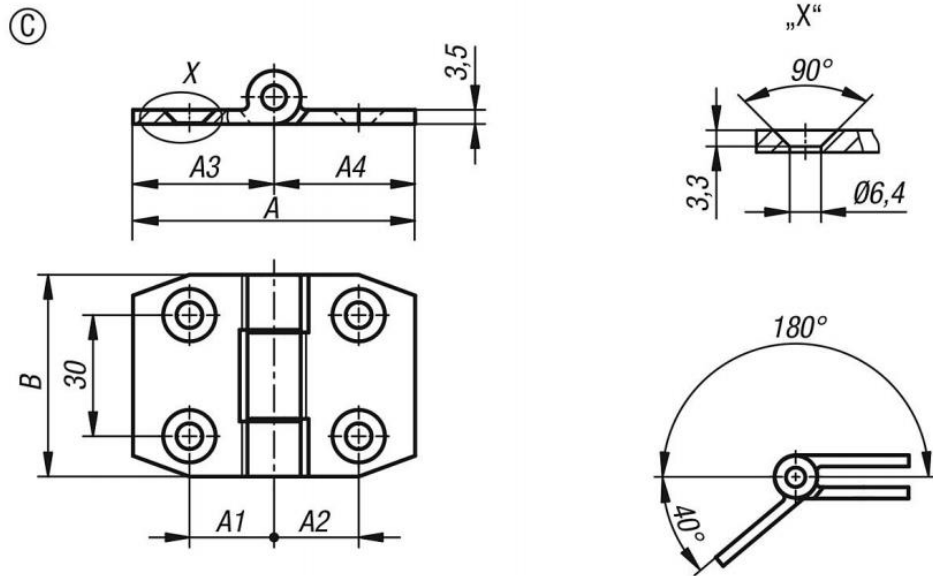
PART NO	ALTERNATIVE	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	END FITTINGS
004262	BALL PIN	10	12	8	3	6.5	4.3	25	30	55	47.5	70	-	-	-	B8, P8, P9
004696	BALL PIN	10	12	8	3	6.5	6.6	25	30	55	47.5	70	-	-	-	B8, P8, P9
004266	THREADED PIN M8x1.25	25	8	3	6.5	4.3	25	30	55	47.5	70	16	5	2.5		E3,F2,F4,Z2,Z4

Figura 149. Medidas escuadra plana.

La tolva tendrá dos bisagras en la parte posterior, que permitirán la apertura de esta en el caso de que se necesite abrirla por algún posible atasco. Estas bisagras irán unidas con unos tornillos avellanados y con tuercas en la parte que quede contra la tolva. Se compararán a Norelem, con referencia: 27898\_C Bisagras de acero, sin mantenimiento, forma C (Figura 150 y Figura 151).



Figura 150. Bisagra.



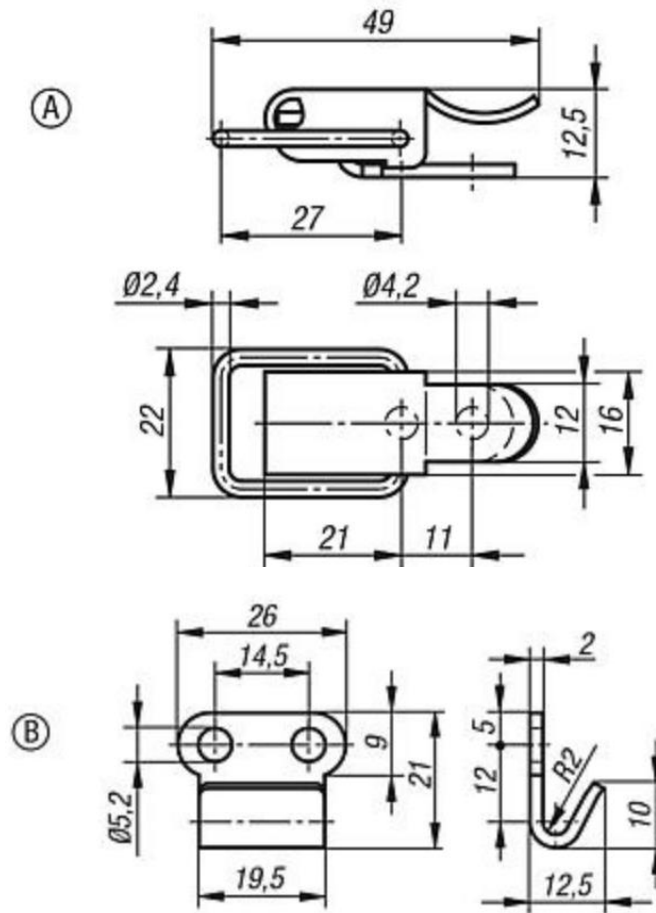
Referencia	Forma	A	A1	A2	A3	A4	B
27898-06353550	C	70	21	21	35	35	50

Figura 151. Medidas bisagra.

Así mismo llevará un cierre de tipo micel de Norelem con referencia: 05531 Cierres acodados con brida de sujeción (Figura 152 y Figura 152). Este tipo de cierres se caracteriza por un rebasamiento del punto muerto y así se mantienen libres de vibraciones. Se ha mirado también su fuerza de retención, que deberá ser adecuada para soportar los 100 Nm de los resortes de gas.



Figura 152. Cierre acodado.



**Cierres acodados con brida de sujeción**

Referencia Acero	Referencia Acero inoxidable	Forma	Fuerza de retención F1 N
05531-1420491	05531-1420492	A	250
05531-2320621	05531-2320622	B	300

**Placa de retención**

Referencia Acero	Referencia Acero inoxidable	Forma
05526-91420141	05526-91420142	A
05531-92520211	05531-92520212	B
05531-93430481	05531-93430482	C
05531-94450601	05531-94450602	D

Figura 153. Dimensiones del cierre.

Respecto al cuadro eléctrico, se diferenciará la parte mecánica de la parte eléctrica. La parte mecánica se encargará de acoplar los componentes eléctricos al bastidor. Para información más detallada sobre las conexiones eléctricas a realizar, ver el apartado 7.2.1.

**7.9.1. ELEMENTOS NORMALIZADOS: TORNILLERÍA**

Para realizar el montaje de todas las partes mencionadas en previos apartados, se van a emplear diferentes tipos de elementos normalizados.

Como los rodamientos, engranajes y acople ya se han explicado en sus correspondientes apartados, no se incluirán de nuevo. Tampoco se incluirá la perfilería.

Los elementos normalizados se han calculado y buscado siguiendo las siguientes normas:

- DIN EN ISO 4032 / DIN 934 / DIN EN 24032: Tuercas hexagonales normales, tipo 1.
- DIN EN ISO 7089 A / DIN 125: Arandelas planas. Serie normal. Producto de clase A.
- DIN EN ISO 4017 / DIN 933: Tornillos de cabeza hexagonal. Productos de clases A y B.
- ISO 4161 / DIN 6923: Tuerca hexagonal autoblocante.
- UNE EN ISO 7091 / DIN 126: Arandela plana sin chaflán.
- UNE EN ISO 4762 / DIN 912: Tornillo de cabeza cilíndrica con hexágono interior.
- DIN 975: Varilla roscada milimétrica.
- DIN 1804: Tuercas con ranura.
- DIN 6885: Chavetas paralelas.
- UNE EN ISO 10642 / DIN 7991: Pernos Allen avellanados milimétricos.

A continuación, se va a incluir una tabla con los elementos normalizados utilizados. Estos irán clasificados por conjuntos o subconjuntos y según las piezas que unan o afecten.

<b>ENSAMBLAJE GENERAL</b>		
DESCRIPCIÓN	PIEZA/S	CANT
Tuerca ISO 4032 M12 - 8	Caja - Chapón común	10
Arandela ISO 7089 - 12 - 200HV	Caja - Chapón común	10
Tornillo ISO 4017 M5 x 12 - 8.8	Cierre - Tolva - Caja	4
Tuerca ISO 4032 M5 - 8	Cierre - Tolva	2
Tornillo DIN 7991 M6 x 12 - 8.8	Tolva - Caja - Bisagra	8
Tuerca ISO 4032 M6 - 8	Tolva - Bisagra	4
Tornillo ISO 4017 M6 x 16 - 8.8	Resorte - Caja - Escuadra U	4
Tornillo ISO 4017 M6 x 12 - 8.8	Resorte - Tolva - Escuadra plana	4
Tornillo ISO 4017 M4 x 12 - 8.8	Resorte - Tolva - Escuadra plana	4
Tuerca ISO 4032 M8 - 8	Resorte - Tolva - Escuadra plana	4
Tornillo ISO 4017 M14 x 45 - 10.9	Motor - Chapón común	4
Tuerca ISO 4161 M14 - 10	Motor - Chapón común	4
Arandela ISO 7089 - 14 - 200HV	Motor - Chapón común	4
<b>ENSAMBLAJE CAJA</b>		
DESCRIPCIÓN	PIEZA/S	CANT
Tornillo ISO 4017 - M10 x 30 - 8.8 x8	Caja - Rejillas	8
Tuerca ISO 4032 M10 - 8	Caja - Rejillas	8
Arandela ISO 7089 - 10 - 200 HV	Caja - Rejillas	8
Arandela DIN 126 - 17.5	Rodamientos - Caja	12
Tornillo DIN 912 M16 x 35	Rodamientos - Caja	8
Tornillo DIN 912 M16 x 25	Rodamientos - Caja	4
<b>CAJA</b>		
DESCRIPCIÓN	PIEZA/S	CANT
Tornillo Allen DIN 912 M6 x 12 - 8.8	Ventana de engranajes - Caja	6
Varilla roscada DIN 975 M12 x 330 - 8.8 x10	Placa superior caja - Placa inferior caja - Chapón común	10
Tuerca DIN 934 M12 - 8.8 x10	Varillas - Caja	10
Arandela DIN 126 M12 - 8.8 x10	Varillas - Caja	10
<b>EJE CORTO</b>		
DESCRIPCIÓN	PIEZA/S	CANT
Tuerca con ranura DIN 1804 M50 x 1.5	Eje corto	2
Chaveta paralela DIN 6885 A 14 x 9 x 70	Eje corto	1
<b>EJE LARGO</b>		
DESCRIPCIÓN	PIEZA/S	CANT
Tuerca con ranura DIN 1804 M50 x 1.5	Eje largo	2
Chaveta paralela DIN 6885 A 14 x 9 x 70	Eje largo	1
Chaveta paralela DIN 6885 A 14 x 9 x 30	Eje largo	1
<b>BASTIDOR</b>		
DESCRIPCIÓN	PIEZA/S	CANT
Tornillo DIN 7991 M8 x 40	Placa inferior bastidor - Perfilería	20
Tornillo DIN 7991 M8 x 30	Chapón común - perfilería	26
Tornillo DIN 7991 M12 x 20	Chapón común - perfilería	4
Escuadra 43x43x43	Perfilería	18
Tuerca hexagonal ISO 4161 M8 - 8	Perfilería - Escuadras	36
Tornillo cabeza martillo M8 x 20 - 8.8	Perfilería - Escuadras	36
Conector cabeza redonda canal 10mm x30	Perfilería	30
Pie antivibratorio con rotula Ø80 M12 x 100 x6	Perfilería	6

Tabla 18. Elementos normalizados.

## 8. MATERIALES

A la hora de elegir los materiales de las diferentes piezas que forman Spiker, se ha procurado mantener un equilibrio entre calidad y precio, eligiendo materiales de mayores prestaciones técnicas solo en componentes que se han considerado oportunos durante el diseño.

En este apartado se van a excluir los materiales de comerciales, acople y perfilaría, ya que estos han sido especificados en los apartados 7.1.3. Colocación de cuchillas sobre eje, 7.8. Bastidor y 7.9. Montaje.

La mayor parte de las piezas se van a fabricar en acero F-112 según norma UNE 36011. Se ha elegido este acero al carbono ya que tiene una resistencia media y buena tenacidad, adecuado para las piezas que no van a sufrir grandes esfuerzos durante el funcionamiento de Spiker y por su bajo coste [63].

Otra de las propiedades que también se ha tenido en cuenta para la elección de este material es su fácil soldabilidad, ya que como se ha mencionado en los apartados 7.6. Rejillas y 7.7. Tolva, va a ser la forma de unión de estas piezas. Además, su fácil plegado admite las formas ergonómicas de la tolva.

Para piezas que van a requerir mayores solicitaciones, se va a utilizar el acero al carbono F-114 según norma UNE 36011. Al tener mayor porcentaje de carbono en su composición, se suelda peor que el F-112, por esto y por su mayor coste en comparación con este, se va a utilizar solo en el eje y en las cuchillas de Spiker [64]. Como ya se ha explicado en los apartados 7.1.1. Ejes y 7.1.2. Cuchillas, la correcta fabricación de estas piezas va a ser imprescindible para un buen funcionamiento de la máquina y ampliar el ciclo de vida de esta.

Por lo mencionado anteriormente, tanto el eje largo como el eje corto van a ser mecanizados de un bruto hexagonal de F-114, material al que se va a aplicar el tratamiento de temple y revenido. Este tratamiento se realiza para eliminar las posibles tensiones internas que puedan haber quedado en el proceso de enfriamiento del material y para mejorar sus propiedades mecánicas [65].

Las cuchillas también van a ser de acero F-114, pero en este caso no van a llevar tratamiento debido a dos motivos. Primero, al aplicarle un tratamiento térmico, se comprometería la planicidad entre caras. Segundo, como se ha calculado en el apartado 7.4.1, sus propiedades mecánicas son suficientes para el uso que se les va a dar. Debido a la gran cantidad de cuchillas, tomar esta decisión permite que el coste del proyecto no se vea incrementado tanto.

Por último, la ventana a la zona de los engranajes (01-01-12) tiene que ser de un material transparente, o como mínimo, lo suficientemente translúcido para poder ver la zona de los engranajes y de los rodamientos internos. Esta característica es imprescindible para que realice su función. También es necesario que sea lo suficientemente blando para que se pueda mecanizar, taladrar y roscar y lo suficientemente duro para que no se doble ni se agriete con facilidad.

Teniendo en cuenta lo ya mencionado, barajando entre las infinitas opciones del mercado al final se ha optado por el Polimetilmetacrilato o PMMA. El PMMA es un polímero termoplástico cuya principal característica es su alta transparencia. Destaca su resistencia a los rasguños y por esto se considera una alternativa al cristal más ligera. Además, se le pueden realizar diversos tratamientos, por ejemplo, para aumentar la resistencia a impactos, lo que nos da opciones de mejorar esta pieza si una vez testada se considerase necesario [66]. Debido a esto, tiene la estética deseada combinada con las propiedades mecánicas que se buscan.

A continuación, se va a incluir una tabla con las piezas ordenadas por subconjuntos y por número de plano, incluyendo su material, tratamiento, espesor de la placa y la cantidad que se va a fabricar de las mismas.

Nº DE PLANO	MATERIAL	TRATAMIENTO	ESPESOR PLACA (mm)	CANTIDAD
00-00-00	Ensamblaje general			
01-00-00	Conjunto	Ensamblaje caja		1
Caja: 01-01-00	Sub-conjunto			1
P: 01-01-01	F-112	SIN TRAT.	10	1
P: 01-01-02	F-112	SIN TRAT.	10	1
P: 01-01-03	F-112	SIN TRAT.	10	1
P: 01-01-04	F-112	SIN TRAT.	10	1
P: 01-01-05	F-112	SIN TRAT.	10	1
P: 01-01-06	F-112	SIN TRAT.	10	1
P: 01-01-07	F-112	SIN TRAT.	10	1
P: 01-01-08	F-112	SIN TRAT.	10	1
P: 01-01-09	F-112	SIN TRAT.	10	1
P: 01-01-10	F-112	SIN TRAT.	10	1
P: 01-01-11	F-112	SIN TRAT.	5	1
P_ 01-01-12	PMMA TRANSPARENTE	SIN TRAT.	3	1
P: 01-01-13	F-112	SIN TRAT.	5	1
Eje corto: 01-02-00	Sub-conjunto			1
P: 01-02-01	F-114	SIN TRAT.	6	2
P: 01-02-02	F-114	SIN TRAT.	6	1



P: 01-02-03	F-114	SIN TRAT.	6	1
P: 01-02-04	F-114	SIN TRAT.	6	1
P: 01-02-05	F-114	SIN TRAT.	6	1
P: 01-02-06	F-114	SIN TRAT.	6	1
P: 01-02-07	F-114	SIN TRAT.	6	1
P: 01-02-08	F-114	SIN TRAT.	6	1
P: 01-02-09	F-114	SIN TRAT.	6	1
P: 01-02-10	F-114	SIN TRAT.	6	1
P: 01-02-11	F-114	SIN TRAT.	6	1
P: 01-02-12	F-114	SIN TRAT.	6	1
P: 01-02-13	F-114	SIN TRAT.	4	2
P: 01-02-14	F-114	SIN TRAT.	4	1
P: 01-02-15	F-114	SIN TRAT.	4	1
P: 01-02-16	F-114	SIN TRAT.	4	1
P: 01-02-17	F-114	SIN TRAT.	4	1
P: 01-02-18	F-114	SIN TRAT.	4	1
P: 01-02-19	F-114	SIN TRAT.	4	1
P: 01-02-20	F-114	SIN TRAT.	4	1
P: 01-02-21	F-114	SIN TRAT.	4	1
P: 01-02-22	F-114	SIN TRAT.	4	1
P: 01-02-23	F-114	SIN TRAT.	4	1
P: 01-02-24	F-114	SIN TRAT.	4	1
P: 01-02-25	F-112	SIN TRAT.	4	17
P: 01-02-26	F-112	SIN TRAT.	2.5	28
P: 01-02-27	F-112	SIN TRAT.	2	13
P: 01-02-28	F-114	TEMPLE Y REVENIDO	-	1
Eje largo: 01-03-00	Sub-conjunto			1
P: 01-03-01	F-114	SIN TRAT.	6	14
P: 01-03-02	F-114	SIN TRAT.	4	13
P: 01-03-03	F-112	SIN TRAT.	4	14
P: 01-03-04	F-112	SIN TRAT.	2.5	26
P: 01-03-05	F-112	SIN TRAT.	2	12
P: 01-03-06	F-112	SIN TRAT.	1	1
P: 01-03-07	F-112	SIN TRAT.	6	2
P: 01-03-08	F-114	TEMPLE Y REVENIDO	-	1
Rejilla pequeña: 01-04-00	Sub-conjunto			1
P: 01-04-01	F-112	SIN TRAT.	2.5	2
P: 01-04-02	F-112	SIN TRAT.	2.5	2
P: 01-04-03	F-112	SIN TRAT.	2.5	1

P: 01-04-04	F-112	SIN TRAT.	2.5	2
Rejilla grande: 01-05-00	Sub-conjunto			1
P: 01-05-01	F-112	SIN TRAT.	2.5	2
P: 01-05-02	F-112	SIN TRAT.	2.5	2
P: 01-05-03	F-112	SIN TRAT.	2.5	1
P: 01-05-04	F-112	SIN TRAT.	2.5	2
Cuchillas fijas: 01-06-00	Sub-conjunto			1
P: 01-06-01	F-112	SIN TRAT.	1	1
P: 01-06-02	F-112	SIN TRAT.	2	1
P: 01-06-03	F-112	SIN TRAT.	2.5	1
P: 01-06-04	F-112	SIN TRAT.	4	1
P: 01-06-05	F-112	SIN TRAT.	4	27
P: 01-06-06	F-112	SIN TRAT.	6	29
P: 01-06-07	F-112	SIN TRAT.	6	1
P: 01-07-00	F-112	SIN TRAT.	5	4
P: 01-08-00	F-112	SIN TRAT.	2	6
P: 01-09-00	F-112	SIN TRAT.	1	8
P: 01-10-00	F-112	SIN TRAT.	1	10
02-00-00	Conjunto Soldado	Tolva		1
P: 02-01-00	F-112	SIN TRAT.	5	2
P: 02-02-00	F-112	SIN TRAT.	5	1
P: 02-03-00	F-112	SIN TRAT.	5	1
P: 02-04-00	F-112	SIN TRAT.	5	1
03-00-00	F-112	SIN TRAT.	2.5	1
04-00-00	F-112	SIN TRAT.	15	1
05-00-00	Conjunto	Bastidor		1
P: 05-01-00	F-112	SIN TRAT.	20	1
P: 05-02-00	F-112	SIN TRAT.	20	5

Tabla 19: Materiales, tratamiento y cantidad de piezas.

## 9. MANTENIMIENTO

El objetivo del mantenimiento de Spiker es reducir las fallas y alargar el ciclo de vida lo máximo posible, así como garantizar el buen funcionamiento de la máquina durante la duración de este. Se centrará el mismo en los rodamientos, los engranajes y la zona de corte, ya que se consideran las zonas críticas de la trituradora.

### 9.1. RODAMIENTOS

Siendo el mantenimiento preventivo *“Encontrar y corregir los problemas menores antes de que estos provoquen fallas.”* [67], sobre el mantenimiento de los rodamientos lo primero que habrá que hacer será su correcto montaje. Esto evitará fricción y vibraciones producidas por una mala alineación, en este caso, con el eje. Otros dos factores importantes son la lubricación y monitorizar el estado de los rodamientos periódicamente. En el caso de que los rodamientos lleguen al final de su ciclo de vida habrá que desmontarlos de forma adecuada para evitar problemas en la zona de contacto y que el rodamiento sustituto no se coloque sobre un eje dañado [61].

A la hora del diseño ya se ha tenido en cuenta el fallo a fatiga, dimensionando adecuadamente los rodamientos, y la minimización de la entrada de polvo, tapando la zona funcional lo máximo posible. Así se eliminan dos de las principales causas de problemas en rodamientos. De la misma forma, mientras el rodamiento esté realizando su función de manera óptima, no se procederá a volver a engrasarlo.

- **Montaje:** según SKF el rodamiento escogido se montará en frío. Tradicionalmente esto se hace con un martillo y un trozo de tubo. Se decide hacerlo de esta forma y no con calor para evitar posibles contaminaciones que dañen el rodamiento.
- **Desmontaje:** se hará con uso de calor, de esta forma se alivian tensiones y se reduce la fuerza a aplicar. En el caso del desmontaje la contaminación del rodamiento no es importante ya que se va a retirar de la máquina. De esta forma se evitan daños sobre el eje. Se propone utilizar herramientas por aplicación de calor de la **Serie TIH** de SKF, pero cualquier herramienta similar cumpliría el objetivo.
- **Lubricante:** Se recomienda el lubricante **LGFQ 2** [60] del catálogo de SKF. Se ha elegido este lubricante teniendo en cuenta que su temperatura constante de uso va a ser inferior a 35°C, el diámetro del eje va a ser inferior a 100mm y que tiene buenas propiedades antioxidantes. Es aconsejable utilizar guantes anti-grasa desechables para la lubricación a mano.

## 9.2. ENGRANAJES

Para mantener los engranajes en buen estado se verificará que estén suficientemente engrasados, programándose inspecciones regulares para vigilar los posibles daños por contacto que pudiesen ocurrir. Así mismo, habrá que vigilar que el lubricante no esté contaminado.

Pensando evitar contaminaciones, se ha diseñado Spiker con una tapa de plástico PMMA transparente que encapsula los dos engranajes y dos de los seis rodamientos. Se puede acceder a la zona desatornillando los tornillos que la sujetan. Para su buen montaje se han tenido en cuenta tolerancias en el sistema eje-agujero. Así mismo se han realizado cálculos a flexión y cálculos a fatiga para evitar picaduras, desprendimientos o roturas.

Se recomienda utilizar un **aceite sintético** ya que aporta numerosas ventajas como ampliar los intervalos de cambio del aceite, aumentar la protección ante el desgaste, mejorar el arranque en frío, etc. Con este tipo de lubricante se reduce la posibilidad de parada de la máquina con todos los beneficios que esto supone [68].

## 9.3. REDUCTOR

Siguiendo las recomendaciones del fabricante escogido para el reductor corona- sinfín, será necesario efectuar un cambio de aceite pasadas las 50.000 horas de funcionamiento. También recomiendan efectuar una limpieza a la zona de engrane cuando se efectúe el cambio de aceite.

Advierten de no mezclar lubricantes sintéticos con lubricantes minerales.

El lubricante recomendado es GLYGOYLE 30, un aceite sintético.

El acople entre el motor y la caja reductora también deberá estar engrasada. En este caso, el lubricante recomendado es MOBILUX EP3. [69]

## 9.4. ZONA DE CORTE

Es importante un mantenimiento regular de la zona de corte de Spiker (incluyendo cuchillas, ejes y rejillas) ya que realiza la función principal de la máquina.

Se recomienda revisar la zona de las rejillas con frecuencia para controlar posibles atascos con trozos de plástico, así como la limpieza de residuos o polvo entre cuchillas y separadores.

## 9.5. EQUIPO ELÉCTRICO

Será muy recomendable hacer un mantenimiento preventivo de la aparamenta eléctrica. Para ello, se recomienda hacer limpiezas periódicas al motor y demás componentes, retirando posibles virutas de plástico triturado o polvo. Prestar especial atención a la caja de bornes de la conexión del motor.

Tal y como se mencionó en la sección 9.1, el motor también consta de unos cojinetes. En caso de detectar ruido excesivo o vibraciones, puede que sea necesario cambiar los rodamientos del motor.

Por otro lado, será necesario comprobar periódicamente el correcto funcionamiento de las protecciones eléctricas, como puede ser el interruptor diferencial o el magnetotérmico, además del pulsador de emergencia u otros interruptores presentes en la máquina. De esta forma, se verificará que los aislamientos y la puesta a tierra cumplen su función.

## 9.6. HERRAMIENTAS NECESARIAS

Para realizar un buen mantenimiento de todo lo mencionado anteriormente, se necesitará el siguiente equipo, que se podrá sustituir por herramientas similares que desempeñen la misma función:

- Llave inglesa: o en su defecto llave fija o carraca.

Llave fija de 17 (para M10) a la hora de desmontar las rejillas.

Llave fija de 19 (para M12) para las varillas de la caja.

Llave fija de 24 (para M16) para el anclaje del motor-reductor.

Llave Allen de 5 (para M6) para desmontar la cubierta transparente de la zona de los engranajes.

Llave Allen de 14(para M16) para los rodamientos.

- Martillo y trozo de tubo para el montaje de los rodamientos.
- Herramienta de aplicación de calor serie TIH para el desmontaje de los rodamientos.
- Lubricante LGMT 3 para los rodamientos.
- Lubricante GLYGOYLE 30 para el reductor.
- Aceite sintético para los engranajes.
- Guantes anti-grasa desechables.
- Herramientas para limpieza de polvo de la máquina.
- Llave de gancho para tuerca ranurada
- Caja de herramientas (Destornilladores/Limas...)



## 10. CONCLUSIONES Y LINEA FUTURA

Al comienzo del proyecto se fijaron unos objetivos a lograr (Sección 3). A continuación se van a resumir los objetivos y valorar el grado de cumplimiento.

Se ha realizado un completo estudio de mercado, búsqueda de patentes y investigación sobre productos hechos con HDPE.

Se ha efectuado el estudio de empresas locales, tanto de talleres de mecanizado, corte láser y otros proveedores.

Se han adoptado las correspondientes hipótesis para posteriormente ejecutar una correcta verificación de los componentes.

Se ha concebido un primer diseño, el cual sentó las bases para el posterior diseño final, que constituirá Spiker.

La totalidad del proyecto se ha ceñido a la normativa vigente a nivel nacional, aportando su correspondiente marcado CE, evaluación de riesgos y estudio básico de seguridad y salud. Además, se ha asegurado el cumplimiento del reglamento electrotécnico de baja tensión.

Se ha adaptado el modelo a las limitaciones que presentaba el sector local. De esta forma, se han combinado los conocimientos del estado de la técnica con las posibilidades ofrecidas por la industria para ofrecer la solución final de Spiker.

Se ha realizado el modelado 3D, planos y toda la documentación necesaria para su fabricación. Además, se ha realizado su ensamblaje real con el objetivo de comprobar si la documentación aportada es correcta. No solamente se ha creado un producto funcional, sino que se ha aportado toda la documentación necesaria para su correcto montaje y funcionamiento.

Durante todo el proyecto se ha mantenido un contacto continuo con los talleres y suministradores.

Se ha cubierto satisfactoriamente la posibilidad de industrialización del producto, diseñando una imagen corporativa y generado ciertas imágenes del producto final. Así mismo, se ha realizado un presupuesto industrial, donde se pueden ver reflejados los costes y posible precio de venta al público.

Se ha tenido en cuenta que el comportamiento de Spiker dependerá de otras máquinas, ya que, como se mostró en la Figura 2, la trituradora será la primera máquina en el ciclo de reciclado propuesto. Por ello, esta ha de ser flexible en cuanto al tamaño de granza generado. Gracias a las rejillas y a las dos zonas diferentes de corte, este objetivo se ve cumplido.

Por último, se considera que la trituradora cumple satisfactoriamente con el enfoque que se le dio en un principio, siendo este destinado a pequeñas comunidades o barrios.

A la vista de las conclusiones expuestas, se puede afirmar que Spiker ha cumplido con los requisitos propuestos.

Durante el proceso de fabricación de Spiker, han surgido varios contratiempos, dando lugar a una reflexión y ofrecer aspectos a mejorar. Por ello, se expondrán una serie de conclusiones, además de ofrecer ciertos cambios para solventarlos.



## 10.1. CONCLUSIONES SOBRE FABRICACIÓN

Al inicio de este proyecto, se propuso una idea aparentemente sencilla, que consistía en hacer un estudio de mercado y combinar componentes ya implementados en otras máquinas.

Sin embargo, concebir una máquina en su totalidad supone de muchas horas invertidas. El objetivo, hacer que dicha combinación de componentes casara perfectamente.

En primer lugar, se afrontó el reto desde el software de diseño, creando el ensamblaje con herramientas CAD. También para la elaboración de planos, cálculos u otras tareas complejas, se usaron diferentes programas informáticos. Para más información sobre estos, acudir a el documento de anejos.

Posteriormente, a la hora de fabricar Spiker, surgieron diversas dificultades e imprevistos dificultando la ejecución del proyecto. Esto ha sido una motivación para modificar ciertos puntos, además de redactar una posible línea de acción mejorar ciertas zonas de la máquina.

A continuación, se exponen algunos de los contratiempos más relevantes a la hora de ensamblar y fabricar sus diferentes partes.

En primer lugar, el taller de mecanizado encargado de mecanizar el eje cometió un error al mecanizar un chavetero. Esto hizo imposible que el engranaje que se acoplaba a la chaveta quedase alojado dentro de la caja, como se supuso en el diseño.



Figura 154: Error de mecanizado del eje. Elaboración propia.

También hubo sendos fallos por parte de la empresa a la que se encargó el corte laser.

Puesto que las dos paredes laterales de la caja son muy similares (01-01-03 y 01-01-04), el encargado de mandar la orden a la máquina hizo dos veces la misma pieza.



Figura 155: Placa 01-01-03 fabricada 2 veces por error. Elaboración propia.

Además, en un lote de separadores, concretamente en la pieza (01-02-25), ejecutaron el corte sobre un espesor de chapa incorrecto, reemplazando su correcto espesor de 4mm por otro de 2,5mm. Esto conlleva que falten piezas imprescindibles para el correcto ensamblaje de la caja.

Al ser una gran cantidad de cuchillas similares en el eje corto, y debido a que mayoritariamente había que fabricar una unidad de cada, omitieron la segunda unidad de dos cuchillas (01-02-01 y 01-02-13). Así mismo pasó con la pieza lateral de la tolva. Estas piezas faltaron en el primer envío.

En el chapón general (05-01-00), omitieron ciertas especificaciones del plano, ya que hicieron una versión anterior que no las tenía actualizadas. Esto supuso que la alineación del eje de salida del reductor con la caja quedase

desplazada. Además, faltaban cuatro agujeros por donde pasar las varillas que comprimen la caja. Por último, no incluía ningún avellanado para su respectiva tornillería. Esto imposibilitaba el acople entre la chapa y el bastidor.

Un último fallo fue el plegado de la pieza 01-05-04 (malla de 14mm), la cual se dobló por el eje de simetría incorrecto. Debido a esto, el montaje de la rejilla grande se vio retrasado, ya que la empresa de corte laser externaliza las tareas de plegado.



Figura 156: Rejilla plegada por el eje erróneo. Elaboración propia.

A la vista de las piezas recibidas, se ha observado que las tolerancias geométricas no han sido respetadas en su totalidad. Esto ha dificultado mucho el montaje, requiriendo de gran cantidad de horas de mano de obra directa ajustando el ensamble.

Todo lo mencionado anteriormente retrasó el plazo de fabricación de Spiker.

Sin embargo, todos estos inconvenientes se han tenido en cuenta y se van a citar las correspondientes modificaciones para intentar solventar los mismos. Siempre quedarán ciertos fallos incontrolables.

En caso de querer replicar la máquina Spiker, a continuación se expondrán posibles puntos de mejora.

## 10.2. LÍNEA FUTURA

Como se comentó en la introducción de esta memoria, Spiker sienta los cimientos de un proyecto más general, destinado a la recuperación de desechos plásticos dándoles una segunda vida útil.

Por ello, habrá que seguir desarrollando el resto de los componentes mostrados en la *Figura 2*.

Como ya se comentó en la sección 2.3, habrá que definir el destino final del plástico triturado. Según la aplicación, se optará por destinar el material a una extrusora, a una inyectora, etc.

A la vista de todos los contratiempos expuestos en la sección anterior, se van a proponer ciertos puntos de mejora en el diseño. Por ejemplo, para evitar el problema ocurrido en la fabricación de los espaciadores, una buena práctica sería estandarizar más sus espesores.

Para quitar las dos cuchillas iguales de seis filos, habría que reducir un poco el tamaño de la zona de corte y, de esta forma, bastaría con una cuchilla de cada tipo.

En relación con esta reducción de tamaño, las rejillas inferiores deberían ser modificadas. Sería ideal que las chapas fuesen cuadradas, para evitar así fallos en el plegado.

En la aplicación real, una vez puesta en marcha la máquina y comprobado el rendimiento de corte, se podrán cambiar ciertos elementos hasta dar con la configuración de corte óptima. Esto es posible gracias a la geometría del eje y las cuchillas, ya que pueden ser reemplazados por otras.

En caso de querer aumentar el factor de seguridad de las cuchillas, se considerará realizar un tratamiento sobre las mismas. Si esto no fuese suficiente, habría que replantear la geometría de las cuchillas. Destacar que con los tratamientos térmicos las tolerancias de planitud pueden verse afectadas, y, en caso de ser respetadas, el coste de las piezas se verá aumentado.

Puesto que los engranes tiene diferente número de dientes, estos podrían ser intercambiados, quedando el giro del eje motriz algo más lento que el del eje conducido.

En relación con obtener la configuración de corte óptima, el variador será ideal para esto, ya que dará control absoluto sobre la velocidad de giro de los ejes.

Una mejora funcional a través del variador puede ser añadir un autómata externo que, según las salidas del variador de frecuencia, tome unas consignas u otras. Por ejemplo, si recibe una señal de que el par entregado es casi nulo y la intensidad consumida muy elevada, el automatismo podría hacer que el variador cambie el sentido de giro de los ejes u otra opción que se considere adecuada. El controlador tiene gran cantidad de parámetros y configuraciones, por ello, el abanico de opciones será muy amplio.

A la vista de la Figura 157, se puede observar que la posición del motor encima del chapón ocupa espacio útil que podría ser destinado a otros propósitos. Además, no queda muy estético. Para solucionar este problema, se puede buscar otro tipo de anclaje del motor-reductor, en el cual, este quede ensamblado por la parte inferior de la chapa común.

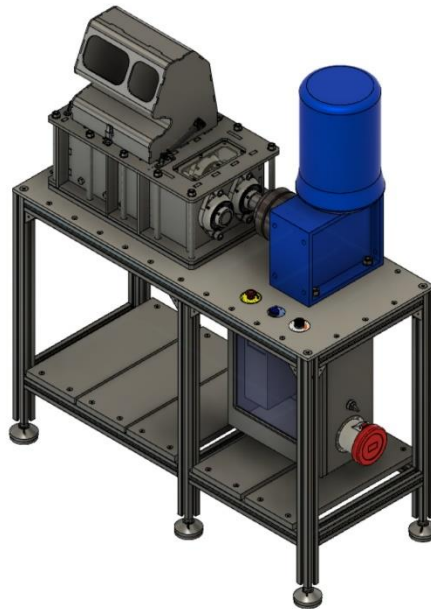


Figura 157: Spiker, la trituradora de plásticos. Elaboración propia

Para aumentar la seguridad de la máquina, una buena práctica sería incluir sensores al final del recorrido de la tolva. De esta forma, se asegura que la máquina no pueda funcionar si la tolva estuviese levantada y evitar así posibles accidentes del usuario.

Otra mejora puede ser añadir una báscula de pesaje sobre la que se colocará el recipiente donde cae la granza de la trituradora. De esta forma, el usuario puede saber cuánto material ha aportado y, en función de eso, tener acceso a ciertos productos terminados. En la Tabla 1 se mostró una posible clasificación de recompensas según la cantidad de material aportado.

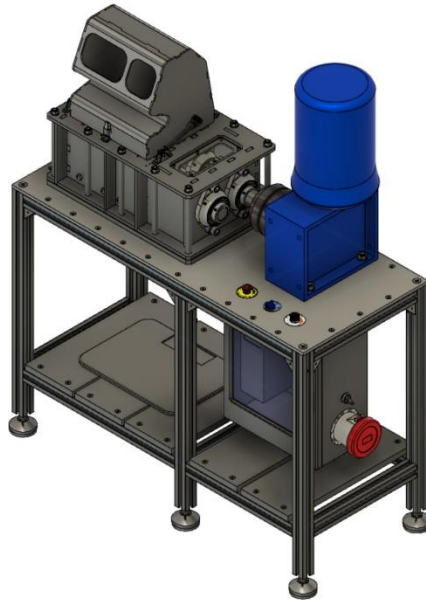


Figura 158: Ubicación de la báscula en Spiker. Elaboración propia

La aplicación del ciclo de reciclado que propone este proyecto podría ser destinado a centros de menores o similares. De esta forma, todo aquel que se vea involucrado en el proceso, obtendrá un grado de satisfacción elevado, al conseguir transformar un producto ‘residual’ en otro funcional.

# 11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «La ONU advierte de que sólo el 9 % del plástico usado en el mundo se recicla,» *EFE*, 2019.
- [2] «Mar de plásticos: cuánto plástico hay en el mar y los océanos,» Fundación Aquae, 2019. [En línea]. Available: <https://www.fundacionaquae.org/mar-de-plasticos/> [Último acceso: 12 2019].
- [3] «Plastics Europe,» 2018. [En línea]. Available: [https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics\\_the\\_facts\\_2018\\_AF\\_web.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf). [Último acceso: 12 2019].
- [4] «3R3D,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.3r3dtm.com/producto/hdpe-lupolen-3d-filament>. [Último acceso: 20 12 2019].
- [5] «Project Lia,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.projectlia.org/>. [Último acceso: 06 12 2019].
- [6] «Filastruder,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.filastruder.com>. [Último acceso: 20 12 2019].
- [7] «Partes Filastruder Kit,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.filastruder.com/collections/filastruders-accessories/products/filastruder-kit?variant=33812612>. [Último acceso: 20 12 2019].
- [8] «Precious Plastics,» 2019. [En línea]. Available: <https://preciousplastic.com>. [Último acceso: 20 12 2019].
- [9] «Máquinas de Precious Plastics,» 2019. [En línea]. Available: <https://preciousplastic.com/en/machines.html>. [Último acceso: 20 12 2019].
- [10] «Tronzadora Precious Plastics,» 2019. [En línea]. Available: <https://preciousplastic.com/en/videos/build/shredder.html>. [Último acceso: 20 12 2019].
- [11] «Extrusora Precious Plastics,» 2019. [En línea]. Available: <https://preciousplastic.com/en/videos/build/compression.html>. [Último acceso: 20 12 2019].
- [12] «Inyectora Precious Plastics,» 2019. [En línea]. Available: <https://preciousplastic.com/en/videos/build/injection.html>. [Último acceso: 20 12 2019].
- [13] «Prensadora Precious Plastics,» 2019. [En línea]. Available: <https://preciousplastic.com/en/videos/build/extrusion.html>. [Último acceso: 20 12 2019].
- [14] «3Devo,» 2019. [En línea]. Available: <https://3devo.com>. [Último acceso: 20 12 2019].
- [15] «Ciclo 3Devo,» 2019. [En línea]. Available: <https://3devo.com/our-process/>. [Último acceso: 20 12 2019].
- [16] «Extrusora de filamento 3Devo,» 2019. [En línea]. Available: <https://3devo.com/filament-makers/>. [Último acceso: 20 12 2019].
- [17] «Shr3d it shredder,» 2020. [En línea]. Available: <https://3devo.com/shred-it/>. [Último acceso: 05 01 2020].
- [18] «Polystar,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.polystarco.com/es/about\\_C03.html](https://www.polystarco.com/es/about_C03.html). [Último acceso: 07 01 2020].
- [19] «Polystar. Recicladora con cortadora y compactadora,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.polystarco.com/es/products\\_i\\_Cutter\\_integrated\\_Recycling\\_Machine.html](https://www.polystarco.com/es/products_i_Cutter_integrated_Recycling_Machine.html). [Último acceso: 07 01 2020].
- [20] «Polystar. Máquina de reciclaje con triturador,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.polystarco.com/es/products\\_i\\_Single\\_shaft\\_shredder.html](https://www.polystarco.com/es/products_i_Single_shaft_shredder.html). [Último acceso: 07 01 2020].
- [21] «Polystar. Extrusora de tres capas (ABA) HDPE,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.polystarco.com/es/products\\_i\\_Multilayer\\_blown\\_film\\_machine.html](https://www.polystarco.com/es/products_i_Multilayer_blown_film_machine.html). [Último acceso: 07 01 2020].
- [22] «Filabot Reclaimer,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.filabot.com/collections/filabot-core/products/filabot-reclaimer-1>. [Último acceso: 11 09 2020].
- [23] L. Wolfgang, «Dispositivo triturador para residuos». Patente ES2047789.
- [24] H. Bacher, «Dispositivo para la trituración de material plástico de desecho». Patente ES2272686., 2007.
- [25] J. G. Milan, «Molino triturador de material plástico». Patente ES2005355, 01 03 1989.

- [26] P. E. Gil, «Máquina trituradora y granuladora para el desmenuzado de piezas termoplásticas de grandes dimensiones». Patente ES0275857, 1962.
- [27] D. SUN, «Special Grinder for plastics». EEUU Patente US20180200723, 2018.
- [28] «Mecasinc, mecanizados de precisión. Mecanizar mediante el corte láser,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.mecanizadossinc.com/mecanizado-precision->
- [29] «Laser Ebro,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.laserebro.com> (27/01/2020). [Último acceso: 28 01 2020].
- [30] «CMO. Cortes Metalúrgicos Oviedo,» 2020. [En línea]. Available: <http://cmoviedo.com/CLON/>. [Último acceso: 27 01 2020].
- [31] «Lasercor,» [En línea]. Available: <http://www.lasercor.com> . [Último acceso: 27 01 2020].
- [32] «SFK,» [En línea]. Available: <https://www.skf.com/es>. [Último acceso: 28 01 2020].
- [33] «SKF Española,» [En línea]. Available: <https://www.skf.com/es/organisation/skf-espanola#cid-519104> . [Último acceso: 28 01 2020].
- [34] «Fasten Sistemas,» [En línea]. Available: <http://www.fasten.es> . [Último acceso: 15 02 2020].
- [35] «Fegime,» [En línea]. Available: <https://www.fegime.es/fegime>. [Último acceso: 06 02 2020].
- [36] «ABB,» [En línea]. Available: <https://new.abb.com/es/productos-y-servicios>. [Último acceso: 08 02 2020].
- [37] «RS Components,» [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/web/> . [Último acceso: 02 03 2020].
- [38] «Brammer,» [En línea]. Available: <http://cms.brammer.es> . [Último acceso: 03 03 2020].
- [39] «Maquinaria Eléctrica Bilbao,» [En línea]. Available: <http://www.mebsa.com/pdf/Catalogo-General-Motores-Trifasicos-MEB.pdf>. [Último acceso: 25 02 2020].
- [40] «Control Techniques,» [En línea]. Available: <https://acim.nidec.com/es-es/drives/control-techniques>. [Último acceso: 03 03 2020].
- [41] «Leroy-Somer,» [En línea]. Available: <https://acim.nidec.com/es-es/motors/leroy-somer/about-us/leroy-somer>. [Último acceso: 05 02 2020].
- [42] «Brown Advance,» [En línea]. Available: <https://www.brownavance.com/>. [Último acceso: 15 04 2020].
- [43] «Jesús suministros,» [En línea]. Available: <http://jesusonline.es/228-PRODUCTOS>. [Último acceso: 05 03 2020].
- [44] «Construcciones Mecánicas Casado S.A,» [En línea]. Available: <http://www.cmcasado.es/>. [Último acceso: 14 07 2020].
- [45] L. O. Berrocal, Resistencia de materiales, Madrid: McGraw Hill, 2007.
- [46] J. Gere y S. TIMOSHENKO, Mecánica de materiales, México: Cengage Learning, 2009.
- [47] L. Z. J. T. Cristian Arano, «Ensayo a tracción, compresión y cortante,» 2018.
- [48] «Precious plastics,» [En línea]. Available: <https://preciousplastic.com/index.html>. [Último acceso: 05 05 2020].
- [49] «Especificaciones técnicas Shredder Pro,» [En línea]. Available: <https://preciousplastic.com/solutions/machines/pro.html>. [Último acceso: 05 05 2020].
- [50] «Control Techniques,» [En línea]. Available: <https://acim.nidec.com/es-es/drives/control-techniques/products/ac-drives/commander-c-general-purpose-drives>. [Último acceso: 05 05 2020].
- [51] «CONTROL ESCALAR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR TRIFÁSICO DE,» [En línea]. Available: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c2/CONTROL\\_ESCALAR\\_DE\\_VELOCIDAD\\_DE\\_UN\\_MOTOR\\_TRIFASICO\\_DE](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c2/CONTROL_ESCALAR_DE_VELOCIDAD_DE_UN_MOTOR_TRIFASICO_DE). [Último acceso: 05 05 2020].
- [52] M. A. R. Pozueta, «Variación de velocidad en motores asíncronos».
- [53] «Fenner HRC Couplings,» [En línea]. Available: [https://www.fptgroup.com/dss/docs/708\\_05\\_Fenner\\_Couplings.pdf](https://www.fptgroup.com/dss/docs/708_05_Fenner_Couplings.pdf). [Último acceso: 15 06 2020].



- [54] «Ipargama. Características técnicas F-1140,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ipargama.com/pdf/F-1140.pdf>. [Último acceso: 18 05 2020].
- [55] «Add structural constraints for simulation,» Autodesk, [En línea]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/43FO-A58E-41744C5325A0-hm.html>. [Último acceso: 28 05 2020].
- [56] «Prescribed displacement,» Fusion 360 forum, [En línea]. Available: <https://forums.autodesk.com/t5/fusion-360-design-validate/prescribed-displacement/td-p/814012>.
- [57] «Creating and editing contacts,» Autodesk, [En línea]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/support/fusion-360/learn-explore/caas/video/youtube/lesson/creating-and-editing-contacts>.
- [58] «SongShun Acero C45,» 2020. [En línea]. Available: <https://es.steelpurchase.com/1045-s45c-c45-acero/>. [Último acceso: 07 08 2020].
- [59] R. G. B. y. J. K. Nisbett, Shigley's Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill, 2006.
- [60] «Rodamientos rígidos de bolas,» SKF, [En línea]. Available: <https://www.skf.com/es/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>.
- [61] «Productos de mantenimiento y lubricacion SKF,» [En línea]. Available: [https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680658e1b-03000\\_ES\\_tcm\\_201111111](https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680658e1b-03000_ES_tcm_201111111).
- [62] «Brown Advance- Reductores estandar-corona-sinfin,» [En línea]. Available: <https://www.brownavance.com/productos/reductores-estandar/sinfin-corona-bwq.ph>.
- [63] «Metal Service,» [En línea]. Available: <http://www.metal-service.net/pdf/CARACTERISTIQUES%20ACERS.pdf>. [Último acceso: 15 08 2020].
- [64] «Baiz SL,» [En línea]. Available: <http://www.baiz.net/es/productos-husillos-materiales-mas-frecuentes/acero-f-114-xc-45>. [Último acceso: 12 05 2020].
- [65] «Bodycote,» [En línea]. Available: <https://www.bodycote.com/es/servicios/tratamiento-termico/temple-y-revenido/>. [Último acceso: 20 05 2020].
- [66] «Resinex,» [En línea]. Available: <https://www.resinex.es/tipos-de-polimeros/pmma.html>. [Último acceso: 15 04 2020].
- [67] «Mantenimiento Preventivo,» [En línea]. Available: <http://www.mantenimientoplanificado.com/j%20guadalupe%20articulos/MANTENIMIENTO%20PREVENTIVO%20>.
- [68] «Lubricacion de engranajes y cojinetes con aceites sintéticos,» 19 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.lubricantesyfiltrosindustriales.es/lubricacion-de-engranajes-y-cojinetes-con-aceites-sinteticos>. [Último acceso: 18 09 2020].
- [69] «Brown Europe-Information Sheet,» [En línea]. Available: [http://www.browneuropeltd.com/catalogues/BWQ\\_Worm\\_Geared\\_Motors\\_information\\_sheet.pdf](http://www.browneuropeltd.com/catalogues/BWQ_Worm_Geared_Motors_information_sheet.pdf). [Último acceso: 15 08 2020].
- [70] «Figura recicladora HNT-V,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.polystarco.com/UserFiles/kindeditor/image/20150716/products\\_i\\_f\\_1.jpg](https://www.polystarco.com/UserFiles/kindeditor/image/20150716/products_i_f_1.jpg). [Último acceso: 07 08 2020].
- [71] «Recicladora SNT-V,» [En línea]. Available: [https://www.polystarco.com/UserFiles/kindeditor/image/20170217/products\\_i\\_pic\\_repro\\_one.jpg](https://www.polystarco.com/UserFiles/kindeditor/image/20170217/products_i_pic_repro_one.jpg). [Último acceso: 07 08 2020].
- [72] «Figura extrusora de tres capas (ABA) HDPE.,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.polystarco.com/UserFiles/kindeditor/image/20170218/Multilayer\\_bl.jpg](https://www.polystarco.com/UserFiles/kindeditor/image/20170218/Multilayer_bl.jpg). [Último acceso: 07 08 2020].
- [73] «Figura patente ES2272686.,» 2020. [En línea]. Available: [http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/27/26/ES-2272686\\_T3.pdf](http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/27/26/ES-2272686_T3.pdf). [Último acceso: 09 01 2020].
- [74] «Figuras patente ES2005355,» 2020. [En línea]. Available: <https://worldwide.espacenet.com/3.2/rest-services/published-data/images/WO/2015118448/firstpage.png>. [Último acceso: 09 01 2020].
- [75] «Figuras patente ES2047789,» 2020. [En línea]. Available: <https://worldwide.espacenet.com/3.2/rest-services/published-data/images/EP/3646951/firstpage.png>. [Último acceso: 09 01 2020].
- [76] «Figura patente ES0275857,» 2020. [En línea]. Available: [http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/00/27/58/ES-0275857\\_A1.pdf](http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/00/27/58/ES-0275857_A1.pdf). [Último acceso: 10 01 2020].
- [77] «Figura patente US20180200723,» 2020. [En línea]. Available: [https://patentscope.wipo.int/search/docs2/nat/US223781028/pic/PQxwdEg2pr1AxquCihJ6sAxJCy8nLxvG7HnqigYqQTKWH9RKfTXyX\\_ZsPafd80mE8PnG0bvMY9S4SuaemKNWys3e-eylGTWHwbc\\_KHnY2AmYsl](https://patentscope.wipo.int/search/docs2/nat/US223781028/pic/PQxwdEg2pr1AxquCihJ6sAxJCy8nLxvG7HnqigYqQTKWH9RKfTXyX_ZsPafd80mE8PnG0bvMY9S4SuaemKNWys3e-eylGTWHwbc_KHnY2AmYsl). [Último acceso: 15 01 2020].
- [78] «The Confetti Family,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.designbythem.com/products/confetti-stool?variant=8174922498136>. [Último acceso: 25 08 2020].
- [79] «Paragüero Confetti,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.designbythem.com/products/confetti-umbrella-stand?variant=33030249021528>. [Último acceso: 25 08 2020].

- [80] «Maceta Confetti,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.designbythem.com/products/confetti-planter?variant=32964185260120> (26/08/2020). [Último acceso: 27 08 2020].
- [81] «Back to Nature,» 2020. [En línea]. Available: <https://andreamangone.com/works/back-to-nature/>. [Último acceso: 27 08 2020].
- [82] «Tabla de cortar de HDPE,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=jx2B55YG4SY>. [Último acceso: 27 08 2020].
- [83] «Pallet de HDPE,» 2020. [En línea]. Available: <https://huading-plastic.en.made-in-china.com/product/sdQmSwAGgThU/China-1600-1400-150-Export-Recycled-HDPE-Pallet/>.
- [84] «Cálculo del circuito que alimenta un motor eléctrico,» 2020. [En línea]. Available: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/51872/OA\\_CALCULO\\_MOTORELECTRICO](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/51872/OA_CALCULO_MOTORELECTRICO).
- [85] «Aenor,» [En línea]. Available: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas>.
- [86] «Aenor-Marcado CE-Máquinas,» [En línea]. Available: <https://www.aenor.com/certificacion/marcado-ce/maquinas>.
- [87] «DIRECTIVA 2006/42/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/doue/2006/157/L00024-00086.pdf>.
- [88] «Proporciones del anagrama del mercado CE,» [En línea]. Available: [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.marcado-ce.com/&psig=AOvVaw0ESVNBK\\_YjgvKxNX9EgqMX&ust=1596999606292000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCJjNhqaljOsCFQAAAAAdAAAAABAD](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.marcado-ce.com/&psig=AOvVaw0ESVNBK_YjgvKxNX9EgqMX&ust=1596999606292000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCJjNhqaljOsCFQAAAAAdAAAAABAD).
- [89] «Marcado CE,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.marcado-ce.com/acerca-del-marcado-ce/que-es-marcado-ce.html>.
- [90] «Método de Evaluación General de Riesgos del INSHT,» 2016. [En línea]. Available: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/metodo-de-evaluacion-general-de-riesgos-del-insht>.
- [91] «INSHT-CLASIFICAES LABORALES,» [En línea]. Available: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwilneuX7JDrAhWNnxQKHQpyBCUQFJAegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.insht.es/CLASIFICAES%2520LABORALES.doc&usg=AOvVaw1IEBrSwQY-3Ts-vMWgP-OK>.
- [92] «Condiciones Físico Ambientales, Ambiente térmico,» [En línea]. Available: <https://w3.ual.es/GruposInv/Prevencion/evaluacion/procedimiento/B-%20CondicionesFisicoAmbientalesAmbienteTermico>.
- [93] «Niveles de iluminación recomendados,» [En línea]. Available: [https://www.noao.edu/education/QLTkit/es/Safety\\_Activity\\_Poster/LightLevels\\_outdoor+indoor\\_es](https://www.noao.edu/education/QLTkit/es/Safety_Activity_Poster/LightLevels_outdoor+indoor_es).
- [94] «El ruido y el diseño de un ambiente acústico,» [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/816/81680213.pdf>.
- [95] «PlasticsEurope,» [En línea]. Available: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/market-data>. [Último acceso: 15 03 2020].
- [96] «Plastic materials EU demand per polymer,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.plasticseurope.org/application/files/4315/1310/4805/plastic-the-fact-2016>.
- [97] «areatecnología,» [En línea]. Available: <https://www.areatecnologia.com/materiales/imagenes/ensayo-de-traccion.jpg>.
- [98] <http://www.metal-service.net/pdf/CARACTERISTIQUES%20ACERS.pdf>, «Metal Service,» 2020. [En línea].
- [99] «El País,» 2018. [En línea]. Available: [https://elpais.com/elpais/2018/07/06/media/1530887316\\_976581.html](https://elpais.com/elpais/2018/07/06/media/1530887316_976581.html). [Último acceso: 15 11 2019].
- [100] «Guía de Usuario del control,» [En línea]. Available: <https://acim.nidec.com/drives/control-techniques/-/media/controltechniques/files/step-by-step-guides/com>.

## 12. ANEJOS