

Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Industrial

Diseño y establecimiento de nueva línea de
producción en serie. Prototec-Ibercool WaterBlocks

Autor: Javier Vizcaíno Carrero

Tutor: Luis Valentín Bohórquez Jiménez

Dep. Ingeniería Mecánica y Fabricación
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2015



Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería de Industrial

**Diseño y establecimiento de nueva línea de
producción en serie. Protemec-Ibercool
WaterBlocks**

Autor:

Javier Vizcaíno Carrero

Tutor:

Luis Valentín Bohórquez Jiménez

Profesor Contratado Doctor

Dep. de Ingeniería Mecánica y Fabricación

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2015

Proyecto Fin de Carrera: Diseño y establecimiento de nueva línea de producción en serie. Protemec-Ibercool WaterBlocks

Autor: Javier Vizcaíno Carrero

Tutor: Luis Valentín Bohórquez Jiménez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2015

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

Agradezco este proyecto a mi familia. Mis padres Francisco e Isabel, que me han apoyado siempre en los buenos y en los malos momentos, mis hermanos y el resto de mis familiares cercanos. A mis amigos de la carrera y al grupo del Instituto Murillo, que me han acompañado desde hace tantos años y que siempre han estado y estarán ahí. Por supuesto también a mis compañeros de Stuttgart con los que compartí una experiencia tan inolvidable y enriquecedora como es la beca ERASMUS.

Por último agradecer a la Escuela Superior de Ingenieros y a sus profesores, al equipo de Ibercool WaterBlocks que me hizo responsable de este proyecto y al Banco Santander que me facilitó la inserción laboral otorgándome su beca para prácticas en PYMES.

A todos mil gracias y un cariñoso saludo.

Javier Vizcaíno Carrero

Sevilla, 2015

Resumen

Prototec es una marca de mecanizados creada por Ibercool Water Blocks S.L., empresa pionera en España en sistemas de refrigeración líquida. A principios de 2014 se toma la decisión de crearla como medio de financiación para la empresa principal, ofertándose para el diseño y fabricación de prototipos o series de piezas simples.

Las razones de esta decisión fueron principalmente dos, primero debido a que la carga de trabajo del taller de mecanizado estaba muy por debajo de su capacidad real y porque además en el momento en que el autor de este proyecto entra en la empresa, las prioridades de esta estaban más enfocadas a la parte de marketing por lo que crear proyectos de mecanizado supondría aprovechar mejor las capacidades del alumno en prácticas.

Este Proyecto de Fin de Carrera recoge el diseño y montaje del proceso productivo de la primera línea de producción en serie que se le encargó a la empresa, llevada a cabo por el alumno en prácticas e ingeniero industrial Javier Vizcaíno Carrero.

Agradecimientos	i
Resumen	iii
Índice	iv
Índice de Tablas	vii
Índice de Figuras	ix
1 Introducción	1
1.1 <i>El proyecto</i>	1
1.2 <i>Objetivos</i>	2
1.2.1 <i>Objetivos en la fase de diseño</i>	2
1.2.2 <i>Objetivos en la fase de cálculo de costes</i>	2
1.2.3 <i>Objetivos en la fase del establecimiento del proceso productivo</i>	2
2 Diseño de piezas y herrajes	4
2.1 <i>Materiales</i>	4
2.1.1 <i>Latón BL-60-38-2</i>	4
2.1.2 <i>Aluminio aleación cobre 2030</i>	5
2.1.3 <i>Aluminio aleación magnesio 5083</i>	6
2.1.4 <i>Aluminio aleación Zinc 7075</i>	7
2.2 <i>Diseño de nuevos perfiles</i>	8
2.3 <i>Diseño de piezas y herrajes</i>	10
2.3.1 <i>Topes interiores. Elementos R1 y R23</i>	10
2.3.2 <i>Cogida guía. Elemento R2</i>	12
2.3.3 <i>Vasos embellecedores. Elementos R3, R4, R17, y R18</i>	13
2.3.4 <i>Rodamiento. Elemento R5</i>	15
2.3.5 <i>Tiradores. Elementos R6, R7, R8 y R9</i>	18
2.3.6 <i>Pinzas guía. Elementos R10, R11, R20, R21 y R22</i>	21
2.3.7 <i>Codos. Elementos R12 R19</i>	23
2.3.8 <i>Pinza superior. Elemento R13</i>	25
2.3.9 <i>Pomos. Elementos R14, R15 y R16</i>	27
2.4 <i>Tornillería y elementos auxiliares</i>	28
3 Costes y oferta final	31
3.1 <i>Aspectos considerados</i>	31
3.1.1 <i>Materiales</i>	32
3.1.2 <i>Recuperación de viruta</i>	33
3.1.3 <i>Costes de mecanizado</i>	34
3.1.4 <i>Costes de esmerilado, pulido y cromado</i>	36
3.1.5 <i>Costes de tornillería y accesorios</i>	36
3.2 <i>Oferta final y márgenes de beneficio</i>	37
3.3 <i>Piezas de torneado</i>	39
4 Producción en masa	40
4.1 <i>Máquinas herramienta</i>	40
4.1.1 <i>Haas SMiniMill</i>	40
4.1.2 <i>Ruteadora</i>	43

4.2	<i>Selección de herramientas</i>	44
4.2.1	Brocas	45
4.2.2	Fresas de acabado y desbaste	46
4.2.3	Roscados	48
4.2.4	Planeado con plaquitas intercambiables	48
4.3	<i>Fabricación de prototipos</i>	49
4.4	<i>CAM</i>	53
4.5	<i>Fabricación con utillajes</i>	55
4.5.1	Bridas	56
4.5.2	Primera serie de utillajes	59
4.5.3	Segunda serie de utillajes	63
4.5.4	Tercera serie de utillajes	69
5	Procesos secundarios	76
5.1	<i>Tronzado de materiales</i>	76
5.2	<i>Pulido</i>	78
5.3	<i>Cromado</i>	81
5.4	<i>Decapado y limpiado</i>	81
5.5	<i>Empaquetado final</i>	82
	Referencias	84
	ANEXO A: PLANOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Propiedades mecánicas del Latón BL-38-2.	5
Tabla 2-2. Propiedades mecánicas del Aluminio 2030.	6
Tabla 2-3. Propiedades mecánicas del Aluminio 5083.	7
Tabla 2-4. Propiedades mecánicas del Aluminio 7075.	7
Tabla 2-5. Tornillería necesaria para las piezas.	28
Tabla 2-6. Accesorios necesarios para las piezas.	29
Tabla 3-1. Notación para los cálculos de costes y valores fijos.	32
Tabla 0-2. Costes de los materiales.	33
Tabla 0-3. Recuperación de viruta.	34
Tabla 0-4. Costes de mecanizado.	35
Tabla 0-5. Costes de cromado.	36
Tabla 0-6. Costes de tornillería y accesorios.	36
Tabla 0-7. Costes, precio y margen de beneficio unitarios.	37
Tabla 0-8. Estimación del beneficio bruto mensual.	38
Tabla 4-1. Especificaciones técnicas de la Haas SMiniMill.	41
Tabla 4-2. Especificaciones de las brocas necesarias.	45
Tabla 4-3. Especificaciones de la broca bidiametral necesaria.	46
Tabla 4-4. Especificaciones de las fresas de desbaste y desbaste/acabado necesarias.	47
Tabla 4-5. Especificaciones de las fresas de acabado necesarias.	47
Tabla 4-6. Especificaciones de los machos de rosca necesarios.	48
Tabla 4-7. Especificaciones de la fresa frontal y de las plaquitas necesarias.	49
Tabla 4-8. Especificaciones de las bridas.	56
Tabla 5-2. Especificaciones de la tronzadora.	77
Tabla 5-2. Especificaciones de las esmeriladoras disponibles.	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Logo de Protemec.	1
Figura 2-2. Listones típicos de latón.	5
Figura 2-2. Plancha de aluminio para utilajes.	6
Figura 2-3. Perfiles de aluminio usados en el proyecto.	8
Figura 2-4. Rodamiento proporcionado por el cliente.	9
Figura 2-5. Esquema de extracción del rodamiento del Perfil Nuevo 1.	9
Figura 2-6. R1 y R23.	10
Figura 2-7. R1 montada.	11
Figura 2-8. Perfil de R1 y R23 montadas.	11
Figura 2-9. R2 montada.	12
Figura 2-10. Perfil trasero de R2 montada.	13
Figura 2-31. Montaje de R3.	13
Figura 2-12. Imagen CAD de R3 y R4.	14
Figura 2-13. R17 y R18.	14
Figura 2-44. Montaje y posición de R17.	15
Figura 2-55. R5.	16
Figura 2-66. R5 explosionada.	16
Figura 2-77. R5 montada.	17
Figura 2-88. Perfil de R5 montada.	17
Figura 2-99. R6 montada y explosionada.	18
Figura 2-20. R7 y R8 montadas.	19
Figura 2-21. R6 explosionada.	20
Figura 2-22. Corte R6 montada.	20
Figura 2-23. R10, R11, R20, R21 y R22.	21
Figura 2-24. Sección del perfil de plástico para las pinzas R10 y R11.	22
Figura 2-25. R10 montada.	22
Figura 2-26. R22 montada.	23
Figura 2-27. R12 y R19.	23
Figura 2-28. Compatibilidad de R12 y R19 con distintos perfiles.	24
Figura 2-29. R13.	25
Figura 2-30. R13 perfil montado con un cristal de 6 mm.	26
Figura 2-31. R13 montada.	26
Figura 2-32. R14, R15 y R16.	27
Figura 4-10. Haas SMiniMill.	41

Figura 4-2. Ruteadora.	43
Figura 4-3. Fresa de acabado, de desbaste, broca, macho de rosca y fresa de plaquitas.	44
Figura 4-4. Esquema de las brocas.	45
Figura 4-5. Esquema de la broca bidiametral o escalonada.	46
Figura 4-6. Esquema de las fresas de acabado y desbaste.	46
Figura 4-7. Esquema de los machos de rosca.	48
Figura 4-8. Esquema de la fresa frontal y sus plaquitas intercambiables.	49
Figura 4-9. Mordaza para prototipos.	50
Figura 4-10. Labio fresado en la mordaza y su funcionamiento.	51
Figura 4-11. Primer paso de la fabricación de prototipos de R13.	52
Figura 4-12. Segundo paso de la fabricación de prototipos de R13.	52
Figura 4-13. Tercer paso de la fabricación de prototipos de R13.	53
Figura 4-114. Toolpath del CAM del utillaje 01.	54
Figura 4-125. Establecimiento de condiciones de mecanizado en el software CAM.	54
Figura 4-136. Esquema de los pernos de posicionamiento.	55
Figura 4-147. Esquema de las bridas excéntricas y las bridas pitbull.	56
Figura 4-158. Bridas excéntricas.	57
Figura 4-169. Ejemplo de imperfección que produce un levantamiento al bridar.	58
Figura 4-20. Bridas pitbull.	58
Figura 4-21. Utillaje 01.	59
Figura 4-22. Canal de rectificado y canal de corte.	60
Figura 4-23. Dos listones colocados para el paso 1.	61
Figura 4-24. Listón tras el paso 2	61
Figura 4-25. R3 y R4 acabadas.	61
Figura 4-26. Utillaje 02.	62
Figura 4-27. Listones al finalizar el paso 2.	63
Figura 4-28. R2 terminadas.	63
Figura 4-29. Utillaje 03.	64
Figura 4-30. Inclinación en el utillaje.	64
Figura 4-31. Encaje entre la curvatura de apoyo y la de las piezas.	65
Figura 4-32. R10 y R20 tras los pasos 2 y 3.	66
Figura 4-33. Utillaje 04, disposición para las tres primeras operaciones.	67
Figura 4-34. Utillaje 04, disposición para la última operación.	67
Figura 4-35. Zona de compatibilidad entre pitbull y excéntricas.	68
Figura 4-36. Producción de R17 y R18 terminada.	69
Figura 4-37. Rectificado lateral de listones con fresa de acabados.	69
Figura 4-38. Utillaje 05.	70
Figura 4-39. R1 y R13 acabadas.	71
Figura 4-40. Utillaje 06, configuración para R12.	72
Figura 4-41. Utillaje 06, configuración para R19.	72

Figura 4-42. Posición de los pasos de las R12 y R19.	73
Figura 4-43. Proceso de fabricación R12.	73
Figura 4-44. Proceso de fabricación R19.	74
Figura 4-45. Utillaje 07.	74
Figura 4-46. R22 terminadas.	75
Figura 5-17. Ingletadora/tronzadora adquirida.	76
Figura 5-2. Cuchillas de la tronzadora.	77
Figura 5-3. Zona de pulido de Ibercool.	78
Figura 5-4. Esmeriladora SM200L.	79
Figura 5-5. Discos abrasivos, disco de sisal y algodón y disco de mil-hojas.	80
Figura 5-6. Disco de algodón y banda de pulido.	80
Figura 5-7. Centro de cromados.	81
Figura 5-8. Cuba portátil para limpiado y decapado.	82
Figura 5-9. Red de separadores, para piezas de perfil 20x20 montada para dos niveles de piezas.	82

1 INTRODUCCIÓN

Ibercool Water Blocks es una empresa pionera en España en el diseño y fabricación de sistemas de refrigeración líquida para dispositivos electrónicos. A principios de 2014 se toma la decisión de crear una nueva marca de diseño industrial y mecanizados (Protemec) para financiar a la empresa principal. Esta decisión se toma principalmente por dos motivos.

Por un lado la capacidad de producción del taller estaba desaprovechada, estando aproximadamente a un 20% de su máxima capacidad. Los procesos productivos de los productos principales de Ibercool estaban totalmente definidos y la fabricación de nuevo stock era relativamente sencilla y rápida. Teniendo en cuenta que el taller cuenta con dos máquinas herramientas de control numérico el no aprovechamiento de estos recursos supone unos costes adicionales considerables, directos de luz y mantenimiento e indirectos de oportunidad.

Además de lo anterior, a principios de 2014 entra como becario el autor de este documento gracias al programa del Banco Santander de Inserción Laboral para Pequeñas y Medianas Empresas. Por ello el contar con un trabajador formado en ingeniería suponía un recurso adicional para afrontar las tareas de la marca de mecanizados sin descuidar las tareas de la empresa principal.

Este PFC recoge todo el proceso productivo de la primera serie de piezas encargada a Protemec, desde el diseño de las piezas en sí hasta el diseño del proceso de fabricación en serie, indicando soluciones adoptadas a los problemas enfrentados, costes, establecimiento de procesos secundarios, etc.



Figura 1-1. Logo de Protemec.

1.1 El proyecto

El primer cliente con el que Protemec comienza a negociar se trata de una importante empresa andaluza instaladora de mamparas y cuartos de baño. Para competir con los nuevos proveedores extranjeros deseaban lanzar una nueva línea de productos low-cost, que les permitiese atacar nuevos sectores de su mercado.

En el momento que contactaron con la empresa solo contaban con los cristales y uno de los perfiles de aluminio de estas nuevas mamparas, por lo que necesitaban que el diseño de todos los herrajes se ajustara a las dimensiones que estos tenían. Además se encargó el diseño de varios nuevos perfiles, uno con nuevas especificaciones y que fuera compatible con los herrajes del perfil antiguo y varios nuevos con su juego de herrajes correspondiente. En el segundo capítulo se explicará detalladamente las especificaciones y las soluciones adoptadas para cada elemento.

Una vez completados los diseños se pasó a la fase de negociación para la producción en serie de algunos de las piezas. En el capítulo 3 se explicará detalladamente el cálculo de los costes de cada uno de los elementos, la oferta realizada y los márgenes de beneficio en base a las estimaciones de consumo mensual que proporcionó el cliente

La tercera etapa del proyecto consta del diseño del proceso productivo de los nuevos herrajes, abarcando las siguientes fases:

- Diseño de los métodos de fabricación para cada una de las piezas, adaptándose a los recursos de la empresa.
- Selección de herramientas necesarias para mecanizado.
- Diseño y producción de utillajes para la fabricación en serie.
- Generación de códigos máquina con software CAM.
- Establecimiento de procesos secundarios.
- Validación de los procesos.

1.2 Objetivos

Se puede resumir como objetivo general del proyecto el diseño y establecimiento del proceso productivo al menor coste posible pero sin descuidar la calidad exigida por el cliente. Sin embargo y para comprender ciertas decisiones tomadas a lo largo del proyecto merece la pena establecer sub-objetivos para cada una de las fases del proyecto.

1.2.1 Objetivos en la fase de diseño

Lo más importante es asegurarse de cumplir las especificaciones del cliente, tanto en dimensiones como en funcionalidad.

Por otra parte es indispensable conocer bien los recursos disponibles por la empresa, tanto de maquinaria como de materia prima. Por lo general, el diseño debe tener en cuenta las herramientas (fresas, brocas, planeadoras, etc.) disponibles para la máquina-herramienta de control numérico. Además los proveedores de materia prima suelen tener secciones y dimensiones muy estandarizadas de sus productos, por lo que diseños que tengan dimensiones iguales o ligeramente inferiores a múltiplos de 5 en secciones cuadradas o con diámetros próximos a números enteros serán más baratos y fáciles de mecanizar.

Todo ello está detalladamente explicado en el capítulo 2.

1.2.2 Objetivos en la fase de cálculo de costes

Dar una estimación realista de los costes y beneficios que tendrá la empresa al llevar a cabo este proyecto. Una buena estimación de costes es fundamental a la hora de negociar el precio de los elementos y de esa manera poder lanzar una oferta que realmente sea rentable para la empresa. El cálculo y las conclusiones están explicados en el capítulo 3.

1.2.3 Objetivos en la fase del establecimiento del proceso productivo

El objetivo principal de esta fase es reducir al máximo los tiempos de producción, abarcando desde el diseño optimizado de utillajes hasta el establecimiento de todos los procesos secundarios que como

se verá más adelante abarcan aproximadamente la mitad del tiempo real de producción de las piezas.

Cabe señalar que al ser un proyecto secundario de la empresa, se disponía de pocos fondos para la inversión en nueva maquinaria, bridajes, etc. Por lo que en ocasiones se adoptaron soluciones que aunque no fuesen las más óptimas posibles en cuanto a tiempos sí que presentaban el mejor equilibrio entre inversión y rendimiento. La adaptabilidad es por lo tanto fundamental.

2 DISEÑO DE PIEZAS Y HERRAJES

Para realizar un diseño eficiente es indispensable conocer bien tanto las especificaciones que exige el cliente como los recursos que se poseen. Hay que buscar siempre la sencillez y la eficacia, sin dejar de lado la estética si se trata de productos pensados para estar a la vista.

En el caso que nos ocupa, por un lado se tienen piezas que deben ser compatibles con los perfiles que proporcionó el cliente. Las tolerancias deben ser bastante ajustadas, del orden de entre 200 y 800 micras de manera que los elementos encajen sin dificultad y no haya excesivo juego entre ellos.

Siendo series de piezas que deben salir producidas en masa es importante además que no sean costosas de mecanizar partiendo de un tocho base de materia prima. Por ello en muchos de los elementos que se mostrarán a continuación suelen presentar una sección cuadrada o circular, de tal forma que se puedan sacar a partir de un listón cuadrado o de un cilindro de materia prima. Además si esa sección es igual o próxima por debajo a la sección original del listón o cilindro se simplificará aún más la producción. Por ejemplo la pieza R10 que tiene una sección principal de 20x20mm es fácilmente producible a partir de un listón cuadrado de la misma sección. Otro ejemplo sería la pieza R6R8_1 que es cilíndrica y cuyo diámetro más exterior es de 14,7 mm, siendo fácilmente fabricada a partir de un listón cilíndrico de 15 mm con un torno manual o de control numérico.

Para el diseño de las piezas se ha utilizado el software SOLID EDGE V20, programa de dibujo CAD en 3D ya que facilita enormemente la generación de planos y facilita la visualización de los prototipos por parte del cliente. Para la presentación de la oferta y la generación de imágenes fotorrealistas se utilizó la extensión de renderizado de SOLID WORKS.

A continuación se explicarán los requisitos y las soluciones a las que se llegó en cada pieza.

2.1 Materiales

La primera decisión a tomar es qué materiales se van a utilizar para fabricar cada pieza. Es una decisión muy importante ya que afecta al coste de la materia prima, a la maquinabilidad (que afecta directamente a los tiempos de producción), al peso (importante si se tienen que subcontratar servicios de transporte) y a los procesos secundarios, en concreto es muy importante para el proceso de **cromado** que se detallará más adelante en su correspondiente sección. Solo se van a comentar los dos materiales principales elegidos para los elementos que se van a mecanizar y los utilizados para fabricar los utillajes, dejando de lado los materiales de los complementos tales como la tornillería (aceros inoxidable) o los complementos plásticos.

2.1.1 Latón BL-60-38-2

El latón es uno de los materiales más populares para aplicaciones de fontanería y baños. Tiene una **buena resistencia a la corrosión**, es **fácil de cromar** y es más **barato** que otros materiales con

propiedades similares. El latón utilizado entra en la categoría de latones de segundo título al tener un porcentaje de zinc de entre el 32% y el 39%. Tiene además un pequeño porcentaje de plomo (1-3%) el cual es prácticamente insoluble en el latón y se separa en forma de finos glóbulos, lo que favorece la fragmentación de las virutas en el mecanizado. El plomo también tiene un efecto de lubricante por su bajo punto de fusión, lo que permite disminuir el desgaste de la herramienta de corte.

Tabla 2-1. Propiedades mecánicas del Latón BL-38-2.

Calidad	Composición %	Forma de Suministro	Límite de 0,2 Kp/mm ²	Resistencia Tracción Kp/mm ²	Alargamiento de Rotura %	Dureza Brinell 10/3000/30
BL-60-38-2	Cu-60-65	C.Continua	8-12	20-28	15-20	50-65
	Pb-1-3	C.Centrífuga	6-8	15-20	15-18	45-60
	Zn-32-39	Moldeada				



Figura 2-1. Listones típicos de latón.

2.1.2 Aluminio aleación cobre 2030

En algunas piezas es interesante utilizar aluminio. Es bastante **más barato, fácil de mecanizar** y además **pesa poco** lo que permite que sea más fácil de manejar y transportar. Por el contrario, es **menos resistente a la corrosión** por lo que debe evitarse su uso en elementos que estén a la vista o en contacto directo y constante con el agua ya que con el tiempo pueden formarse manchas.

Para hacer el material más resistente a la corrosión hay dos opciones, el cromado y el anodizado electrolítico. Aunque anodizar las piezas puede ser a priori preferible, en la práctica es difícil encontrar empresas que anodicen elementos tan pequeños ya que por lo general estas se dedican solo a grandes piezas y perfiles de aluminio, así que para realizar este proceso la empresa debería invertir en un pequeño taller de anodizados por lo cual se descarta esta opción.

El aluminio en general es **difícil de cromar**. Esto es debido a que los baños quedan contaminados después del proceso por lo que hay que reponerlos siempre lo cual aumenta considerablemente los costes. Aun así, el aluminio más indicado para el proceso es el de aleación 2030 o **aluminio al cobre**, ya que es el único que a pesar de las dificultades adhiere bien las capas de níquel y cromo y queda con un buen acabado estético.

Tabla 2-2. Propiedades mecánicas del Aluminio 2030.

Composición Química

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti		Otros	Al
Min.Max	0,80	0,70	3,30 4,50	0,20 1,00	0,50 1,30	0,10	0,50	0,20	Pb = 1,5 Bi <= 0,20	30	Resto

Equivalencias Internacionales

USA	ESPAÑA	FRANCIA	ALEMANIA	G.B	SUECIA	SUIZA	CANADA	ITALIA
A.A.	U.N.E.	AFNOR	DIN(1712-1725)	B.S.	S.I.S.	VSM	ALCAN	UNI
2030	L-3121 38.319	A-U4-Pb	AlCuMgPb 3.1645	-	4335	Decotal - 200	-	-

Propiedades Mecánicas

ESTADO	Carga de rotura Rm N/mm2	Límite elástico Rp 0.2 N/mm2	Alargamiento 5,65 V So	Resistencia de la Cizalladura N/mm2	Dureza	
					Brinell(HB)	Vickers
T-3	450	390	10	275	98	-
T-4	420	280	12	-	100	-

Propiedades Físicas

Módulo elástico N/mm2	Peso específico gms/cm3	Temperatura de fusión °C	Coefficiente de dilatac. lineal (20°-100°) 10-6/°C	Conductividad térmica w/m °C	Resistencia eléctrica Micro Ohm cm.	Conduct. eléctrica % IACS	Potencial de disolución V.
73.000	2,80	510-638	22´9	135	5´1	-	-

2.1.3 Aluminio aleación magnesio 5083

El aluminio de aleación de magnesio 5083 fue el primer material utilizado para la fabricación de los utillajes que se usarían más tarde para la producción en masa de piezas. La principal razón por la que se seleccionó es por su **bajo coste**.

Normalmente en la industria se emplean los aceros para la fabricación de estos utillajes. Sin embargo en este caso se descartó esa idea ya que utilizar acero supondría varios problemas, como un incremento considerable en los costes tanto de material como de herramientas de mecanizado (Prototec no dispone de fresas y herramientas para aceros). Otro problema sería el peso del utillaje lo que supondría la necesidad de una pequeña grúa para el posicionamiento del mismo en la máquina CNC en lugar de poder posicionarlo manualmente como sucede con el aluminio.



Figura 2-2. Plancha de aluminio para utillajes.

Tabla 2-3. Propiedades mecánicas del Aluminio 5083.

Composición Química (pletinas, tubos,placas,barras,chapas)

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti		Otros	Al
Min.Max	0,40	0,40	0,10	0,40 1,00	4,00 4,90	0,05 0,25	0,25	0,15	Ti+Zr 0,20	0,15	Resto

Equivalencias Internacionales (pletinas, tubos,placas,barras,chapas)

USA	ESPAÑA	FRANCIA	ALEMANIA	G.B	SUECIA	SUIZA	CANADA	ITALIA
A.A.	U.N.E.	AFNOR	DIN(1712-1725)	B.S.	S.I.S.	VSM	ALCAN	UNI
5083	L-3321 38.340	A-G4,5Mg	AlMg4,5Mn 3.3547	N8	4140	Peraluman 460	D 54s	7790

Propiedades Mecánicas (pletinas, tubos,placas,barras,chapas)

ESTADO	Carga de rotura Rm N/mm2	Límite elástico Rp 0.2 N/mm2	Alargamiento 5,65 V So	Resistencia de la Cizalladura N/mm2	Dureza	
					Brinell(HB)	Vickers
H-III	300	140	18	180	72	76
H-32	330	240	12	190	95	100
H-34	375	285	9	-	110	116

Propiedades Físicas (pletinas, tubos,placas,barras,chapas)

Módulo elástico N/mm2	Peso específico gms/cm3	Temperatura de fusión °C	Coefficiente de dilatac. lineal (20°-100°) 10-6/°C	Conductividad térmica w/m °C	Resistencia eléctrica Micro Ohm cm.	Conduct. eléctrica % IACS	Potencial de disolución V.
71.000	2,70	580-645	24 ' 5	120	6 ' 1	28 ' 3	0 ' 86

2.1.4 Aluminio aleación Zinc 7075

A partir del tercer utillaje se cambió del aluminio 5083 al de aleación de zinc 7075 ya que el primero resultó ser poco resistente a las deformidades causadas por el apriete de bridas. Esta aleación es ligeramente más cara pero a cambio ofrece un **módulo elástico superior** y por lo tanto es mejor para la aplicación deseada.

Tabla 2-4. Propiedades mecánicas del Aluminio 7075.

Composición Química

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti		Otros	Al
Min.Max	0,40	0,50	1,20 2,00	0,30	2 ' 10 2 ' 90	0,18 0,28	5,10 6,10	0,20	Zr + Ti 0,25	0,15	Resto

Equivalencias Internacionales

USA	ESPAÑA	FRANCIA	ALEMANIA	G.B	SUECIA	SUIZA	CANADA	ITALIA
A.A.	U.N.E.	AFNOR	DIN(1712-1725)	B.S.	S.I.S.	VSM	ALCAN	UNI
7075	L-3710 38.371	A-Z5 GU	AlZnMgCu1,5 3.4365	L160	-	Perunal	75 S	3735

Propiedades Mecánicas

ESTADO	Carga de rotura Rm N/mm2	Límite elástico Rp 0.2 N/mm2	Alargamiento 5,65 V So	Resistencia de la Cizalladura N/mm2	Dureza	
					Brinell(HB)	Vickers
0	280	150	10	-	-	-
T6	540	480	11	330	145	157

Propiedades Físicas

Módulo elástico N/mm2	Peso específico gms/cm3	Temperatura de fusión °C	Coefficiente de dilatac. lineal (20°-100°) 10-6/°C	Conductividad térmica w/m °C	Resistencia eléctrica Micro Ohm cm.	Conduct. eléctrica % IACS	Potencial de disolución V.
72.000	2,80	475-630	23 ' 5	130	5 ' 2	34	0 ' 81

2.2 Diseño de nuevos perfiles

La perfilería de aluminio es el elemento más importante dentro del conjunto principal, ya que es la que te marca la geometría de casi todos los otros elementos. Por ello el cliente encargó a la empresa el diseño de los cuatro perfiles nuevos necesarios, ya que aunque para fabricarlos es necesaria una tercera empresa experta en extrusión de aluminio, concentrar toda la fase de diseño en una sola empresa minimiza el riesgo de que se produzcan incompatibilidades entre elementos.

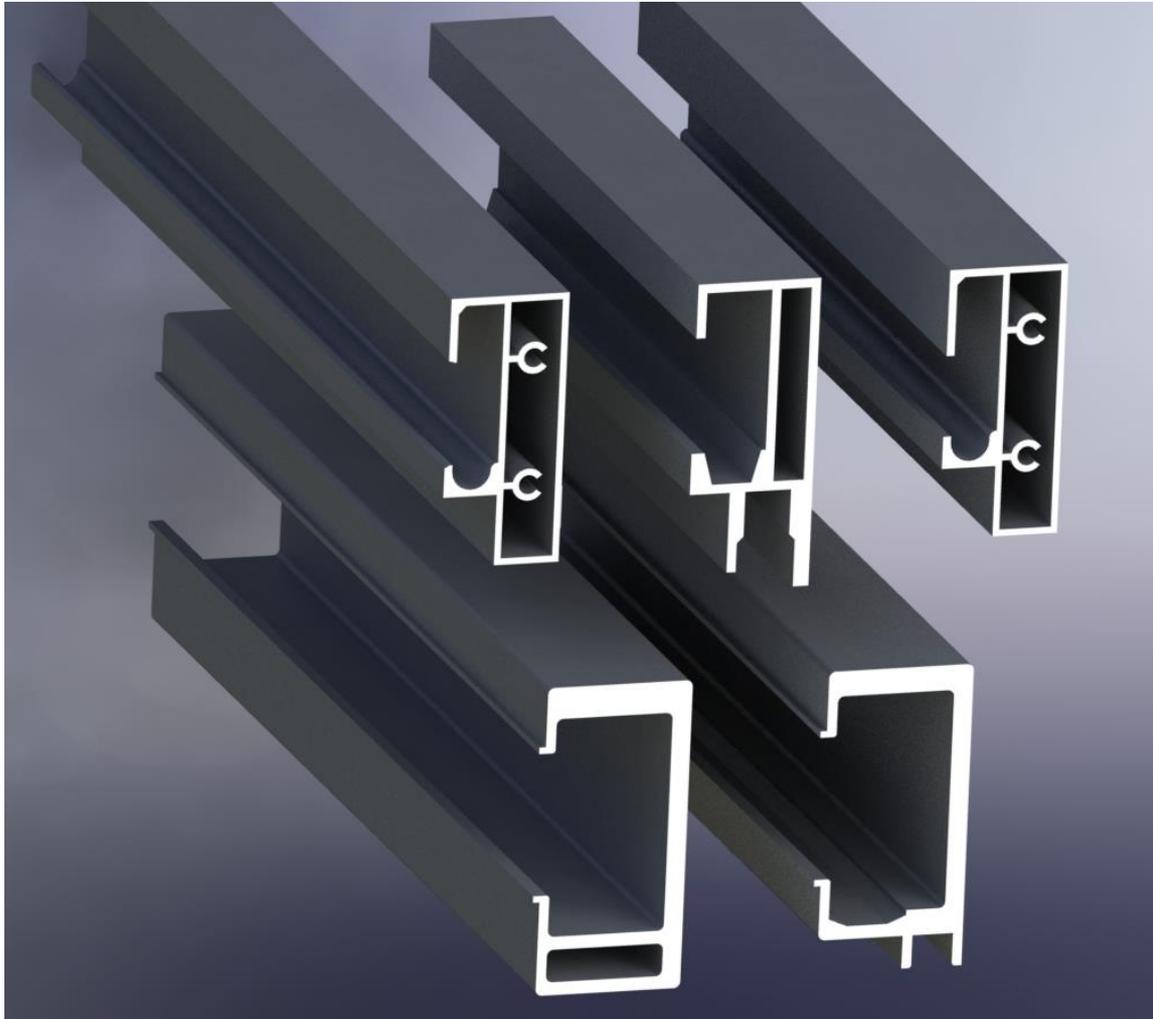


Figura 2-3. Perfiles de aluminio usados en el proyecto.

Los cuatro perfiles encargados son debían cumplir las siguientes especificaciones:

- Dos perfiles de ciertas dimensiones exteriores y compatibles con un rodamiento que el cliente utiliza en otros productos. La geometría de estos dos perfiles es muy parecida, salvo en una excepción. Según las especificaciones uno de ellos debía ser capaz de mantener fijo el rodamiento que a su vez está anclado a un cristal en su posición de trabajo. Sin embargo, si el operario lo deseaba, debía ser capaz de extraerlo sin desmontar ningún otro elemento. En la solución adoptada el operario sería capaz de extraer el cristal levantándolo levemente e inclinándolo un cierto ángulo que permite que el rodamiento salga, tal y como se puede ver en la figura 2-5. El segundo perfil debía mantener el rodamiento completamente fijo, siendo imposible de desmontar a menos que se extraiga por los laterales del perfil, lo cual implicaría desmontar la estructura de la mampara. Bastaba con estrechar el hueco por el que asoma el rodamiento para hacer imposible su extracción independientemente de la

posición en la que se colocase. De ahora en adelante estos perfiles se denominaran **Perfil Nuevo 1** y **Perfil Nuevo 2** respectivamente.

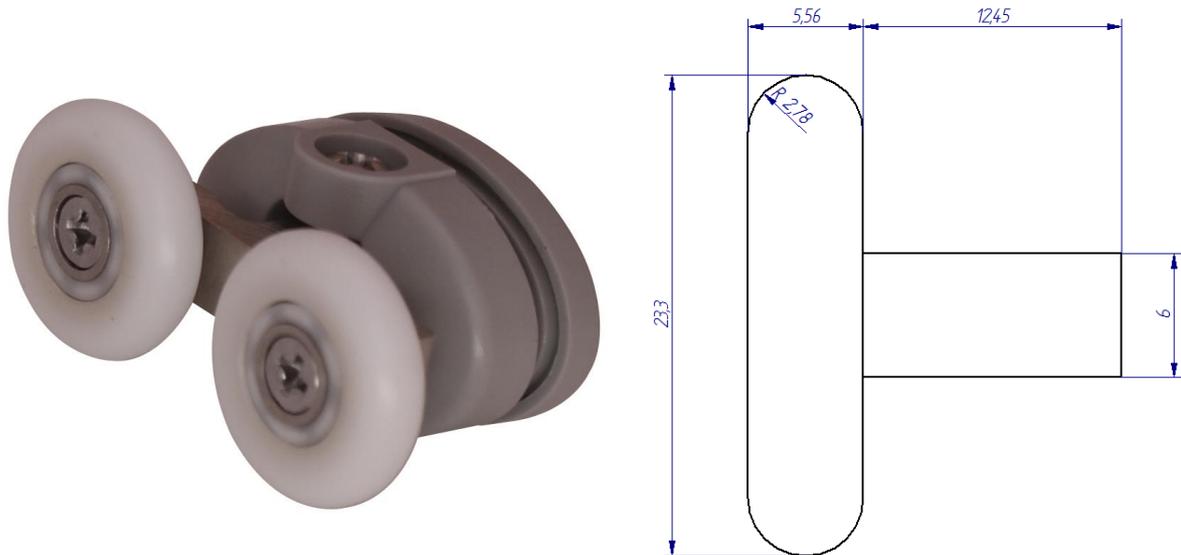


Figura 2-4. Rodamiento proporcionado por el cliente.

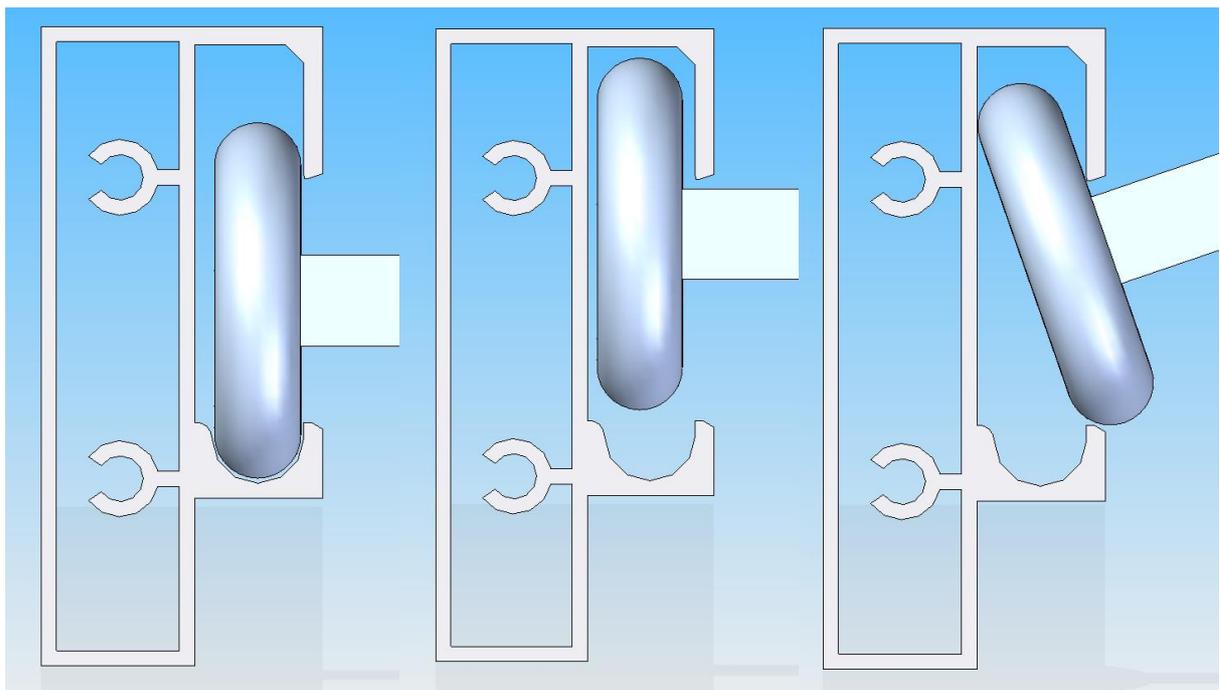


Figura 2-5. Esquema de extracción del rodamiento del Perfil Nuevo 1.

- Un perfil que es la evolución de otro antiguo que el cliente utilizaba. Se le añade la ranura en la parte inferior para encajar los nuevos cristales de seis y ocho milímetros de espesor. Algunos de los herrajes de este perfil son compatibles con los dos perfiles anteriores, pero a la hora de priorizar la compatibilidad éste se considera más importante en las fases de diseño. De ahora en adelante a este perfil se llamará **Perfil Nuevo 3**.
- Un perfil cuyos herrajes sean compatibles con el **Perfil Antigo**. También tiene una pequeña ranura para cristales de 6 mm de espesor y es el único compatible con el nuevo rodamiento R5 que se explicará más tarde. Se le denominará **Perfil Nuevo 4**.

Los planos de todos los perfiles se encuentran en el anexo A.

2.3 Diseño de piezas y herrajes

Cabe mencionar que en este apartado se explicaran solo las soluciones finales adoptadas. Por el camino quedaron decenas de diseños que fueron rechazados por distintos aspectos como estética, no adaptarse exactamente a los requisitos del cliente, por ser más difíciles de mecanizar que otras soluciones equivalentes o por resultar fallidas en el cumplimiento de su función.

A continuación se detallará la fase de diseño de las 23 piezas encargadas a Prototec por el cliente. Algunas de estas piezas son a su vez conjuntos de piezas y otras son un solo cuerpo. En ocasiones algunos de esos conjuntos, como los tiradores, comparten una o más piezas en común. Además algunas otras piezas comparten funcionalidad, aunque no geometría ya que pertenecen a perfiles o modelos de mamparas distintos. Por todo ello para explicarlos se han agrupado en función de esos criterios.

2.3.1 Topes interiores. Elementos R1 y R23

Los primeros elementos que nos ocupan son los topes que se colocan en el interior de los perfiles. Se fabricarían de aluminio ya que no están en una parte muy vista y no deberían entrar continuamente en contacto con el agua. Estos se ajustan a las caras con una tolerancia de 600 micras. La R1 es para el perfil proporcionado por el cliente (Perfil Antiguo) y el R23 para el Perfil Nuevo 3. Ambos llevan una contera de plástico para amortiguar el impacto del herraje correspondiente y un espárrago Allen que permita fijarlos en el perfil tal y como se muestra en las figuras.

R1 se fabricaría a partir de un listón de aluminio de sección cuadrada de 20x 20 mm del cual hay que rebajar 3 mm de una de las caras. Cabe añadir que el R23 es la única pieza que está pensada para fabricarse a partir de una pletina de aluminio debido a su sección rectangular con una dimensión bastante mayor que la otra.

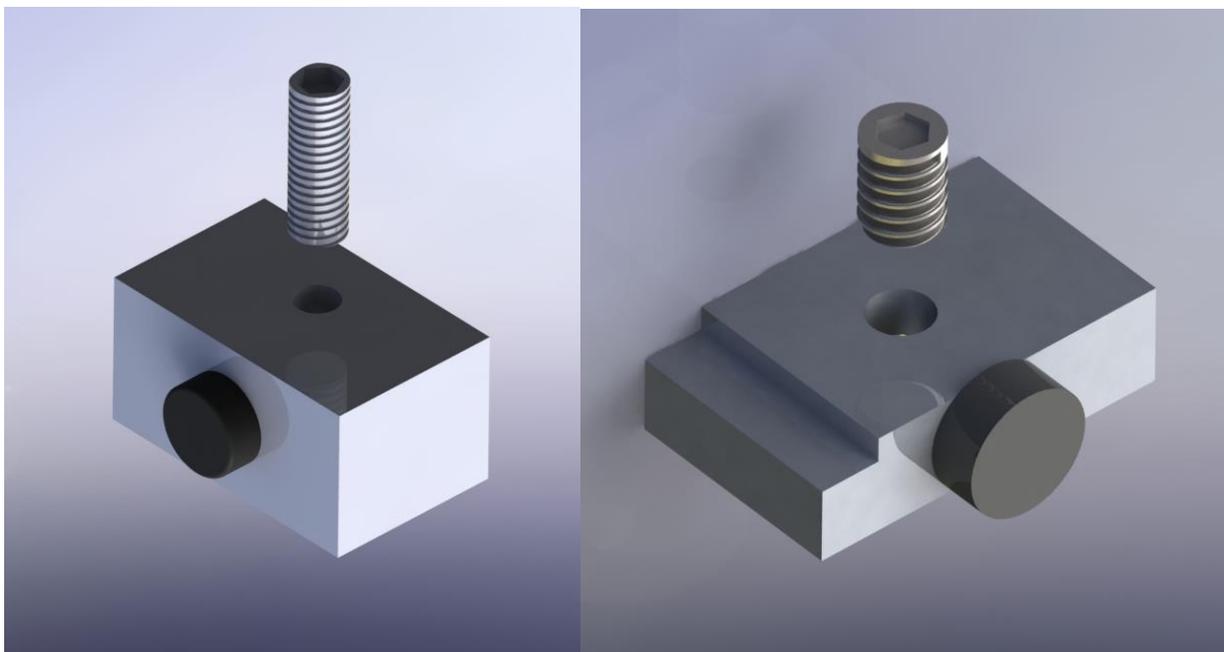


Figura 2-6. R1 y R23.

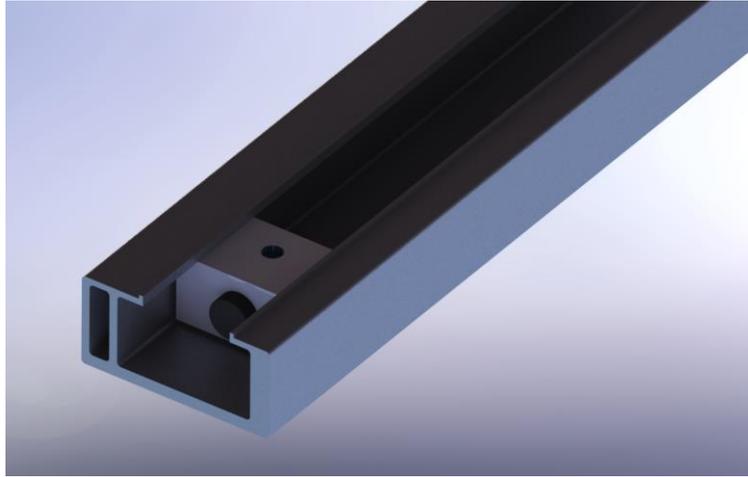


Figura 2-7. R1 montada.

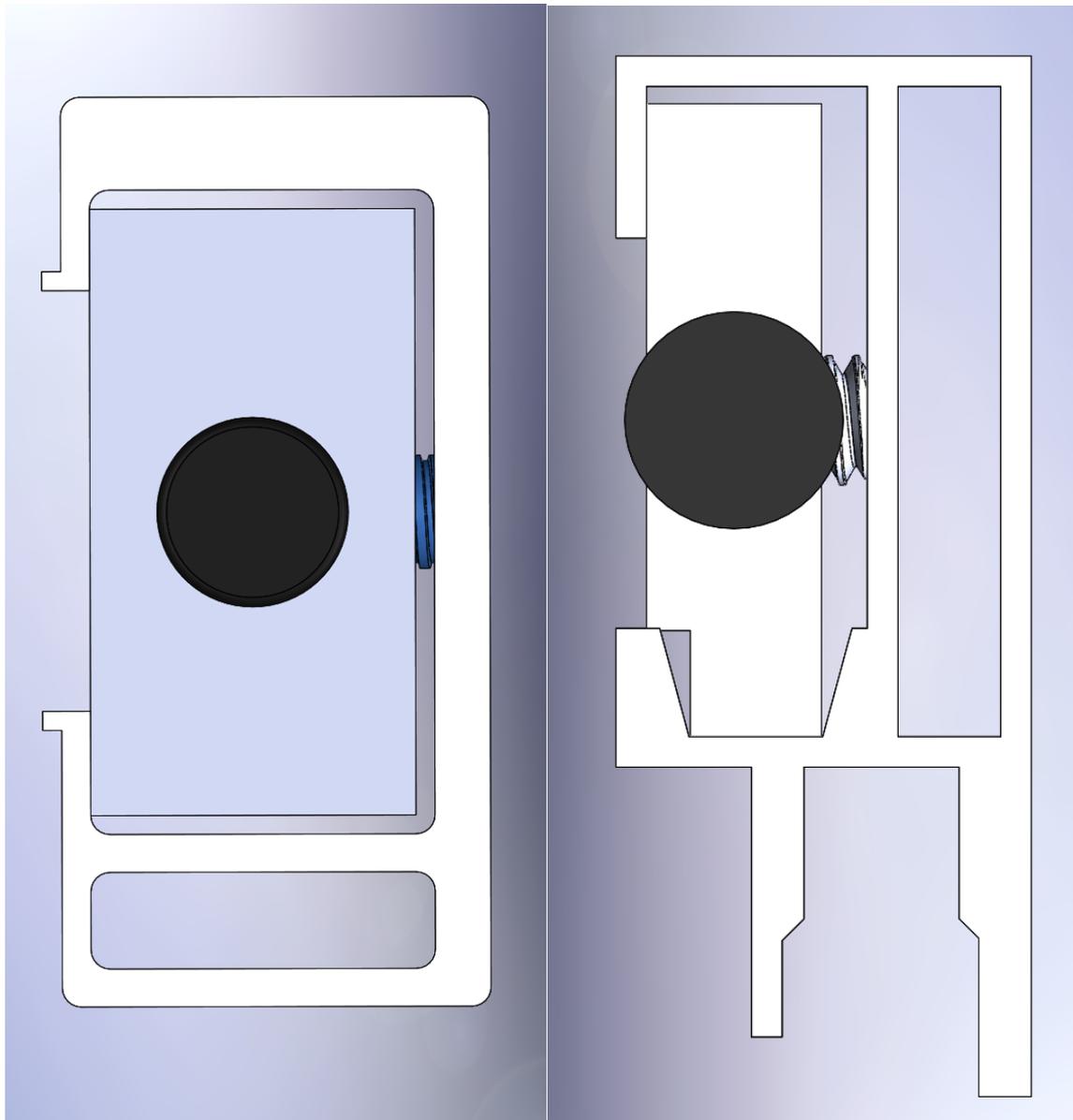


Figura 2-8. Perfil de R1 y R23 montadas.

2.3.2 Cogida guía. Elemento R2

El elemento R2 es una pieza que sirve de anclaje entre el perfil de aluminio original (Perfil Antiguo) y la pared. La geometría vino bastante fijada por el cliente, en concreto la forma de L y los agujeros avellanados que son para una tornillería concreta que Prototec no tenía que suministrar. Al ser compatible con el Perfil Antiguo también debía ser compatible con el Perfil Nuevo 4. Para fijar la pieza al interior del perfil se usa un espárrago Allen tal y como se muestra en la figura.

El material escogido para la fabricación es el aluminio 2030, decisión que se toma en base a dos factores. Inicialmente y debido a la geometría en forma de L se planteó fabricar la R2 en dos piezas que estuviesen unidas la una a la otra mediante tornillería, de esta manera se optimizaría el material ya que una partiría de una pletina y otra de un prisma sin apenas vaciar. Sin embargo finalmente se optó por fabricar la pieza entera desde un prisma cuadrado con el objetivo de hacer más sencilla la operación, lo cual implica realizar un vaciado considerable y desaprovechando una gran parte del material original.

Para que esto salga rentable es necesario que el material sea barato y lo que se desperdicie sea compensado claramente por lo que se gana en tiempo de manufacturación, por ello se escoge el aluminio y no el latón. Además la cogida es poco vista en el montaje final y está colocada en un lugar en el que no debería estar muy expuesto al contacto constante de agua.

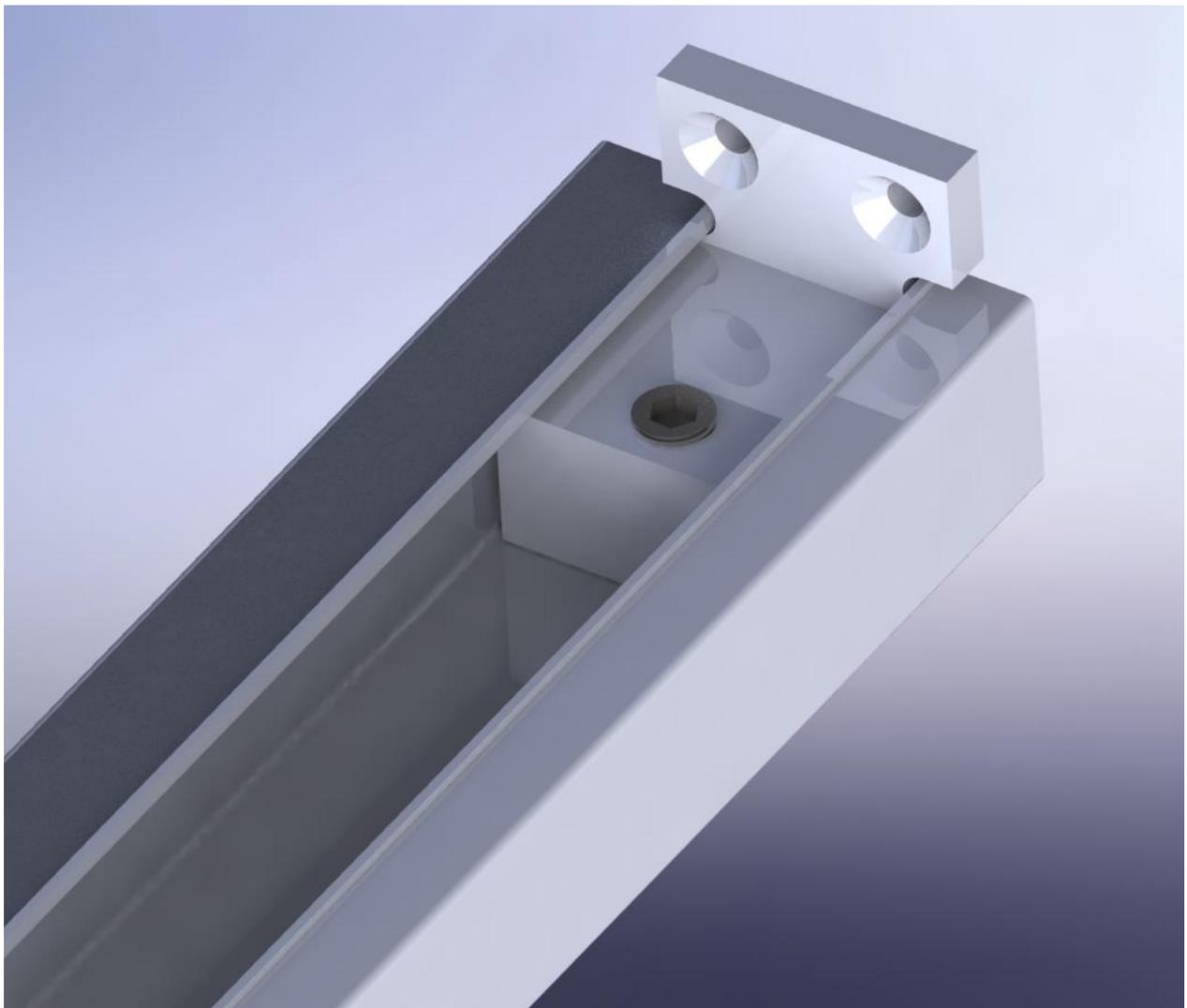


Figura 2-9. R2 montada.

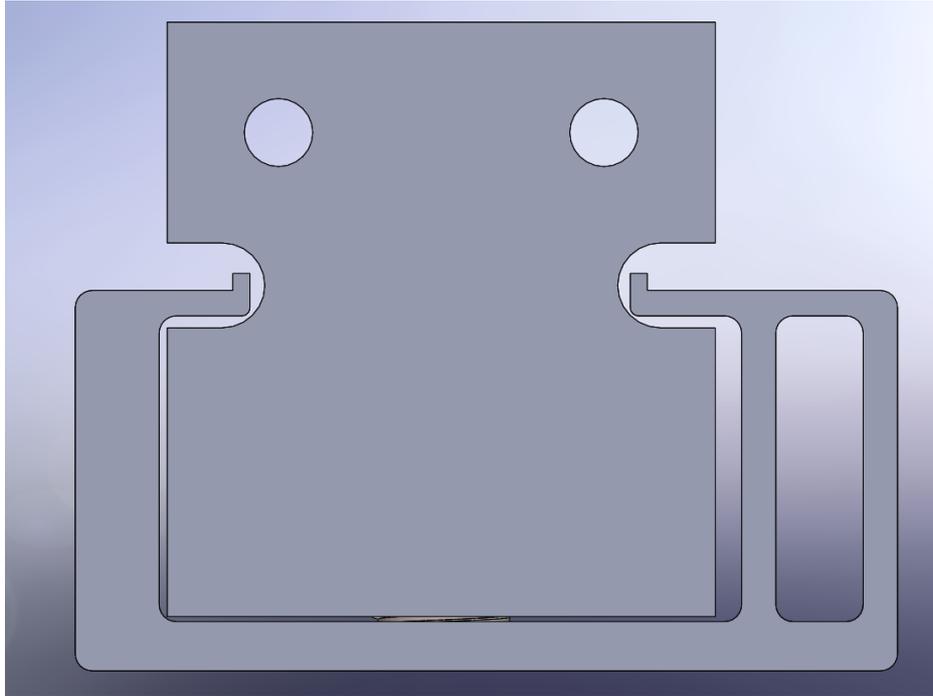


Figura 2-10. Perfil trasero de R2 montada.

2.3.3 Vasos embellecedores. Elementos R3, R4, R17, y R18

Los vasos embellecedores son dos parejas de herrajes que son simétricos (R3 y R4 para el Perfil Antiguo y para el Perfil Nuevo 4, R17 y R18 para los Nuevos Perfiles 1, 2 y 3) que actúan al igual que R2 de cogida entre el perfil y la pared pero que además tienen una función estética. Al tener caras totalmente vistas el material empleado para su fabricación es el latón.

En R3 y R4 el perfil de aluminio queda encajado en el hueco interior con un juego de entre 500 micras y 1 mm y luego asegurado con pernos de apriete. La situación de los pernos está pensada para ser compatible al colocar el perfil en los dos sentidos, dando más posibilidades de instalación. La geometría de los agujeros avellanados fue proporcionada por el cliente.

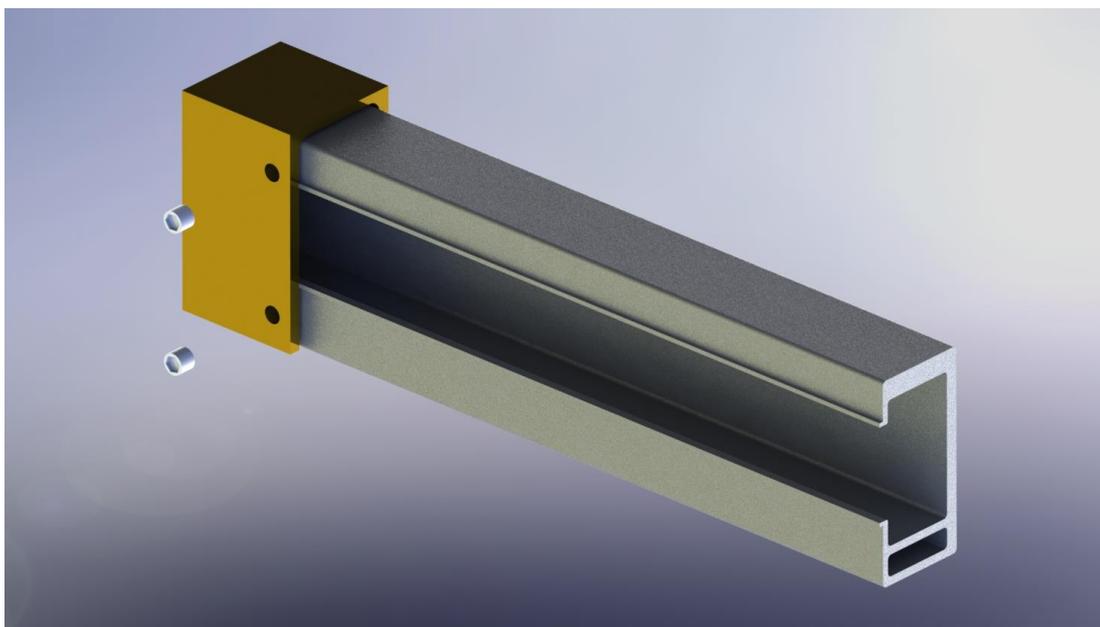


Figura 2-21. Montaje de R3.

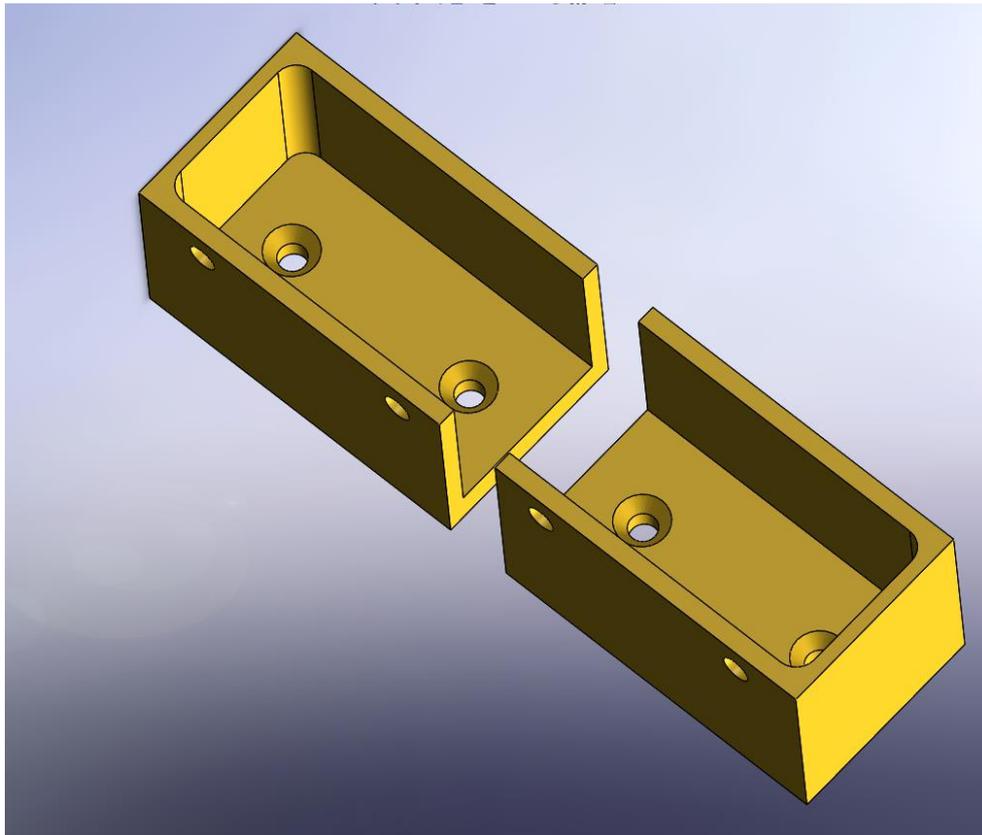


Figura 2-12. Imagen CAD de R3 y R4.

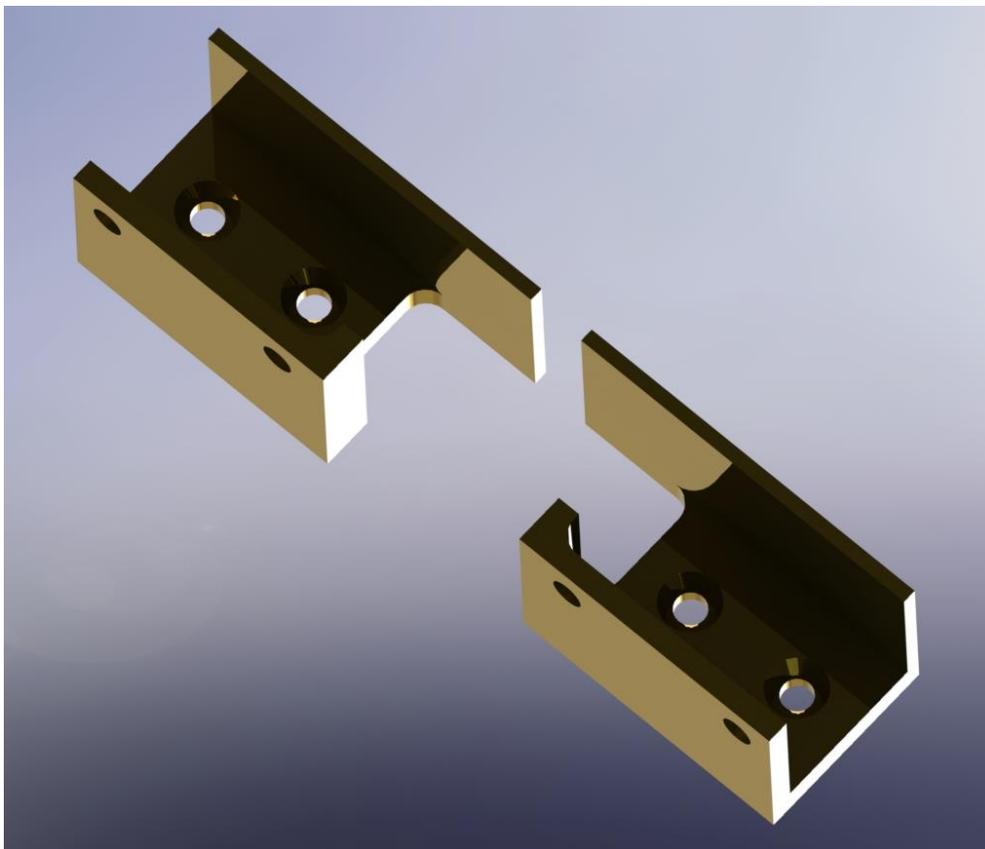


Figura 2-13. R17 y R18.

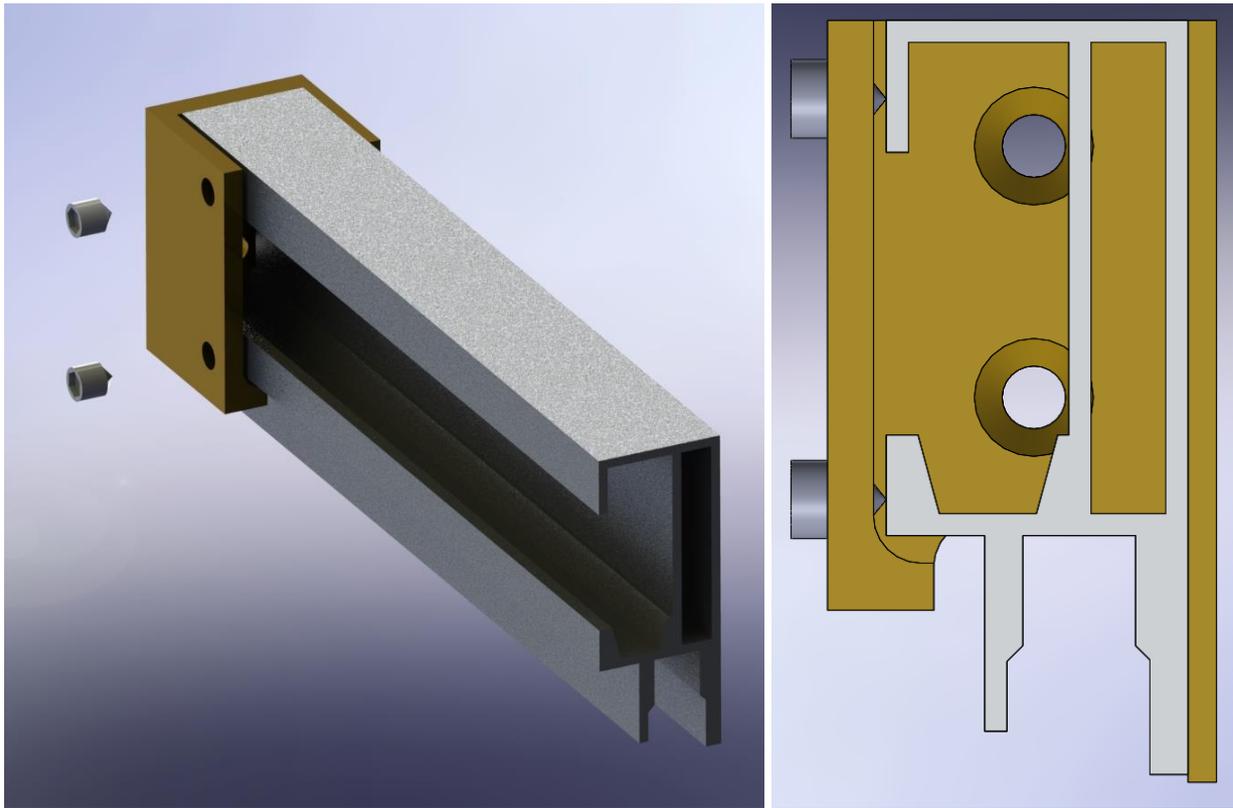


Figura 2-34. Montaje y posición de R17.

En los vasos R17 y R18 el perfil queda reposado sobre el borde interior de la pieza y luego asegurado con los pernos de apriete. El vaciado en forma de arco que llega hasta el fondo se debe a una cuestión tanto estética como funcional (el arco debía quedar por encima del hueco para los cristales del Perfil Nuevo 3, de tal manera que pudiese atravesar el vaso por debajo si fuese necesario tal y como se muestra en figura 2-34) y como se verá más adelante supuso un problema en su mecanización ya que dejaba una pared fina con poco cuerpo que le proporcionara robustez. El espacio entre el borde sobre el que se apoya la pieza y la pared contraria está optimizado para que entre la fresa de desbaste más grande posible (10 mm). Al igual que en los anteriores la geometría de los agujeros avellanados fue dada.

2.3.4 Rodamiento. Elemento R5

El cliente deseaba un rodamiento que fuese estéticamente bonito y que tuviese una dimensión específica. El Perfil Antiguo no era compatible con esta dimensión, por lo que esta pieza fue la más importante a la hora de diseñar el Perfil Nuevo 4, que es el único pensado específicamente para la R5.

Aunque la dimensión del rodamiento de bolas era dada por el cliente, el recubrimiento no, por lo que se optó por una pieza de acetal o delrin que lo contiene encajándolo y evitando que se salga con un pequeño labio.

A su vez un tornillo avellanado atraviesa el rodamiento quedando limitado por el cabezal del propio tornillo. Este es cubierto con una camisa que se encaja y une el rodamiento a la siguiente pieza, la cual tiene otro agujero roscado excéntrico. La razón de esto es porque al haber una excentricidad se puede girar la pieza completa una vez unida a la mampara, pudiendo de esa forma ajustar la altura del cristal a la deseada por el operario teniendo de juego vertical el diámetro de dicha circunferencia.

Además la pieza contiene dos gomas para no dañar el cristal que son proporcionadas por el cliente.

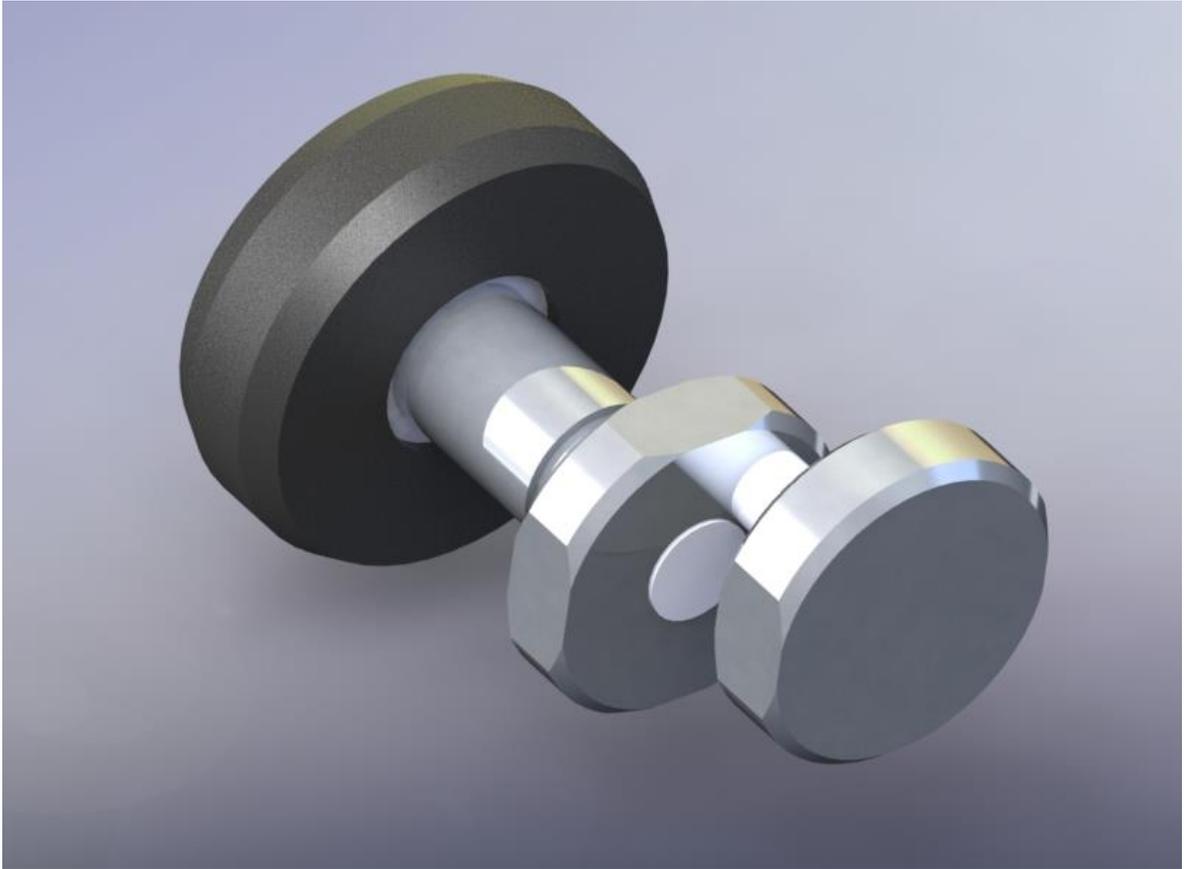


Figura 2-45. R5.

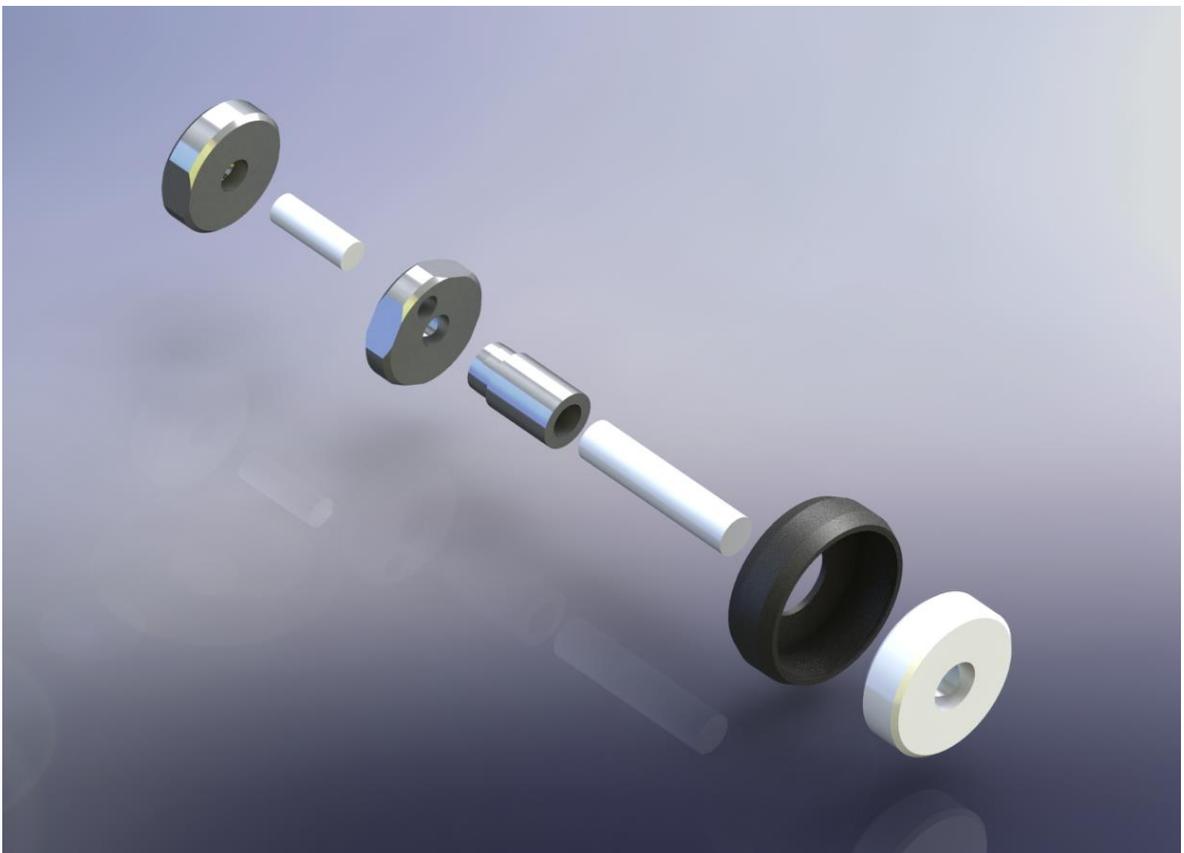


Figura 2-56. R5 explosionada.



Figura 2-67. R5 montada.

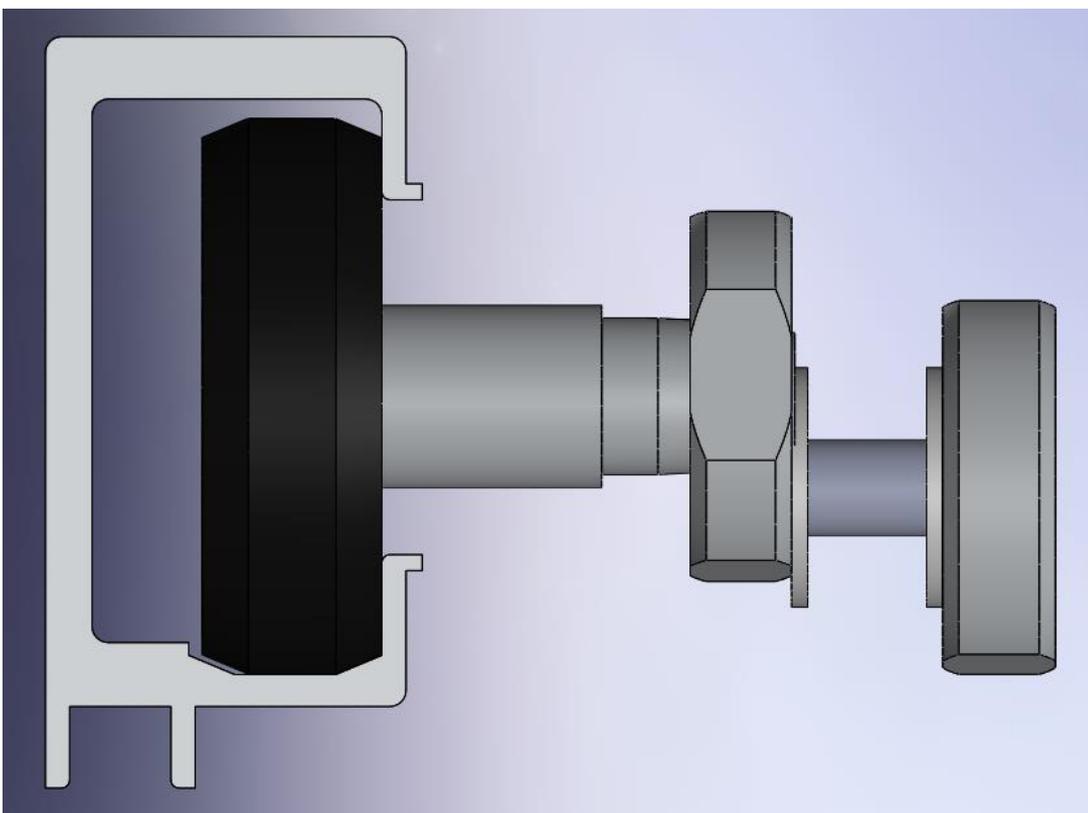


Figura 2-78. Perfil de R5 montada.

Por último está la pieza estética que aprisiona el cristal, que puede ser de 6 u 8 mm tal y como se muestra en las figuras anteriores.

2.3.5 Tiradores. Elementos R6, R7, R8 y R9

Los tiradores son cuatro piezas divididas de la siguiente forma.

Dos tiradores simples (R6 y R8), uno para pequeñas mamparas y otro para mamparas grandes, que deben tener una parte exterior que será donde esté colocado el tirador en sí y una parte interior que tenga al menos un pomo. El diseño es así por una cuestión meramente estética. Lo único que vino predefinido fue la distancia entre los dos agujeros en el cristal para ambos casos, además del grosor del propio cristal que sería de 6 u 8 milímetros.

Estos tiradores están compuestos de cinco piezas aparte de la tornillería y están pensados para que todas las piezas sean compatibles entre los dos tipos exceptuando a la barra que cambia bastante de longitud entre uno y otro. Como se observa en la siguiente figura solo los pomos quedan expuestos constantemente al agua por lo que se fabricarían de latón, quedando la barra y los cilindros roscados fabricados en aluminio.

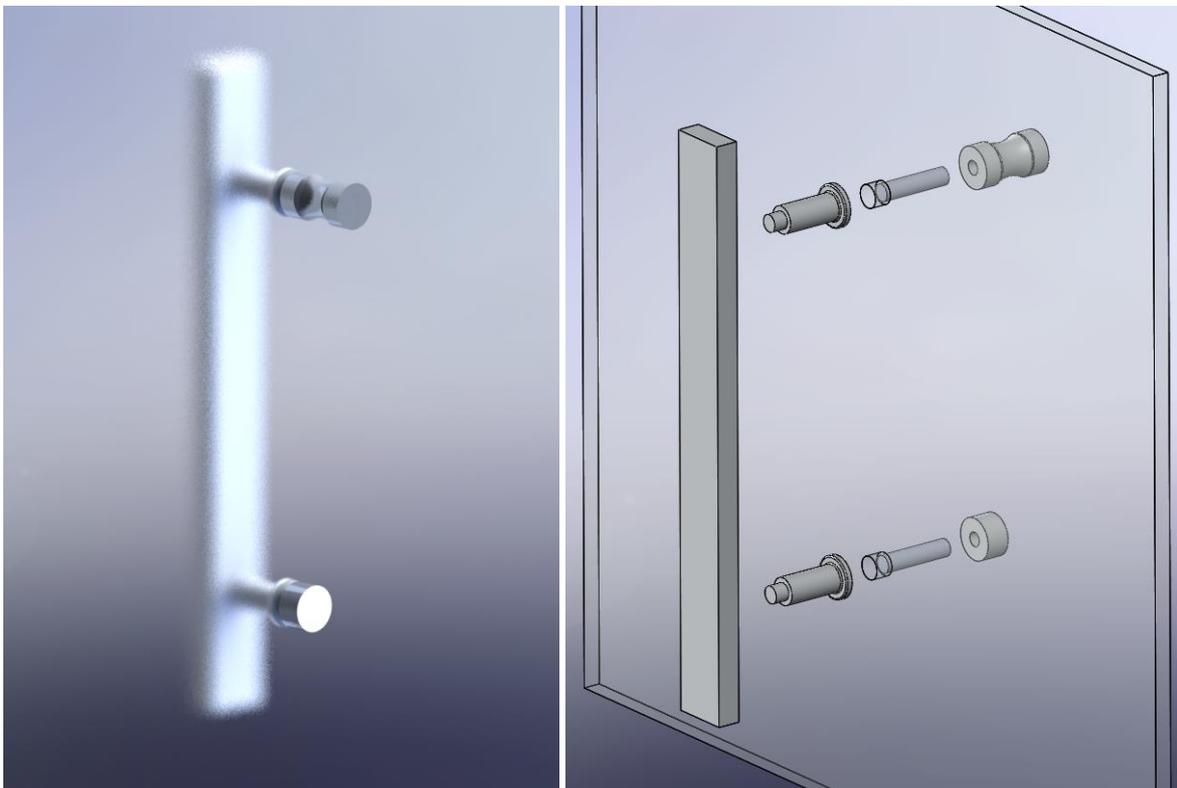


Figura 2-89. R6 montada y explosionada.

Los otros dos tiradores (R7 y R9) son dobles. Al igual que los dos anteriores se diferencian por el tamaño de las barras de agarre, siendo compatibles entre ellos 6 de sus 8 piezas además de la tornillería.

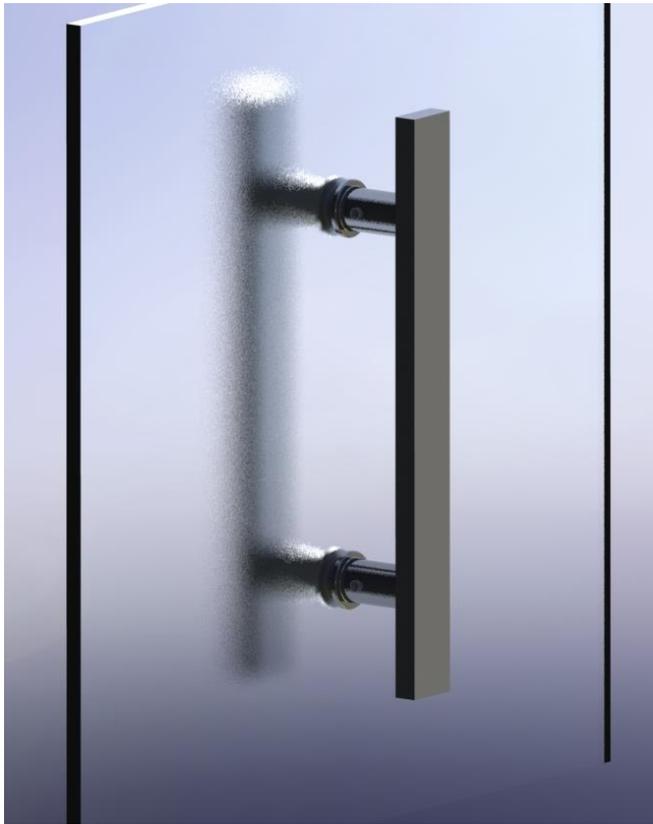


Figura 2-20. R7 y R8 montadas.

Para montarlo primero se roscan los dos cilindros huecos a la barra exterior mediante los dos tornillos de acero inoxidable y a continuación los dos cilindros roscados a la barra interior. Luego se coloca la barra interior en el cristal con sus dos espárragos y sus cuatro gomas de protección, para después roscar por el otro lado las dos camisas interiores quedando de esta forma uno de los dos tiradores totalmente fijo. Por último se coloca el segundo tirador de tal forma que sus cilindros huecos recubran las dos camisas y se roscan los pernos de punta que deberían encajarse en la hendidura interior de la camisa dejando todo el sistema fijo. La barra interior y los cilindros huecos se fabricarán en latón y el resto en aluminio.

Cabe destacar que se optó por fijar el lado exterior con tornillos en lugar de poner la rosca en el propio cilindro como en el tirador interior, porque de esta manera el cilindro puede rotar sobre su propio eje sin aflojarse y el operario puede colocar los agujeros de los pernos de la forma que considere oportuna para mejorar la estética del conjunto.

Al igual que en los anteriores tiradores el cliente solo proporcionó las distancias entre los agujeros del cristal y los grosores posibles del mismo, lo cual siempre influye en la elección de la tornillería y en el diseño de los agujeros roscados.

Además de esta pieza se llegaron a hacer 5 prototipos que se descartaron porque daban problemas que este diseño solucionó.

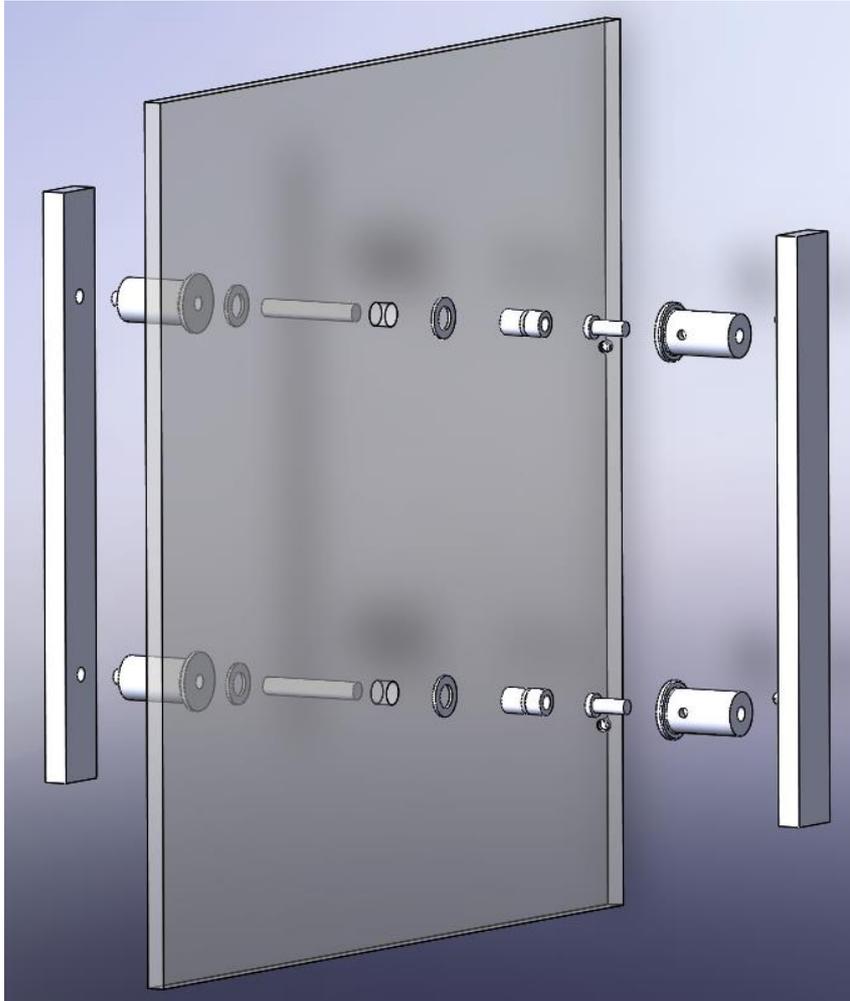


Figura 2-21. R6 explosionada.

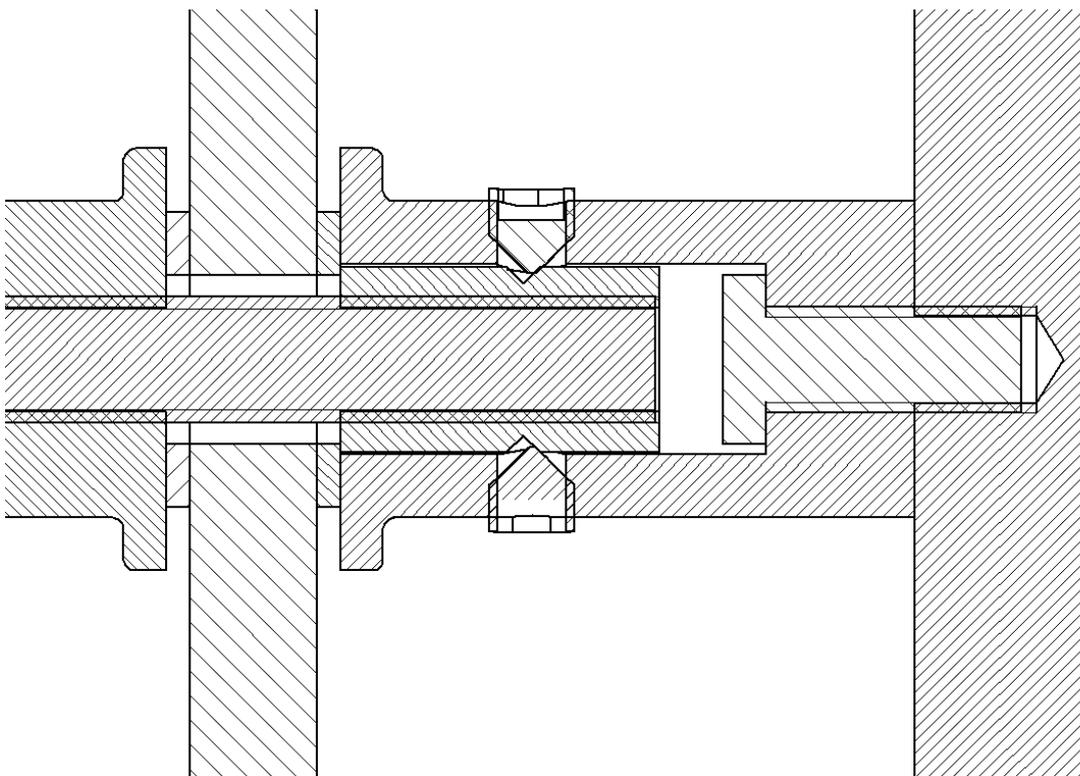


Figura 2-22. Corte R6 montada.

2.3.6 Pinzas guía. Elementos R10, R11, R20, R21 y R22

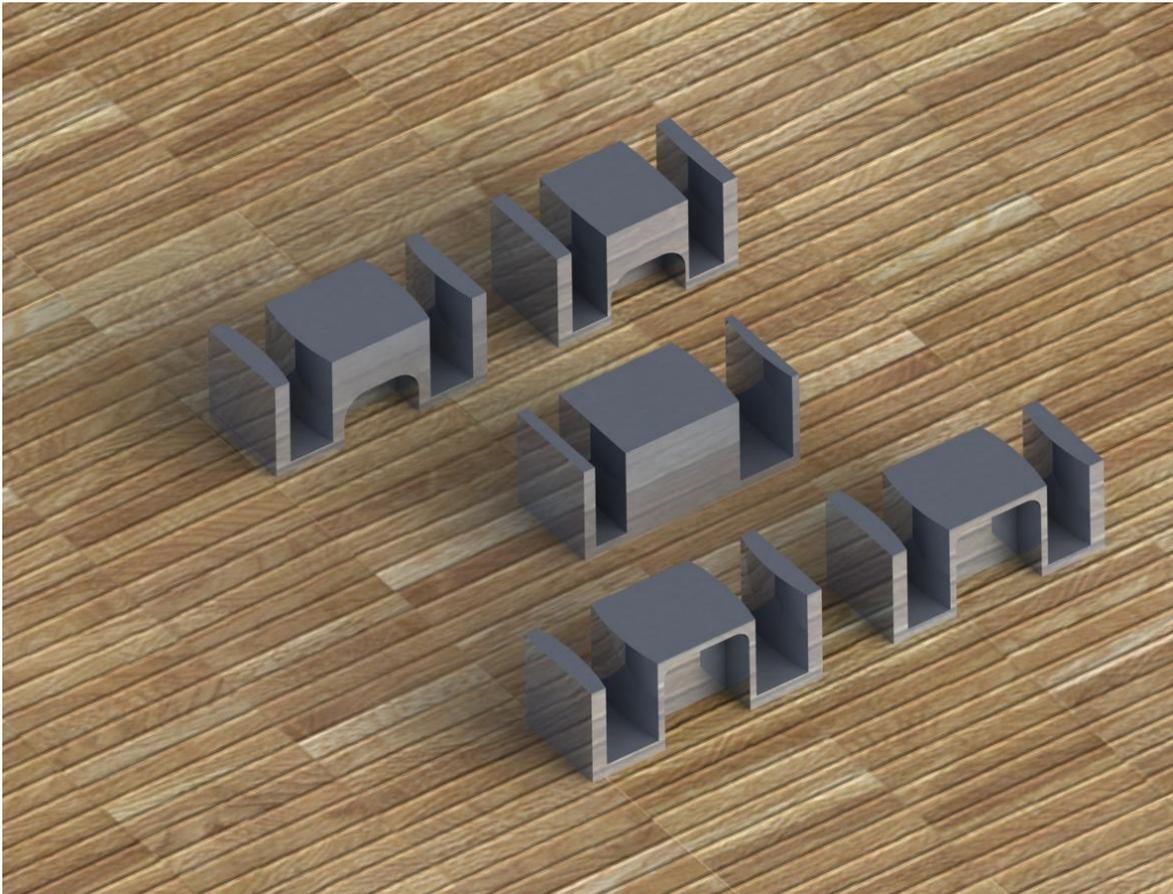


Figura 2-23. R10, R11, R20, R21 y R22.

Las pinzas guías son elementos fijos colocados en la parte inferior del montaje y que sirven de apoyo y guía para los cristales de los diferentes modelos de mamparas. Todas se diseñaron para fabricarlas a partir de un listón de latón cuadrado de 20mm de lado.

La anchura de la pinza viene siempre con un límite superior dado, pero en general la anchura final de todas ellas fue inferior para ahorrar en costes de materiales, exceptuando la R21 que si fue necesario apurar al máximo su dimensión debido a otros requisitos.

Otra dimensión dada, para cada caso, es la distancia aproximada a la que deben quedar los cristales, lo cual fija el espesor del cuerpo central de las pinzas. Como se puede observar, los canales están curvados hacia fuera, de esta manera el montaje tiene más juego y se evitan chirridos provocados por un encaje que no es perfecto y que a la larga pueden dañar el sistema. Estas curvas están ajustadas a cada pieza intentando que sean lo más abierta posible dentro de unos límites.

Las pinzas R10 y R11 están pensadas para que encaje cierto perfil de plástico proporcionado por el cliente. El perfil entra en los dos sentidos, dando más posibilidades de montaje. Sin embargo y por petición del cliente cierta cara del perfil tiene que estar en contacto con el suelo ya que de otra manera no encajaría, evitando así un montaje erróneo por parte del operario. R10 es para cristales de 6 mm y R11 para cristales de 8 mm.

La pinza R22 tiene la particularidad de no tener curvatura en uno de los dos canales ya que el cristal apoyado en dicho canal debe estar fijo. Además su canal curvado es más ancho de lo normal ya que el cristal de ese modelo llevaría una goma de silicona cuyas dimensiones son conocidas. Solo es válida para cristales de 6mm.

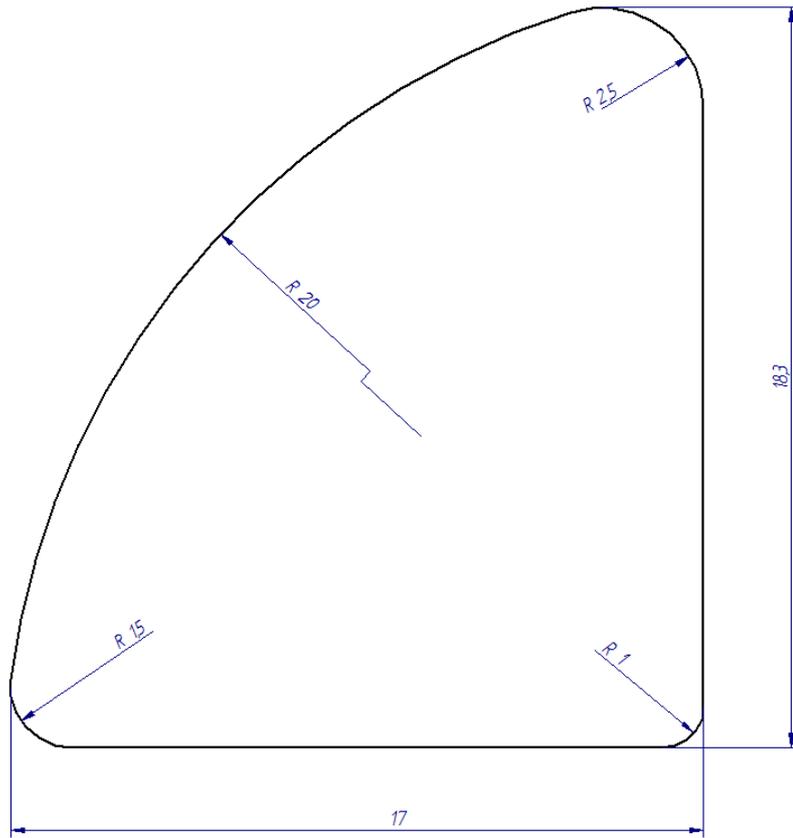


Figura 2-24. Sección del perfil de plástico para las pinzas R10 y R11.

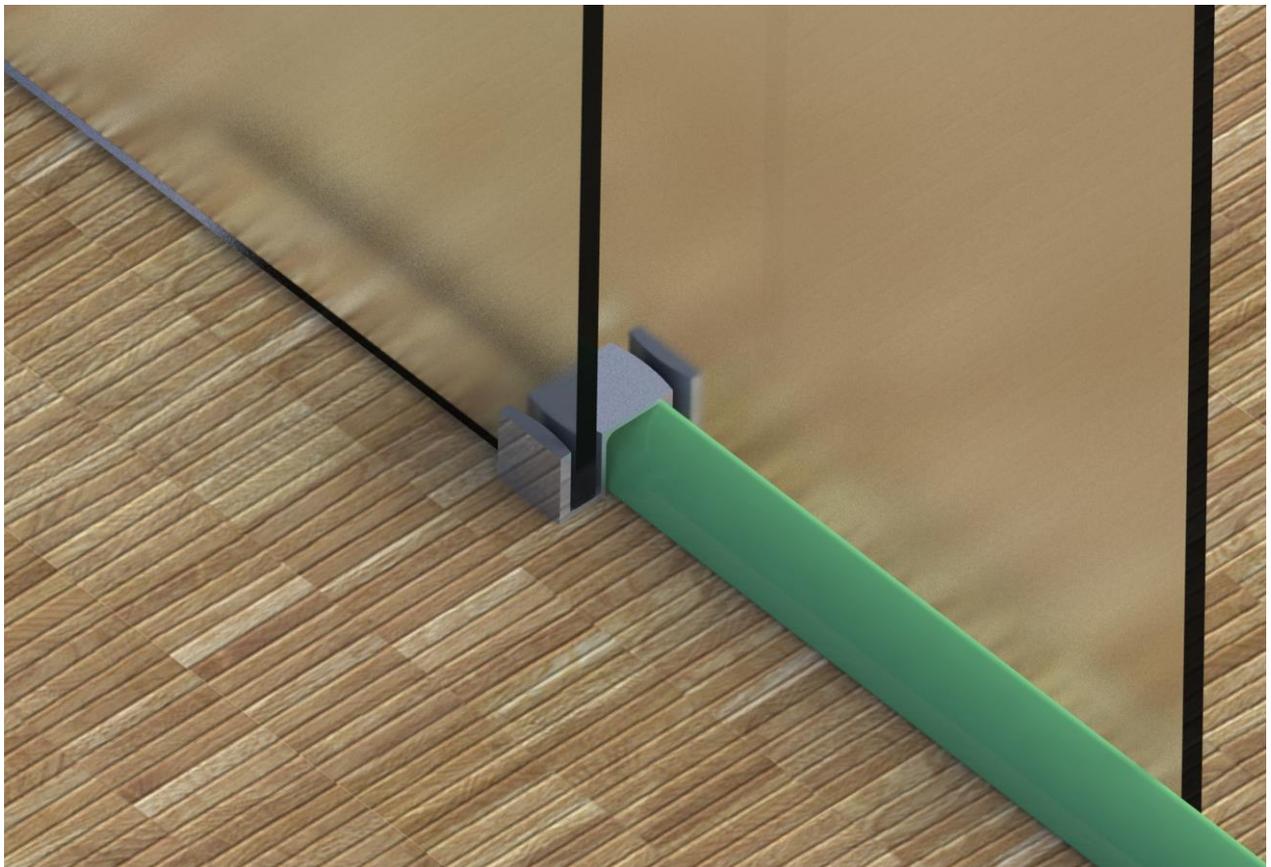


Figura 2-25. R10 montada.

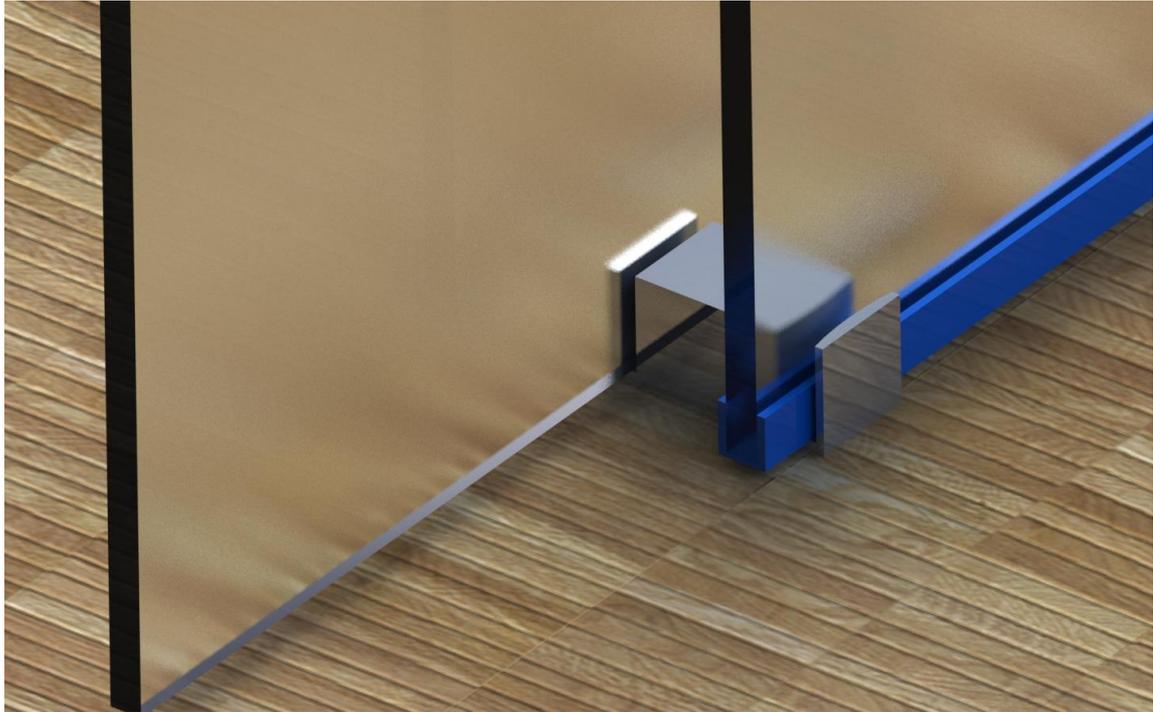


Figura 2-26. R22 montada.

Las pinzas R20 y R21 son para un futuro modelo de mini-mamparas de bajo coste. R21 es especialmente estrecha y ambas llevarían encajadas unas gomas de las que el cliente nunca llegó a proporcionar una muestra en mano pero de las que si se conocían sus dimensiones

2.3.7 Codos. Elementos R12 R19

Los codos R12 y R19 tienen la función de unir los perfiles de aluminio. Ambos se fabricarían en latón y partiendo de barras de sección 40x40 mm y 35x35 mm respectivamente.

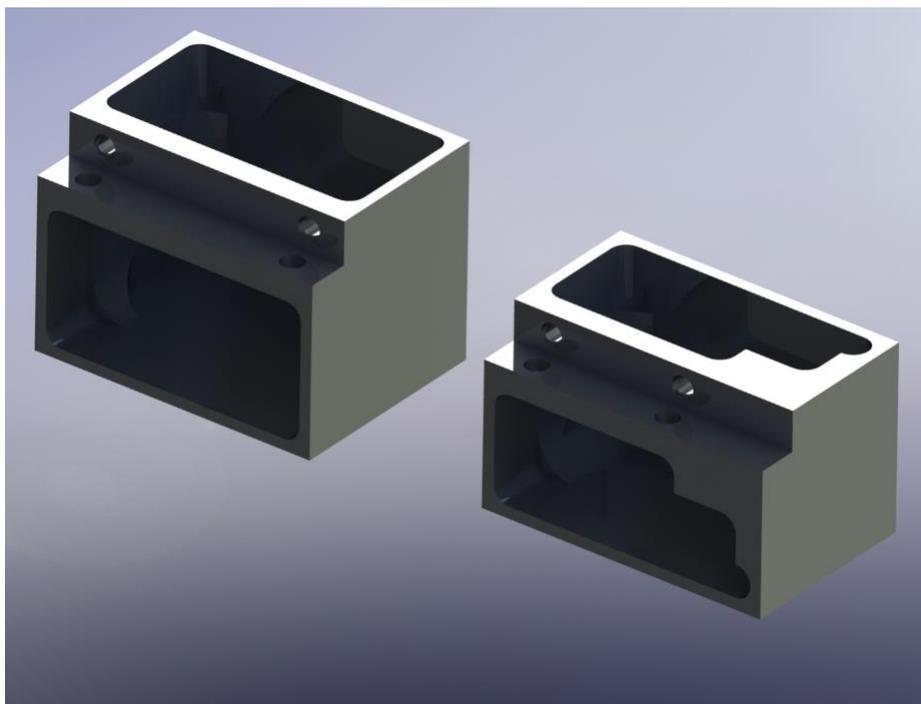


Figura 2-27. R12 y R19.

El codo R12 es más grande y es compatible con el Perfil Antiguo y el Perfil Nuevo 4. Su geometría es más simple y tiene dos planos de simetría, lo cual indica que está diseñado para meter el perfil en los dos sentidos posibles y encajar bien.

El codo R19 es más complejo, teniendo un solo plano de simetría y está ajustado para el Perfil Nuevo 3, aunque los Perfiles Nuevos 1 y 2 también son compatibles como se muestra en la figura 2-28.

Los codos están totalmente vaciados por dentro por motivos que se explicarán en el apartado de costes y van acompañados de 4 espárragos de sujeción M5 que se aprietan contra las paredes del perfil dejándolo totalmente fijo.

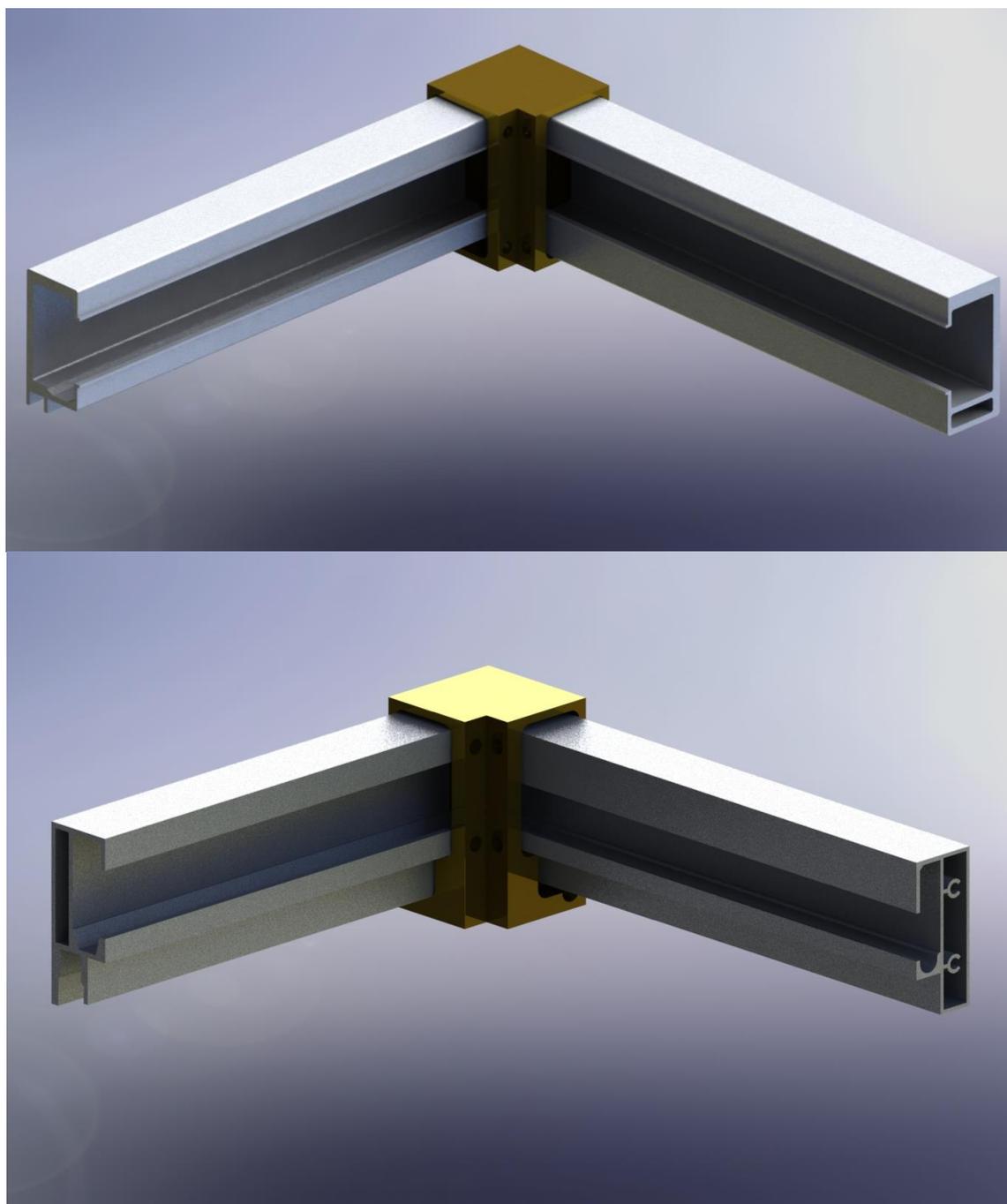


Figura 2-28. Compatibilidad de R12 y R19 con distintos perfiles.

2.3.8 Pinza superior. Elemento R13

La pinza superior es un elemento fijo de sujeción. El agujero avellanado es al igual que otros, dado por el cliente para que sea compatible con su propia tornillería de montaje. El agujero frontal de rosca M8 sirve para introducir un espárrago cuya longitud está pensada, al igual que el ancho del canal y de las paredes, para que quede estéticamente bien independientemente del ancho de cristal (6 u 8 mm).

Para proteger el cristal del apriete del espárrago se barajaron varias posibilidades, quedando finalmente seleccionados unos bumpers adhesivos proporcionados por Essentra Componentes. Su bajo coste y su facilidad para unirlos al espárrago fueron decisivos a la hora de seleccionarlos. Sin embargo en el lado malo los bumpers tienen poca elasticidad, por lo que pueden deformarse si se aprietan demasiado.

Esta pieza es la única que se fabricó un prototipo de cada metal (aluminio y latón) lanzado la oferta al cliente con las dos posibilidades, quedándose este finalmente con la opción de latón.

Las piezas se diseñaron para fabricarlas a partir de un listón cuadrado de 20x20 mm.

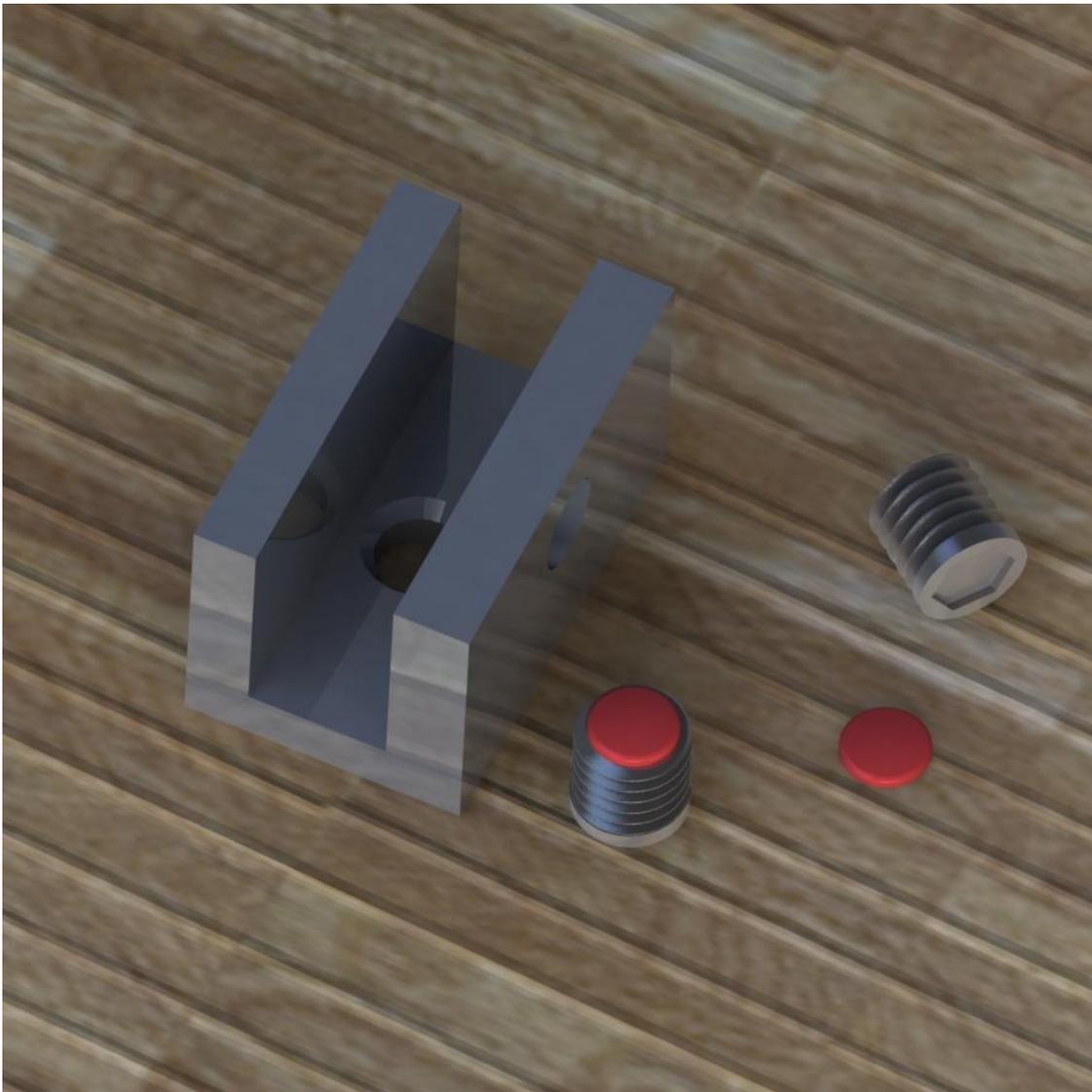


Figura 2-29. R13.

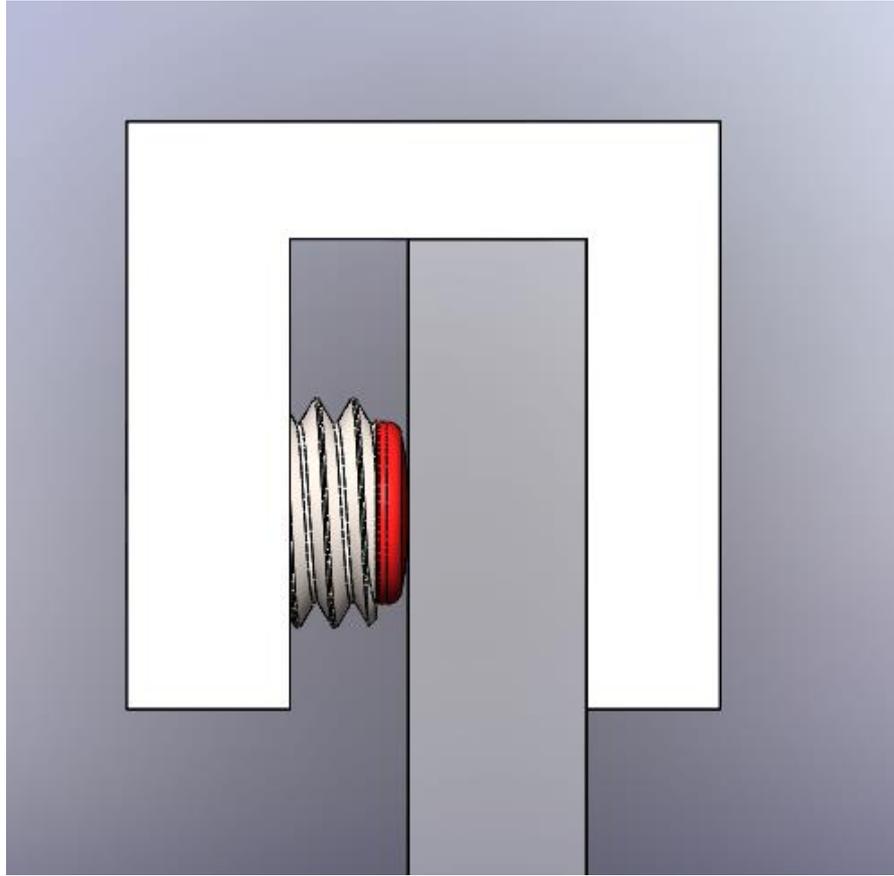


Figura 2-30. R13 perfil montado con un cristal de 6 mm.

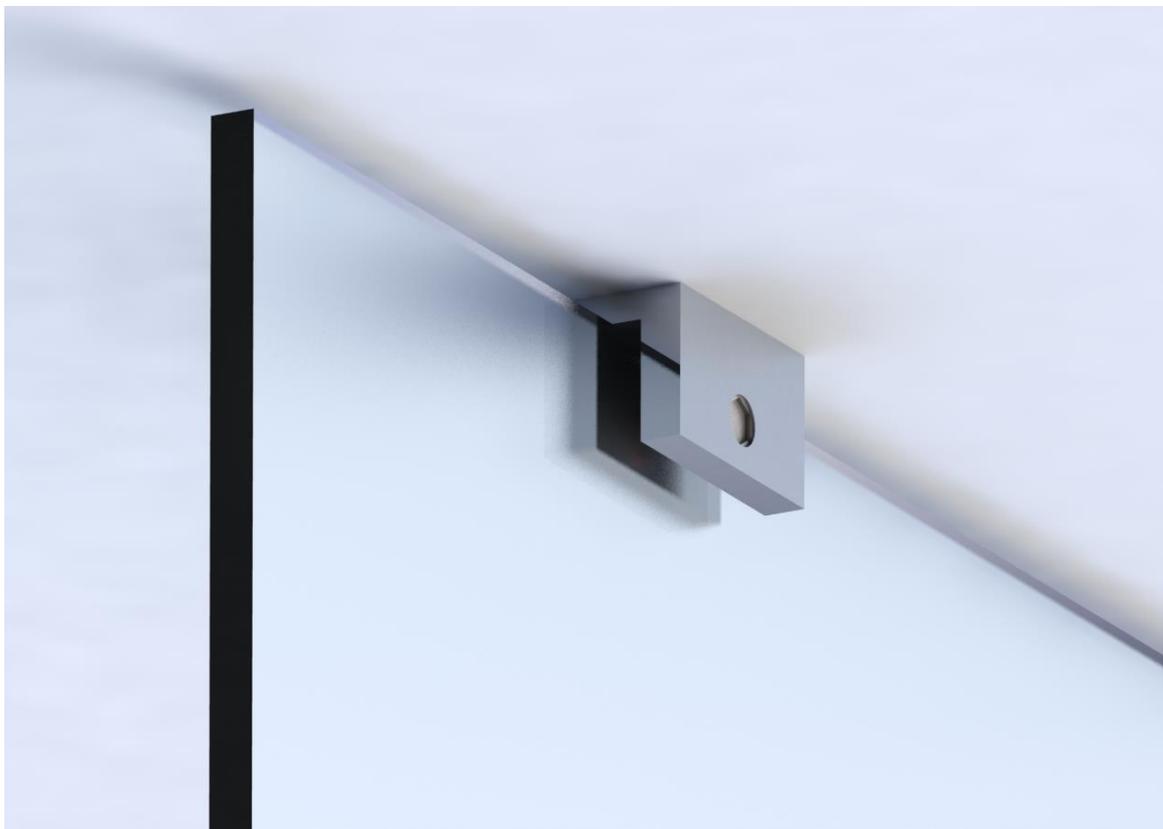


Figura 2-31. R13 montada.

2.3.9 Pomos. Elementos R14, R15 y R16

Para el diseño de estos pomos se contó con total libertad, estando únicamente delimitado el diámetro del eje que unía las dos caras del pomo. Originalmente se pedían dos tipos, uno grande y otro más pequeño, pero el cliente pidió precio también para la combinación de una pieza del pomo grande y otra del pequeño dando como resultado un tercer pomo.

Se optó por el diseño que se aprecia en la siguiente imagen, simple pero estéticamente bonito. Se decidió que todas las piezas fuesen de latón ya que no había predefinidas una pieza interior de la mampara y una exterior, además de que hacer un lado de cada material habría desplazado demasiado el centro de gravedad del conjunto.

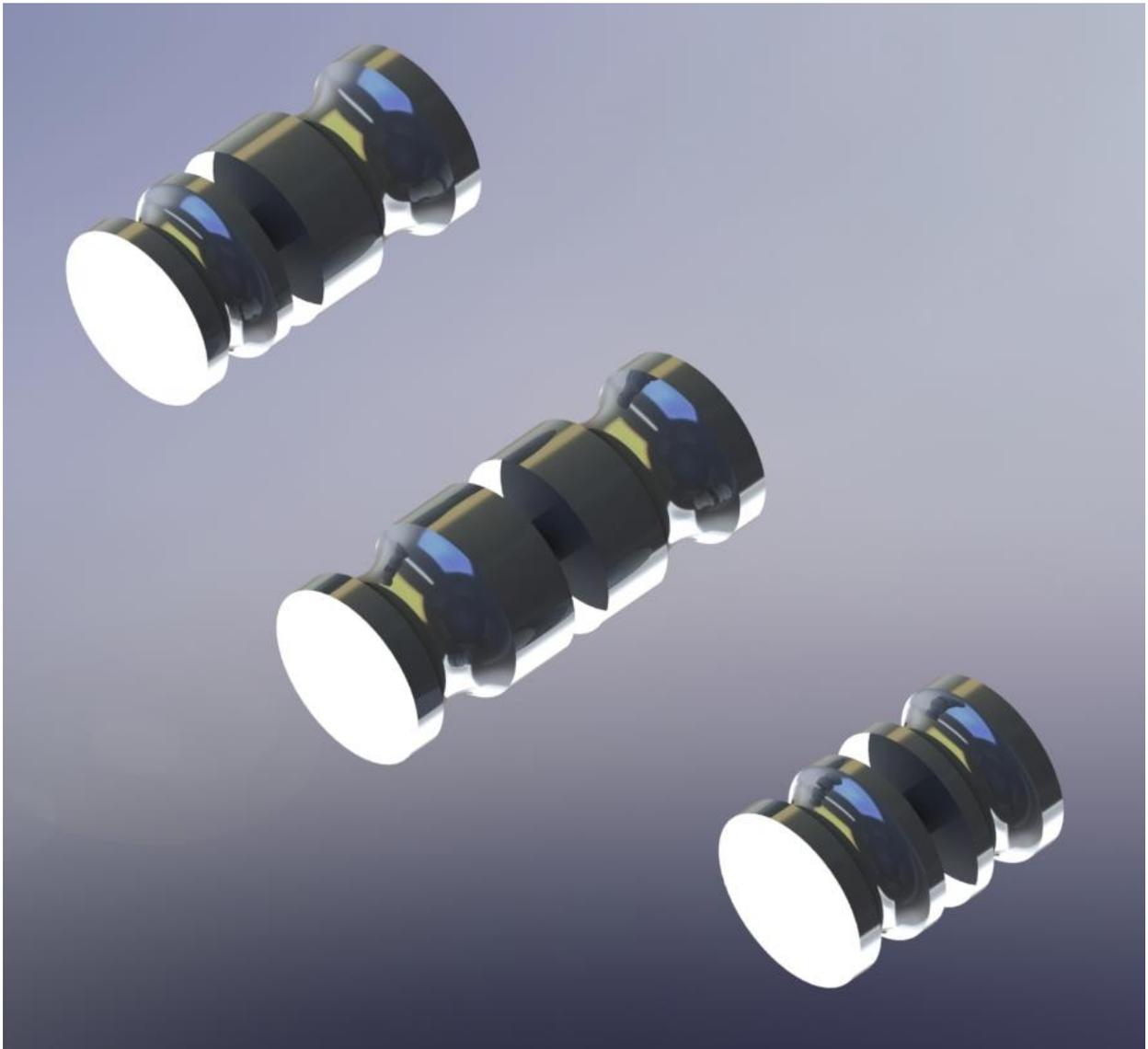


Figura 2-32. R14, R15 y R16.

2.4 Tornillería y elementos auxiliares

Como se ha explicado en el punto anterior casi todas las piezas llevan asociadas tornillería y accesorios, los cuales era responsabilidad de la empresa proporcionarlos ya que entraban en el precio final.

Las dimensiones de todos estos elementos están optimizadas desde el punto de vista funcional y estético, lo que influyó en gran medida en el propio diseño de piezas. Además la propia búsqueda de los elementos específicos necesarios puede ser un reto, ya que muchas veces es posible encontrarse con barreras como pedidos mínimos desorbitados o costes de envío inasumibles. Por todo ello muchos de los elementos de esta lista no son los más baratos o mejores del mercado, pero si son los mejores posibles en el contexto de la empresa, quedando su optimización pendiente cuando se contase con más fondos y con una previsión de la demanda de nuevas piezas más segura y estable.

A continuación se muestra un resumen de los elementos necesarios.

Tabla 2-5. Tornillería necesaria para las piezas.

Pieza	Tornillería	Proveedor	Referencia
R1	1xEspárrago Allen M6x18	Rational Stocks	930 M INOX A2 6x18
R2	1xEspárrago Allen M8x18	Rational Stocks	930 M INOX A2 8x18
R3	2xEspárrago Allen M5x5	Rational Stocks	930 M INOX A2 5x5
R4	2xEspárrago Allen M5x5	Rational Stocks	930 M INOX A2 5x5
R5	1xEspárrago Allen M8x20	Rational Stocks	930 M INOX A2 8x20
	1xTornillo Avellanado M6x25	Rational Stocks	Din 7991 6x25
R6	2xEspárrago Allen M6x40	Rational Stocks	930 M INOX A2 6x40
R7	2xEspárrago Allen M6 x35	Rational Stocks	930 M INOX A2 6x35
	4xEspárrago Punta Cónica M4x4	WASI	914 M4 4
	2xTornillo Cilíndrico M5x12	Rational Stocks	912 5x12
R8	2xEspárrago Allen M6x40	Rational Stocks	930 M INOX A2 6x40
R9	2xEspárrago Allen M6 x35	Rational Stocks	930 M INOX A2 6x35
	4xEspárrago Punta Cónica M4x4	WASI	914 M4 4
	2xTornillo Cilíndrico M5x12	Rational Stocks	912 5x12
R12	4xEspárrago Allen M5x6	Rational Stocks	930 M INOX A2 5x6
R13	1xEspárrago Allen M8x6	Rational Stocks	930 M INOX A2 8x6
R14	1xEspárrago Allen M6x25	Rational Stocks	930 M INOX A2 6x25
R15	1xEspárrago Allen M6x25	Rational Stocks	930 M INOX A2 6x25

R16	1xEspárrago Allen M6x25	Rational Stocks	930 M INOX A2 6x25
R17	2xEspárrago Allen M5x5	Rational Stocks	930 M INOX A2 5x5
R18	2xEspárrago Allen M5x5	Rational Stocks	930 M INOX A2 5x5
R19	4xEspárrago Allen M5x5	Rational Stocks	930 M INOX A2 5x5
R23	1xEspárrago Allen M6x10	Rational Stocks	930 M INOX A2 6x10

Tabla 2-6. Accesorios necesarios para las piezas.

Pieza	Elementos auxiliares	Proveedor	Referencia
R1	1xContera de plástico	ISC Plastic Parts	00300410029 N
R5	2xArandela PVC 1xRodamiento bolas D30 d10	Cliente ISB	--- 6200
R6	4xArandela Plástico	Essentra Componentes	470835
R7	4xArandela Plástico	Essentra Componentes	470835
R8	4xArandela Plástico	Essentra Componentes	470835
R9	4xArandela Plástico	Essentra Componentes	470835
R13	1xBumper Silicona Adhesivo	ISC Plastic Parts	00300401147
R14	2xArandela Plástico	Essentra Componentes	470835
R15	2xArandela Plástico	Essentra Componentes	470835
R16	2xArandela Plástico	Essentra Componentes	470835
R23	1xContera de plástico	Proveedor Local	---

3 COSTES Y OFERTA FINAL

Una buena estimación de los costes es fundamental para este proyecto ya que se esperan márgenes de beneficio estrechos, por lo que se decidió trabajar con supuestos pesimistas debido a que al ser la primera experiencia como empresa de mecanizados no se contaba con un historial de otras operaciones y se esperaba la aparición de imprevistos que elevaran los costes, tal y como sucedió.

Este cálculo sirvió como base en la negociación de los precios con el cliente y fue fundamental en el momento de tomar la decisión de qué era posible fabricar y que no, como se verá al final del capítulo.

Cabe mencionar que la negociación se planteó como un todo, es decir, que se buscó un beneficio máximo total y no maximizar el beneficio de pieza a pieza, lo cual tuvo consecuencias como se verá más adelante. Sin embargo si se hizo desde el principio una clara diferenciación por dos categorías, piezas de torno y piezas de fresado normal. Para las piezas de torneado no se planteó un cálculo de costes tan exacto ya que Prototec no dispone actualmente de torno CNC y era necesario subcontratar la fabricación a un tercero.

Además el cliente proporcionó unas estimaciones de consumo en función de sus planes de producción, los cuales son importantes en algunos de los cálculos y sobre todo a la hora de estimar el beneficio bruto potencial al mes.

3.1 Aspectos considerados

Es importante remarcar que los cálculos incluidos en este documento son los originales que se hicieron antes de desarrollar por completo el proceso productivo, por lo que algunos no coincidieron con los costes reales. Las diferencias más grandes son debido a la inexperiencia de la empresa en ciertos ámbitos que el proyecto abordaba, sin embargo dichas diferencias no fueron lo suficientemente elevadas como para hacer el proyecto inviable económicamente ya que la decisión de llevarlo a cabo se tomó en base a un cálculo pesimista. En cada subapartado se mencionarán las dificultades de cada cálculo, los valores adoptados, las diferencias con los costes reales y las causas de dichas diferencias.

Los aspectos que vienen a continuación son válidos solo para las piezas que Prototec era capaz de fabricar sin la asistencia de un tercero, es decir, que no se incluyen los perfiles que serían fabricados por una empresa especializada ni de las piezas que debían fabricar mediante un proceso de torneado, ya que esa negociación se abordó de una manera diferente.

Los costes se dividieron pues, en las categorías de Costes de materiales, Recuperación de viruta, Costes de mecanizado, Costes de esmerilado y pulido y Costes de tornillería y accesorios.

La siguiente tabla muestra la notación necesaria para alguno de los cálculos realizados.

Tabla 3-1. Notación para los cálculos de costes y valores fijos.

Símbolo	Significado	Valor	Unidades
ρ_A	Densidad del aluminio	2.80	g/cm^3
ρ_L	Densidad del latón	8.70	g/cm^3
c_A	Coste aluminio	4.02	€/Kg
c_L	Coste latón	5.23	€/Kg
V_T	Volumen tocho inicial	---	cm^3
V_P	Volumen de la pieza	---	cm^3
S_P	Sección principal de la pieza	---	mm^2
D_C	Distancia de corte	---	mm
c_{VA}	Precio viruta de aluminio	0.65	€/Kg
c_{VL}	Precio viruta de latón	2.30	€/Kg
r_v	Factor de recuperación de viruta	0.9	---

El Volumen de tocho inicial (V_T) se considera como el volumen necesario para fabricar una unidad. La Sección principal (S_P) es la sección del material de partida del que se va a fabricar la pieza. La Distancia de corte (D_C) es la distancia de material en el eje longitudinal del tocho que se pierde al cortar una unidad de tocho del resto del material. El Factor de recuperación (r_v) es la cantidad aproximada de volumen de material desalojado que es posible recuperar en forma de viruta.

3.1.1 Materiales

Para calcular los costes de materiales se tomaron los valores del momento en el que se realizó esta estimación. Dichos valores varían en función de los mercados cada pocos días. El aluminio se encontraba en un pico superior del año y el latón también se encontraba en un valor superior a la media anual por lo que nos encontramos en una hipótesis pesimista.

Para hacer el cálculo es necesario tener en cuenta tanto el volumen de material necesario para fabricar una unidad como lo que se pierde en el corte producido al separar una unidad de tocho de otra.

$$\text{Coste Material ud (€/ud)} = (V_T + \frac{S_P * D_C}{1000}) * \rho_i * \frac{c_i}{1000}$$

Para $i=A, L$

Figura 3-1. Ecuación de cálculo de costes del material.

Estas estimaciones fueron bastante exactas, sin embargo no se incluyó el volumen de material perdido por los cortes de la tronzadora (aproximadamente 2,7 mm de listón por cada 2,...,8 unidades dependiendo del tamaño de la pieza que se vaya a fabricar) lo cual supuso una pequeña desviación y un leve incremento de los costes.

Tabla 3-2. Costes de los materiales.

Pieza	$V_T (cm^3)$	$S_P (mm^2)$	$D_c (mm)$	$\rho_i (g/cm^3)$	$c_i (\text{€/Kg})$	$C_{ud} (\text{€/ud})$
R1	12.8	20x20	6	2.80	4.02	0.171
R2	39.2	35x35	6	2.80	4.02	0.524
R3	45.9	30x30	6	8.70	5.23	2.334
R4	45.9	30x30	6	8.70	5.23	2.334
R10	18	20x20	6	8.70	5.23	0.928
R11	19.6	20x20	6	8.70	5.23	1.001
R12	86.4	40x40	6	8.70	5.23	4.368
R13.1	12.8	20x20	6	2.80	4.02	0.171
R13.2	12.8	20x20	6	8.70	5.23	0.692
R17	30.3	25x25	6	8.70	5.23	1.549
R18	30.3	25x25	6	8.70	5.23	1.549
R19	67.4	35x35	6	8.70	5.23	3.401
R20	18	20x20	6	8.70	5.23	0.928
R21	15.2	20x20	6	8.70	5.23	0.800
R22	18.2	20x20	6	8.70	5.23	0.937
R23	4.32	8x30	5	2.80	4.02	0.062

3.1.2 Recuperación de viruta

Al igual que los costes del material, la recuperación de viruta depende de las fluctuaciones del mercado. Para tener una hipótesis pesimista, se consultó con varias empresas del sector y se eligieron los valores inferiores de todos los consultados, ya que no se poseía de un histórico de dichos valores y por lo tanto no se podía estimar un valor medio anual.

Para calcular el volumen que ocupa cada pieza se utilizó el propio software 3D que da el valor exacto. Se preveía que parte del material desalojado se perdería de forma irremediable (cortes en la tronzadora, viruta que se escape de la máquina o se pierda al transportarla, etc.) por lo que se introdujo el factor de recuperación r_v y se le dio un valor del 90% (hipótesis pesimista).

$$\text{Recuperación de viruta (€/ud)} = (V_T - V_P + \frac{S_P * D_c}{10}) * \rho_i * \frac{c_{Vi}}{1000} * r_v$$

$$i=A, L$$

Figura 3-2. Ecuación de cálculo de la recuperación de viruta

Tabla 3-3. Recuperación de viruta.

Pieza	$V_T(cm^3)$	$V_P(cm^3)$	$S_P(mm^2)$	$D_c(mm)$	$\rho_i(g/cm^3)$	$c_{Vi}(€/Kg)$	$R_{ud}(€/ud)$
R1	12.8	10.22	20x20	6	2.80	0.65	0.008
R2	39.2	20.58	35x35	6	2.80	0.65	0.150
R3	45.9	15.72	30x30	6	8.70	2.30	0.641
R4	45.9	15.72	30x30	6	8.70	2.30	0.641
R10	18	10.07	20x20	6	8.70	2.30	0.186
R11	19.6	10.47	20x20	6	8.70	2.30	0.208
R12	86.4	21.45	40x40	6	8.70	2.30	1.343
R13.1	12.8	7.36	20x20	6	2.80	0.65	0.013
R13.2	12.8	7.36	20x20	6	8.70	2.30	0.141
R17	30.3	7.46	25x25	6	8.70	2.30	0.479
R18	30.3	7.46	25x25	6	8.70	2.30	0.479
R19	67.4	22.86	35x35	6	8.70	2.30	0.934
R20	18	11.48	20x20	6	8.70	2.30	0.161
R21	15.2	9.22	20x20	6	8.70	2.30	0.151
R22	18.2	12.27	20x20	6	8.70	2.30	0.150
R23	4.32	3.71	8x30	5	2.80	0.65	0.003

Como se puede observar hay piezas de latón que tienen una alta recuperación de costes al reciclar la viruta. La recuperación de viruta fue muy importante a la hora de diseñar algunas piezas. En general, el beneficio obtenido al vaciar una pieza y recuperar viruta es mucho mayor que el desgaste de herramienta producido al fresar más y al tiempo extra de mecanizado. Eso afectó a los diseños de piezas con grandes vaciados, tales como la R3, R4, R12, R17, R18 y R19. Además también influye en la negociación de los precios ya que es un “beneficio” que el cliente no suele tomar en cuenta a la hora de valorar un precio para una pieza.

3.1.3 Costes de mecanizado

Para calcular los costes de mecanizado se tomaron los tiempos estimados para la fabricación de prototipos, que son significativamente inferiores a los tiempos que se esperaban cuando se realizase la producción con utillajes. Estos tiempos utilizando utillajes eran totalmente desconocidos ya que la empresa nunca había trabajado con este sistema y no es información que empresas de la competencia compartan. Evidentemente se considera entonces una hipótesis pesimista.

Se consideran solo los costes de tener a un operario trabajando en el proceso, los costes de desgaste de herramientas y los costes eléctricos.

Los costes están por unidad, por lo que hay que tener en cuenta que mediante el método de fabricación de prototipos se pueden obtener más de una pieza a la vez, dividiendo los costes entre dicho número de piezas.

Se deben tener en cuenta el número de posicionamientos N_p , el tiempo de posicionamiento t_p , el tiempo estimado de mecanización por posición dado por el software CAM t_{mj} siendo j la posición, el desgaste de herramientas C_h y los costes eléctricos C_e . Para los costes eléctricos se empleó información de las piezas de la empresa principal Ibercool WaterBlocks calculados en base a los tiempos de mecanizado y al consumo de las máquinas-herramienta.

Se estimaron 20 segundos de posicionado de un bloque de prototipos y 7 €/hora de coste de operario.

$$C_{ud} \left(\frac{\text{€}}{\text{ud}} \right) = \left(t_p * N_p + \sum_j t_{mj} \right) * \frac{7}{3600} + C_e + C_h$$

Figura 3-3. Ecuación de costes de mecanizado.

Tabla 3-4. Costes de mecanizado.

Pieza	N_p	t_p (s)	t_{mj} (s)	C_h (€/ud)	C_e (€/ud)	C_{ud} (€/ud)
R1	2	5	10, 8	0.04	0.03	0.124
R2	2	6.6	70, 20	0.08	0.06	0.341
R3	3	10	20, 20, 60	0.05	0.04	0.343
R4	3	10	20, 20, 60	0.05	0.04	0.343
R10	3	6.6	20, 20, 35	0.05	0.05	0.284
R11	3	6.6	20, 20, 40	0.06	0.05	0.304
R12	5	20	25, 25, 30, 110, 110	0.2	0.16	1.138
R13.1	3	5	10, 10, 25	0.03	0.03	0.177
R13.2	3	5	10, 10, 25	0.06	0.03	0.207
R17	3	10	20, 20, 60	0.06	0.04	0.353
R18	3	10	20, 20, 60	0.06	0.04	0.353
R19	5	20	25, 25, 30, 110, 110	0.18	0.14	1.098
R20	3	6.6	20, 20, 35	0.05	0.05	0.284
R21	3	6.6	20, 20, 35	0.05	0.05	0.284
R22	3	6.6	20, 20, 30	0.04	0.05	0.265
R23	1	10	15	0.02	0.01	0.079

3.1.4 Costes de esmerilado, pulido y cromado

Se estimó que pulir o esmerilar cada pieza costaría 0.15 €/ud, en base a los costes reales que se habían obtenido al aplicar dichos procesos a piezas de la empresa principal, Ibercool Waterblocks. Esta estimación se consideró pesimista, sin embargo el coste real fue incluso superior como se verá en el capítulo de procesos secundarios.

En cuanto al cromado, se estimó de la siguiente manera gracias a la información proveída por una empresa local de tratamientos superficiales:

Tabla 3-5. Costes de cromado.

Pieza	Coste cromado (€/ud)	Pieza	Coste cromado (€/ud)
R1	0.3	R13.2	0.2
R2	0.4	R17	0.3
R3	0.3	R18	0.3
R4	0.3	R19	0.35
R10	0.25	R20	0.25
R11	0.25	R21	0.25
R12	0.4	R22	0.25
R13.1	0.3	R23	0.3

3.1.5 Costes de tornillería y accesorios

Estos costes son los más exactos ya que son proporcionados por los proveedores. Únicamente existe una pequeña variabilidad ya que algunos proveedores ofrecen precios según el volumen, pero en este apartado se recogen siempre los precios correspondientes a un pedido para abastecer el consumo nominal estimado por el cliente, lo cual se considera una estimación pesimista ya que en algunas piezas a largo plazo sería posible reducir los costes planificando pedidos con más volumen, e incluso buscando otros proveedores que solo trabajen con grandes cantidades.

Tabla 3-6. Costes de tornillería y accesorios

Pieza	Accesorio	Cantidad	Coste accesorio (€/acc)	C_{ud} (€/ud)
R1	1xEspárrago Allen M6x18	1	0.0289	0.1349
	1xContera de plástico	1	0.1060	
R2	1xEspárrago Allen M8x18	1	0.0499	0.0499
R3	2xEspárrago Allen M5x5	2	0.0114	0.0228

R4	2xEspárrago Allen M5x5	2	0.0114	0.0228
R12	4xEspárrago Allen M5x6	4	0.0112	0.0448
R13	1xEspárrago Allen M8x6 1xBumper Silicona Adhesivo	1 1	0.0296 0.1035	0.1331
R17	2xEspárrago Allen M5x5	2	0.0114	0.0228
R18	2xEspárrago Allen M5x5	2	0.0114	0.0228
R19	4xEspárrago Allen M5x5	4	0.0114	0.0456
R23	1xEspárrago Allen M6x10 1xContera de plástico	1 1	0.0166 0.1500	0.1666

3.2 Oferta final y márgenes de beneficio

Sumados los cuatro costes calculados con anterioridad y descontando la recuperación de la viruta quedaron los costes finales. Con esta información se llegó a un acuerdo de precios para las distintas piezas. Los márgenes de beneficio sobre el coste quedaron por lo general por encima del 90% exceptuando los topes R1 y R23 que están entre el 50% y el 70%.

Tabla 3-7. Costes, precio y margen de beneficio unitarios.

Pieza	C_{mat} (€/ud)	R_v (€/ud)	C_{mec} (€/ud)	C_{epc} (€/ud)	C_{ta} (€/ud)	C_{Total} (€/ud)	Precio (€/ud)	MB (%)
R1	0.171	0.008	0.124	0.45	0.1349	0.872	1.45	66.32
R2	0.524	0.150	0.341	0.55	0.0499	1.314	2.9	120.63
R3	2.334	0.641	0.343	0.45	0.0228	2.509	5.63	124.36
R4	2.334	0.641	0.343	0.45	0.0228	2.509	5.63	124.36
R10	0.928	0.186	0.284	0.4	0	1.426	2.95	106.82
R11	1.001	0.208	0.304	0.4	0	1.497	3.20	113.70
R12	4.368	1.343	1.138	0.55	0.0448	4.758	9.45	98.60
R13.1	0.171	0.013	0.177	0.45	0.1331	0.918	1.85	101.45
R13.2	0.692	0.141	0.207	0.35	0.1331	1.241	2.45	97.49
R17	1.549	0.479	0.353	0.45	0.0228	1.896	4.85	155.76
R18	1.549	0.479	0.353	0.45	0.0228	1.896	4.85	155.76
R19	3.401	0.934	1.098	0.5	0.0456	4.110	8.15	98.28

R20	0.928	0.161	0.284	0.4	0	1.452	2.95	103.22
R21	0.800	0.151	0.284	0.4	0	1.334	2.75	106.22
R22	0.937	0.150	0.265	0.4	0	1.452	2.95	106.16
R23	0.062	0.003	0.079	0.45	0.1666	0.755	1.15	52.37

Llegados a este punto el cliente se decidió por la opción R13.2 (fabricada en latón). Además gracias a las estimaciones de consumo del cliente es posible calcular el beneficio bruto potencial mensual.

Tabla 3-8. Estimación del beneficio bruto mensual.

Pieza	Pedido nominal mensual (ud)	Beneficio unitario (€/ud)	Beneficio bruto mensual (€)
R1	1300	0.578	751.61
R2	840	1.586	1331.93
R3	250	3.121	780.16
R4	250	3.121	780.16
R10	700	1.524	1066.58
R11	100	1.703	170.26
R12	125	4.692	586.47
R13	300	1.209	362.82
R17	120	2.254	354.44
R18	120	2.254	354.44
R19	75	4.040	100.99
R20	80	1.489	59.93
R21	80	1.416	56.64
R22	400	1.498	599.08
R23	500	0.395	197.62
			8151.23

El beneficio potencial calculado supondría un 35% de los beneficios medios mensuales producidos por la empresa principal, lo cual cumpliría sobradamente el objetivo de convertir Protemec en una buena fuente de financiación.

Sobre los errores producidos en estos cálculos, además de los mencionados en cada apartado, hay que decir que no se incluyeron ciertos costes de transporte ya que en ese momento no estaban cerrados acuerdos con terceros que requiriesen desplazamiento de piezas. Tampoco se incluyeron ciertos costes indirectos como amortizaciones de inversiones que se realizaron expresamente para este proyecto, como las nuevas esmeriladora e ingletadora. Sin embargo en el momento de redacción de este documento, gracias a que la mayor parte de los cálculos fueron desde unas hipótesis pesimistas y sin haber alcanzado el régimen permanente de pedidos y la máxima optimización de costes, los beneficios estaban siendo apenas un 5% inferiores a los esperados, por lo que se puede decir que la decisión de realizar el proyecto fue un completo acierto por parte de la empresa.

3.3 Piezas de torneado

Protemec no cuenta con un torno industrial por lo que no era posible fabricar las piezas diseñadas para usar este sistema (R6, R7, R8, R9, R14, R15 y R16). Inicialmente se buscó un tercero que fabricara las piezas, actuando Protemec como intermediario. Sin embargo las ofertas recibidas por los torneros y los precios a los que aspiraba el cliente hicieron imposible esta opción ya que los márgenes de beneficio para Protemec como intermediario eran muy estrechos y se corría el riesgo de entrar en pérdidas.

Finalmente se decidió regalar los planos de las piezas torneadas al cliente como parte del acuerdo global, para que este buscara el fabricante para dichas piezas y se acordó proveer solamente las piezas que eran posibles fabricar para la empresa.

4 PRODUCCIÓN EN MASA

La producción en masa eficiente de las piezas diseñadas es el principal objetivo de este proyecto. Este capítulo recoge las soluciones adoptadas, los recursos disponibles, los problemas encontrados y sus soluciones. Como medio de producción se tiene la mecanización de piezas a través de utillajes diseñados para ser el soporte de la materia prima dentro de la maquinaria de control numérico, tal y como se explicará a lo largo del capítulo.

También se incluye el método elegido para la fabricación de los primeros prototipos, ya que sirve de guía para la introducción de futuras nuevas piezas y porque en el momento en el que se elaboró este documento seguía siendo el método estándar de producción para ciertas piezas con bajos pedidos de reposición.

4.1 Máquinas herramienta

Las máquinas herramienta de Ibercool son de moldeo por arranque de viruta y disponen ambas de tres ejes cartesianos de movimiento. Además son máquinas de control numérico (CNC) es decir que son controladas mediante comandos programados en un medio de almacenamiento y no de forma manual.

Su funcionamiento se basa en el control de los movimientos de la herramienta de trabajo con relación a los ejes de coordenadas de la máquina, usando un programa informático ejecutado por un ordenador. El equipo de control numérico se controla mediante un programa que utiliza números, letras y otros símbolos, los cuales están codificados en un lenguaje apropiado para definir un programa de instrucciones para desarrollar una tarea concreta. Cuando la tarea en cuestión varía se cambia el programa de instrucciones al deseado. La elaboración de dichos programas puede realizarse manualmente en el propio panel de la máquina o generarlo a través de software especializados (CAM), lo cual suele ser la práctica más común y sencilla.

Las máquinas CNC permiten la automatización programable de la producción y están diseñadas para adaptarse a las variaciones en la configuración de productos. Su principal aplicación se centra en volúmenes de producción medios de piezas sencillas y en volúmenes de producción medios y bajos de piezas complejas, permitiendo realizar mecanizados de precisión con la facilidad que representa cambiar de un modelo de pieza a otro mediante la inserción del programa correspondiente y de las nuevas herramientas que se tengan que utilizar, así como el sistema de sujeción de las piezas, que en el caso que nos ocupa son los llamados utillajes.

4.1.1 Haas SMiniMill

Potente centro de mecanizado de la marca Haas que cuenta con un motor de 11,2 kW y un sistema de lubricación de alta presión para el mecanizado de todo tipo de materiales. Cuenta con mecanizado de alta velocidad, avances de hasta 30,5 m/min y cambiador de herramientas automático. Es capaz de trabajar con precisión de una micra (0.001mm) y además tiene excelentes prestaciones en

operaciones de roscado rígido. Su área de trabajo útil, que es el área por la que es capaz de colocarse el centro del el eje de la herramienta es de 305x406 milímetros.

La gran parte de las operaciones de mecanizado de este proyecto se realizan en esta máquina, ya que es la más precisa con la que cuenta la empresa. Además está preparada para el posicionamiento de utillajes gracias a una placa anclada a la bancada con 4 pernos de posición que facilitan la colocación de dichos utillajes de forma precisa, evitando así tener que utilizar aparatos de posicionamiento 3D.

El carrusel porta-herramientas tiene capacidad para 10 herramientas, dando así mucho margen para la fabricación en serie ya que ninguna de las piezas diseñadas requieren más de diez operaciones con herramientas distintas para fabricarlas. Este límite superior se tuvo en cuenta en el diseño de piezas optimizando siempre el número de herramientas necesarias para la fabricación.



Figura 4-1. Haas SMiniMill.

A continuación se muestran las especificaciones técnicas de la máquina, proveídas por el fabricante Haas Automation.

Tabla 4-2. Especificaciones técnicas de la Haas SMiniMill.

MOVIMIENTO	SISTEMA AMERICANO	SISTEMA MÉTRICO
Eje X	16"	406 mm
Eje Y	12"	305 mm
Eje Z	10"	254 mm
Spindle Nose to Table (max)	14"	356 mm
Spindle Nose to Table (min)	4"	102 mm

BANCADA	SISTEMA AMERICANO	SISTEMA MÉTRICO
Largo	36"	914 mm
Largo (Area de trabajo)	28.75"	730 mm
Ancho	12"	305 mm
Ancho T-Slot	5/8"	16 mm
Distancia al centro T-Slot	4.33"	110 mm
Número de canales T-Slot	3	3
Peso máximo de la bancada	500 lb	227 kg
SPINDLE	SISTEMA AMERICANO	SISTEMA MÉTRICO
Potencia Máxima	15 hp	11.2 kW
Velocidad Máxima	10000 rpm	10000 rpm
Par Máximo	17 ft-lb 4600 rpm	23 Nm 4600 rpm
Drive System	Direct Speed Belt Drive	Direct Speed Belt Drive
Taper	CT/40 o BT/40	CT/40 o BT/40
Lubricación del Cojinete	Inyección de Aire/Aceite	Inyección de Aire/Aceite
Refrigeración	Aire	Aire
FEEDRATES	SISTEMA AMERICANO	SISTEMA MÉTRICO
Eje x Rápido	1200 in/min	30.5 m/min
Eje y Rápido	1200 in/min	30.5 m/min
Eje z Rápido	1200 in/min	30.5 m/min
Corte Máximo	833 in/min	21.2 m/min
MOTOR DE LOS EJES	SISTEMA AMERICANO	SISTEMA MÉTRICO
Empuje Máximo X	2000 lb	8896 N
Empuje Máximo Y	2000 lb	8896 N
Empuje Máximo Z	2000 lb	8896 N
CAMBIO DE HERRAMIENTAS	SISTEMA AMERICANO	SISTEMA MÉTRICO
Tipo	Carrusel	Carrusel
Capacidad	10	10
Máximo Diámetro Herramienta	3.5"	89 mm

Máximo Peso Herramienta	12 lb	5.4 kg
Tiempo de Cambio Medio	3 s	3 s
Chip-to-Chip	3.8 s	3.8 s
GENERAL	SISTEMA AMERICANO	SISTEMA MÉTRICO
Requisitos de aire	4 scfm, 100 psi	113 L/min, 6.9 bar
Capacidad de refrigerante	24 gal	91 L

4.1.2 Ruteadora

La ruteadora de Ibercool se trata de una versátil fresadora que cuenta con un motor HSD de 50.000 rpm de altas prestaciones refrigerado por agua, permitiendo el uso de pequeñas herramientas. Está equipada con servos Panasonic los cuales le proporcionan un movimiento rápido en toda la superficie de trabajo, pero sin embargo su precisión no es la suficientemente buena para la mayoría de las piezas que se desean fabricar.

Cuenta con sistema de cambio automático de herramientas de 8 estaciones y gracias al funcionamiento de bomba de vacío de 7.5 kW, es capaz de sostener ciertos materiales sin necesidad de elementos de agarre adicionales. Medidas del área de trabajo útil: 2,65 x 1,31 metros.

La ruteadora tiene un impacto mucho menor en el proyecto, siendo considerada válida solo para fabricar una de las piezas (R23) y algunos elementos de los procesos secundarios como se detallará en el capítulo 5.



Figura 4-2. Ruteadora.

4.2 Selección de herramientas

Por lo general se escogieron herramientas de aceros rápidos (HSS) ya que son más asequibles por lo que se adaptan más a los recursos del proyecto. Además por el momento se rechaza adquirir herramientas con recubrimientos especiales para aumentar la durabilidad, a no ser que sea estrictamente necesario. También se debe tener en cuenta aspectos como la profundidad a la que se va a mecanizar, si existe la posibilidad de que el portaherramientas toque la pieza, si se pueden homogeneizar herramientas entre piezas, etc.

El latón escogido como materia prima lleva una pequeña cantidad de plomo, tal y como se explicó en el apartado de materiales. Por lo general, las herramientas tipo UNI y tipo H (universales y materiales duros) son idóneas para trabajar este tipo de latón, aunque las tipo N (aleaciones no ferrosas en general) también funcionan bien.



Figura 4-3. Fresa de acabado, de desbaste, broca, macho de rosca y fresa de plaquitas.

En cuanto al aluminio, el elemento que nos define qué tipo de herramientas podemos usar es el Si, el cual se encuentra por debajo del 1,5% en el caso que nos ocupa, por lo que podríamos usar herramientas tipo N y W (aleaciones no ferrosas generales y materiales blandos). Sin embargo no se considerará el tipo W ya que solo se utiliza para algunos tipos de aceros además de aluminios, lo cual reduciría mucho su compatibilidad con otros proyectos ya que Ibercool no suele trabajar con aceros.

El proveedor de herramientas de Ibercool y Prototec es **WNT** y todas las herramientas que a continuación se van a clasificar se pueden encontrar en su catálogo.

4.2.1 Brocas

Para los agujeros se usan las siguientes brocas UNI y N. Es necesario tener en cuenta tanto los agujeros simples como los agujeros previos a los roscados M5, M6 y M8 (4.2, 5 y 6.8 mm respectivamente). Además hay que seleccionar cada una sabiendo hasta donde va a tener que penetrar en el material, eligiendo brocas para poca penetración y brocas para penetración profunda. Para los agujeros avellanados se adquirió una broca bidiametral o escalonada de tipo N.

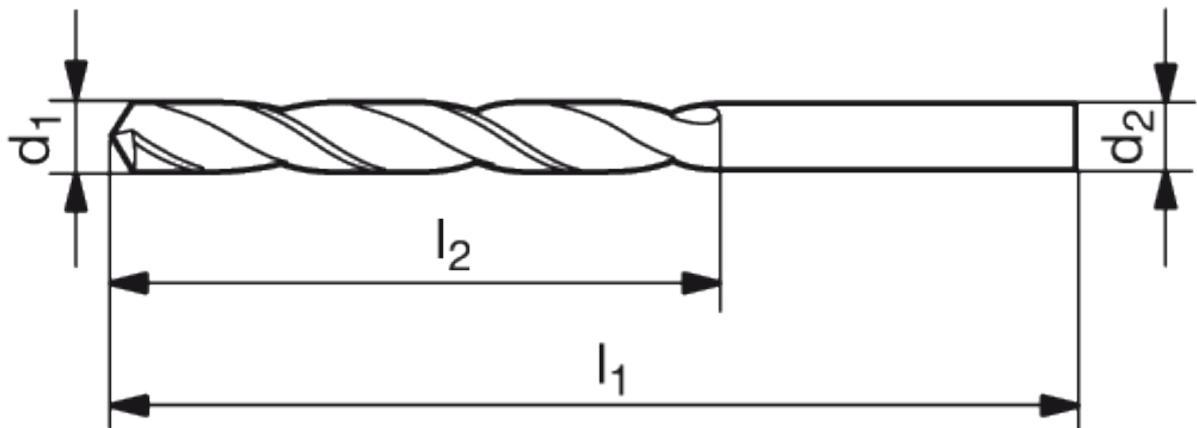


Figura 4-4. Esquema de las brocas.

Tabla 4-2. Especificaciones de las brocas necesarias.

Referencia	Designación	d_{1H8} mm	l_2 mm	l_1 mm	Piezas
10105082	BROCA HELICOIDAL HSS N8,20.R.3D.DIN1897	8.2	37	79	R1
1015205000	BROCA HELICOIDAL HSS N5,00.R.5D.DIN338	5	52	86	R1, R23
1015206800	BROCA HELICOIDAL HSS N6,80.R.5D.DIN338	6.8	69	109	R2
10107042	BROCA HELICOIDAL HSSE UNI4,20.R.3D.DIN1897 TIN	4.2	22	55	R3, R4, R12, R17, R18, R19
10107068	BROCA HELICOIDAL HSSE UNI6,80.R.3D.DIN1897 TIN	6.8	34	74	R13
10105060	BROCA HELICOIDAL HSS N6,00.R.3D.DIN1897	6	28	66	R23
10107060	BROCA HELICOIDAL HSSE UNI6,00.R.3D.DIN1897 TIN	6	28	66	R13

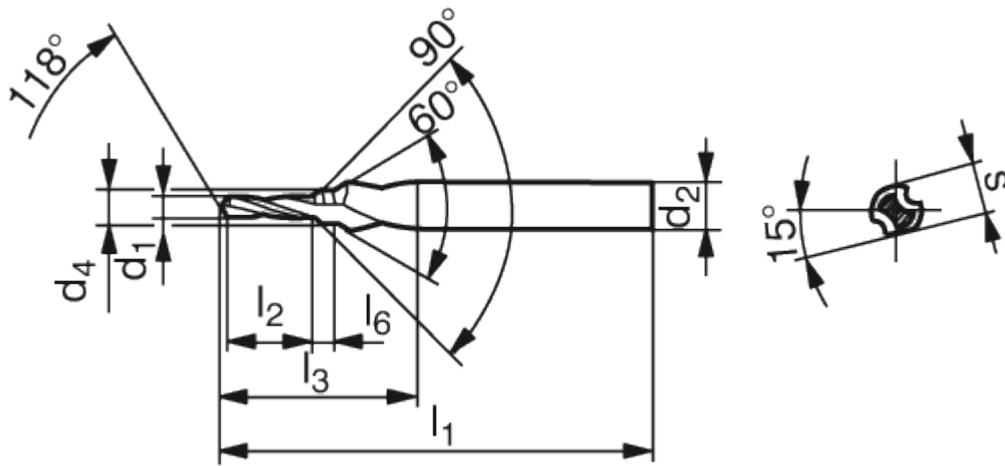


Figura 4-5. Esquema de la broca bidiametral o escalonada.

Tabla 4-3. Especificaciones de la broca bidiametral necesaria.

Referencia	Designación	d_1 mm	d_2 mm	d_4 mm	l_1 mm	l_2 mm	l_3 mm	l_6 mm	s mm	Piezas
10350040	BROCA ESCALONADA HSS N3,30.R.60°	3.3	8	4.3	63	11	23	1.6	6.75	R2, R3, R4, R12, R17, R18

4.2.2 Fresas de acabado y desbaste

En el caso de las fresas de desbaste se produce una excepción dentro de las reglas de austeridad de este proyecto. Aunque en principio podrían haberse elegido las tipo WR, se decidió invertir en herramientas de mayor calidad de la estrictamente necesaria con el objetivo de prevenir reposiciones muy tempranas y mejorar las velocidades de corte. Se seleccionan las tipo NF para diámetros pequeños (desbaste + acabado) y NR para diámetros grandes (desbaste). Ambas tienen rompevirutas lo cual ayuda su desalajo.

En cuanto a las fresas de acabado, se recurrió a las tipo N sin recubrimientos, exceptuando una fresa de 16 mm que si se compró con recubrimiento de titanio por su gran importancia, tal y como se verá en el apartado de utillajes.

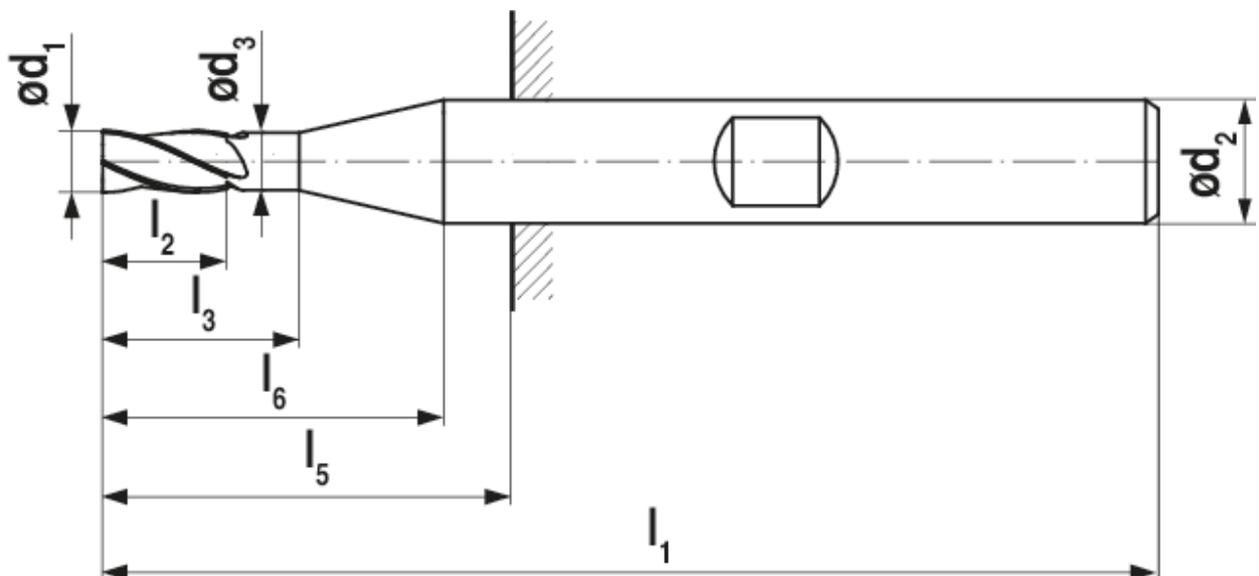


Figura 4-6. Esquema de las fresas de acabado y desbaste.

Tabla 4-4. Especificaciones de las fresas de desbaste y desbaste/acabado necesarias.

Referencia	Designación	$d_{1\ k12}$ mm	l_2 mm	l_5 mm	l_1 mm	K mm	Z	$d_{2\ h6}$ mm	Piezas
54159060	FRESA DE DESBASTE- ACABADO HSS-E NF-SS.6,0.Z4.30°.R.HB.K TICN	6	13	21	57	0	4	6	R10, R20
54159080	FRESA DE DESBASTE- ACABADO HSS-E NF-SS.8,0.Z4.30°.R.HB.K TICN	8	38	48	88	0	4	10	R11, R12, R23
50153100	FRESA DE DESBASTE HSS-E NR-SR.10,0.Z3.30°.R.HB.K	10	22	32	72	0.7	3	10	R19
20153160	FRESA DE DESBASTE HSS-E NR-SR.16,0.Z3.30°.R.HB.K	16	32	44	92	0.9	3	16	R1, R2, R3, R4, R17, R18, R19

Tabla 4-5. Especificaciones de las fresas de acabado necesarias.

Referencia	Designación	$d_{1\ k12}$ mm	l_2 mm	l_5 mm	l_1 mm	K mm	Z	$d_{2\ h6}$ mm	Piezas
50111050	FRESA DE ACABADO HSS-E N-SC.5,0.Z4.30°.R.HB.L	5	24	32	68	0	4	6	R1, R3, R4, R10, R11, R12 R20, R21, R22, R23
50111060	FRESA DE ACABADO HSS-E N-SC.6,0.Z4.30°.R.HB.L	6	24	32	68	0	4	6	R1, R3, R4, R10, R11, R12 R20, R21, R22, R23
50104060	FRESA DE ACABADO HSS-E N- SC.6,0.Z4.30°.R.HB.EL	6	56	64	100	0	4	6	R2, R12, R19
50110100	FRESA DE ACABADO HSS-E N- SC.10,0.Z4.30°.R.HB.K	10	22	32	72	0	4	10	R17, R18, R22
54117160	FRESA DE ACABADO HSS-E N- SC.16,0.Z4.30°.R.HB.K TICN	16	32	44	92	0	4	16	R1, R2, R3, R4, R10, R11, R12, R13, R17, R18, R19, R20, R21, R22

4.2.3 Roscados

Para mecanizar las roscas, una vez hecho los agujeros previos es necesario introducir el macho que da forma a la misma.

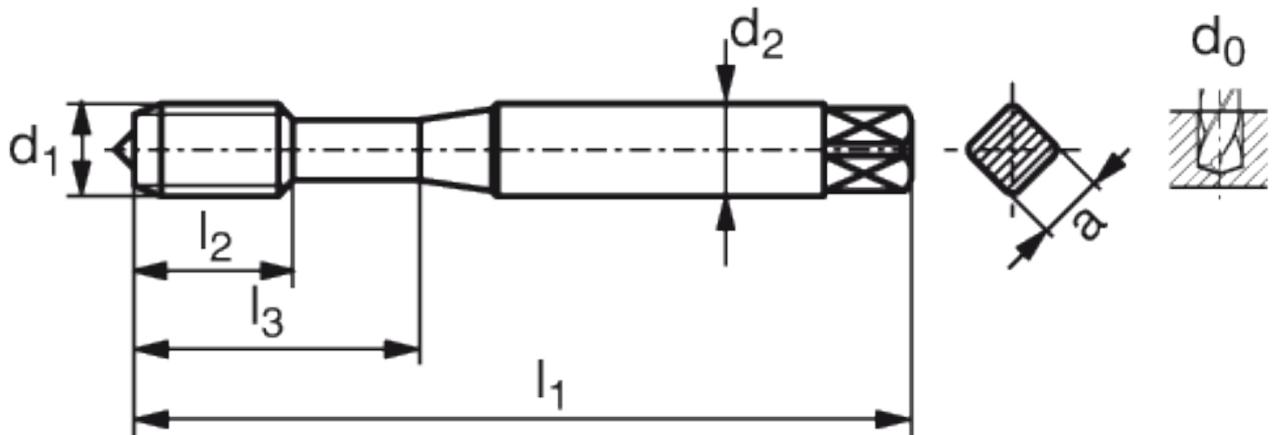


Figura 4-7. Esquema de los machos de rosca.

Tabla 4-6. Especificaciones de los machos de rosca necesarios.

Referencia	Designación	Paso mm	l_1 mm	l_2 mm	l_3 mm	d_1 mm	d_2 mm	d_0 mm	Piezas
22132050	MACHO DE MÁQUINA HSSE SL SALOREX.M5.ISO1- 4HDIN371-C	0.7	70	15	25	M5	6	4.2	R3, R4, R12, R17, R18, R19
22132060	MACHO DE MÁQUINA HSSE SL SALOREX.M6.ISO1- 4HDIN371-C	1	80	17	30	M6	6	5	R1, R23
22002080	MACHO DE MÁQUINA HSSE DL B.M8.ISO1-4H.DIN371-B	1.25	90	20	35	M8	8	6.8	R2, R13

4.2.4 Planeado con plaquitas intercambiables

Para las operaciones de planeado se adquirió una fresa de plaquitas intercambiables, especialista en metales no ferrosos. El diámetro de esta herramienta fue escogido con mucho cuidado ya que debe ser mayor que cualquier ancho de pieza que se quisiese planear, son especialmente caras y afectará más que ninguna otra herramienta al diseño de los utillajes, como se comentará en el punto 4.5.

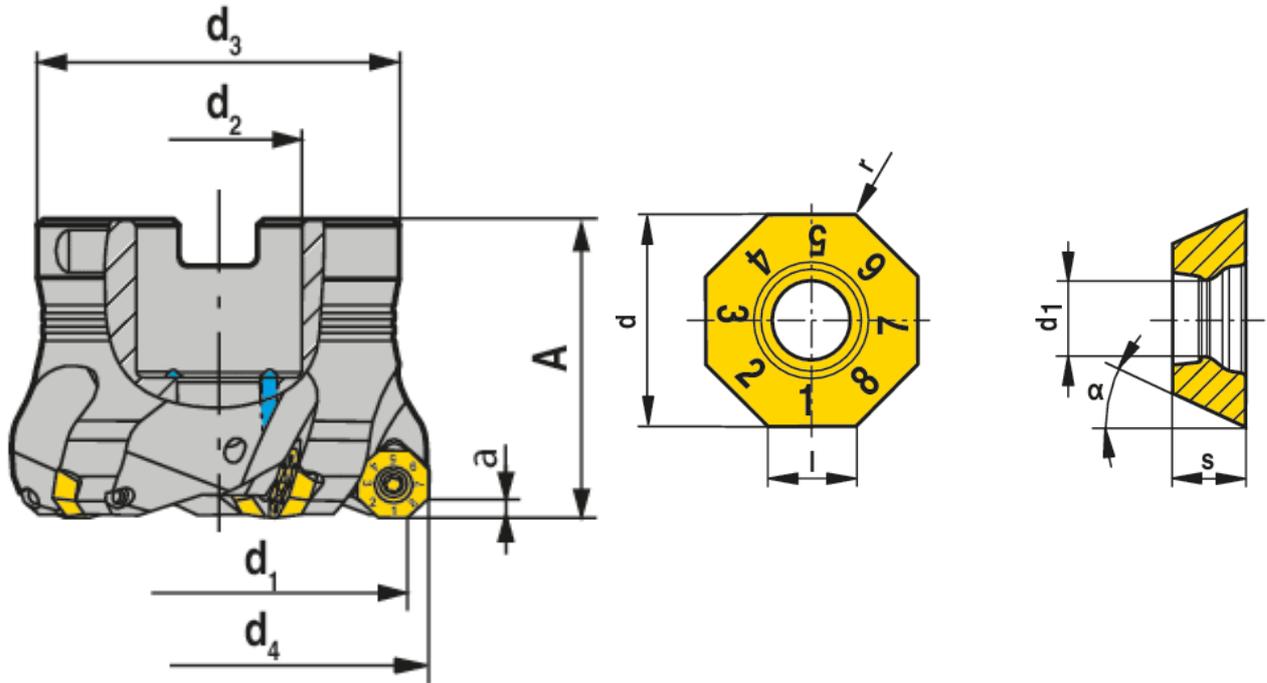


Figura 4-8. Esquema de la fresa frontal y sus plaquitas intercambiables.

Tabla 4-7. Especificaciones de la fresa frontal y de las plaquitas necesarias.

Referencia	Designación	d_1 mm	d_2 mm	d_3 mm	d_4 mm	a mm	A mm	z
50744163	FRESA FRONTAL SIN MANGO MASTER-MILL A2740.63.R.09-09	63	22	48	68.7	3.8	40	9
Referencia	Designación	d mm	l mm	r mm	d_1	α°	s mm	Rotura de viruta
50459505	PLAQUITA INTERCAMBIABLE DE FRESADO DE METAL DURO OFHT 040305FN-F10 CWK4615	9.52	3.94	0.5	3.35	25	3.18	-F10

4.3 Fabricación de prototipos

Antes de aceptar la oferta final para la fabricación en serie el cliente demandó la fabricación de una serie de prototipos para comprobar tanto la calidad que Prototec era capaz de ofrecer como la funcionalidad real de todas las piezas viéndolas montadas en las mamparas. Realizar estos prototipos no fue una tarea sencilla ya que se requería de un sistema que fuese compatible con todos los diseños y que fuera lo suficientemente simple como para que los costes no se dispararan.

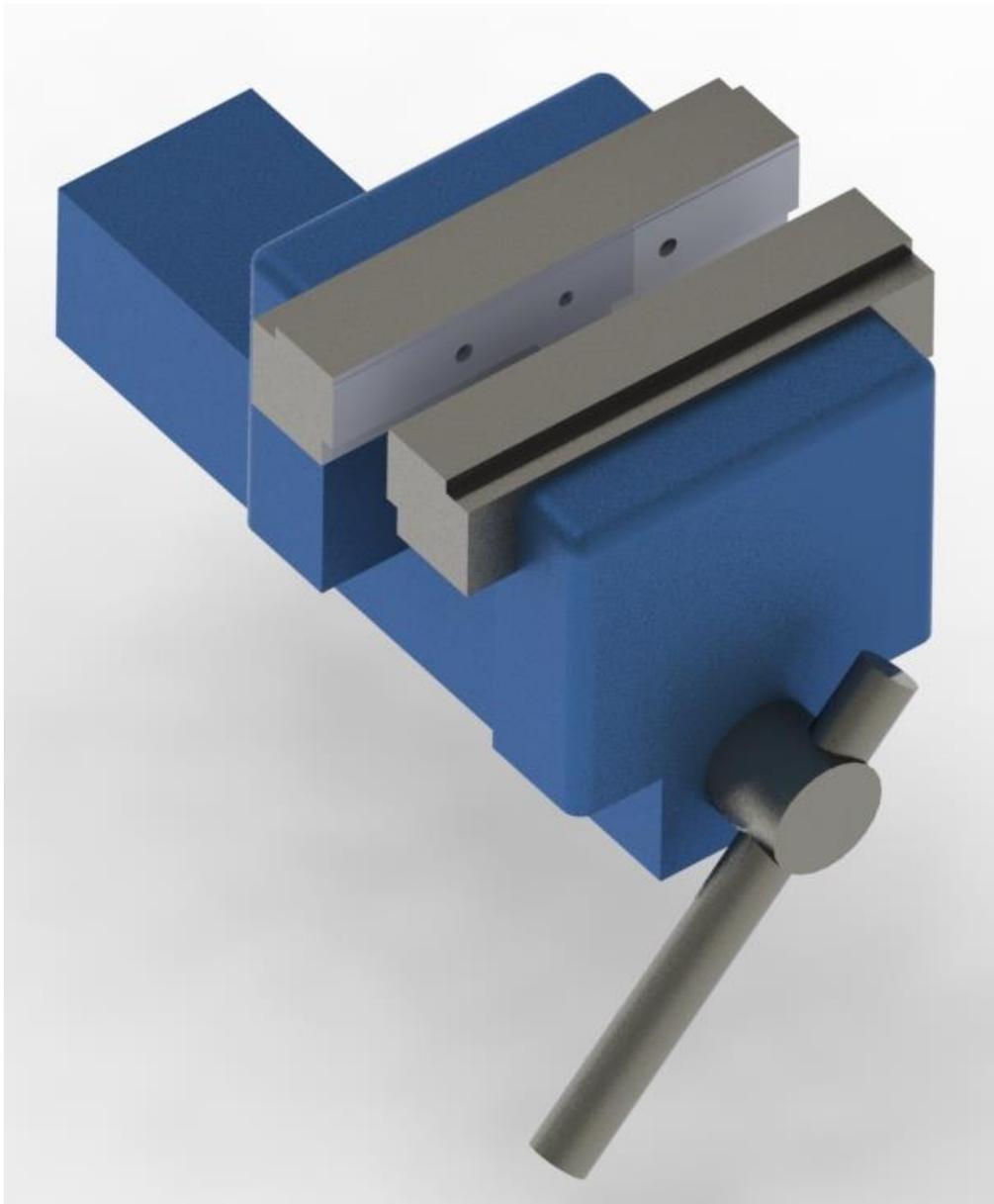


Figura 4-9. Mordaza para prototipos.

Finalmente la solución a la que se llegó fue montar una mordaza en la máquina herramienta Haas SMiniMill que ejerciese la fuerza suficiente como para sujetar la materia prima soportando los esfuerzos de mecanizado. De esta manera se podrían fabricar de golpe más de un prototipo ya que la longitud de agarre de la mordaza es entre dos y cuatro veces la longitud de la mayoría de las piezas. De hecho era aconsejable que el listón de partida sobresaliese de la mordaza por las dos caras para poder rectificar los cortes del tronzado que están realizados de forma manual y son mucho más imprecisos que los cortes que es capaz de hacer una máquina de control numérico. Por otra parte se tendrían que hacer varios posicionamientos para cada prototipo ya que la máquina herramienta es de solo tres ejes y la mayoría de ellos requieren operaciones en distintas caras.

Esta solución supuso varios inconvenientes. Para comenzar, inicialmente no había ninguna forma de posicionar las caras superior e inferior de la materia prima totalmente perpendiculares al eje z de la máquina ni de fijar la propia posición z para que siempre fuese la misma, por lo que la precisión del mecanizado caería de forma drástica.

Para solucionar este problema se optó por fresar un labio en la mordaza que sirviera de apoyo al material como se muestra en la figura. De esta manera se puede posicionar fácilmente el eje z y el eje y de la máquina.

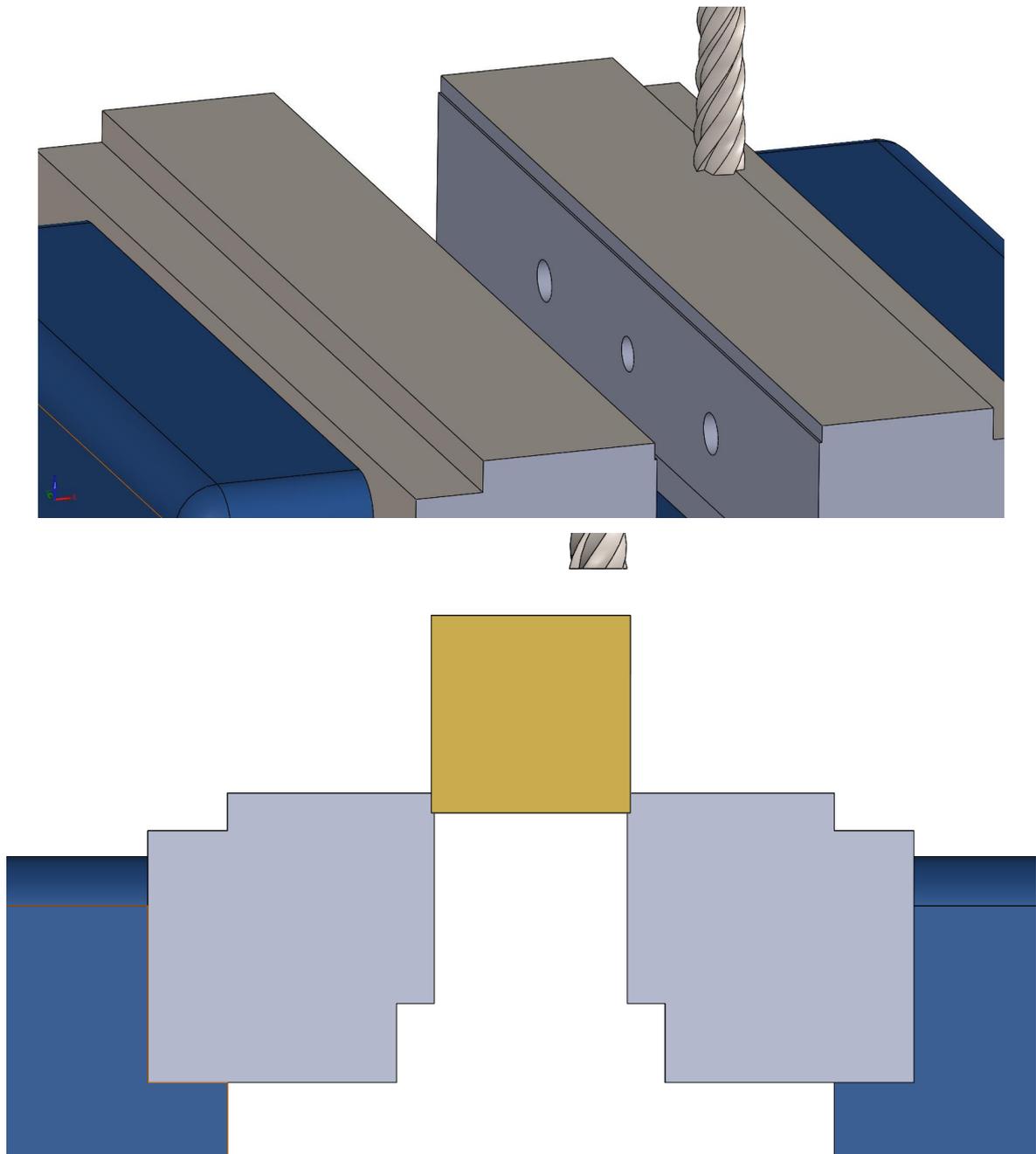


Figura 4-10. Labio fresado en la mordaza y su funcionamiento.

Por último quedaba posicionar el eje x en la máquina. Esto era más complicado ya que cada prototipo requería una longitud de listón distinta por lo que fijar uno de los dos lados hubiese supuesto renunciar a al menos una pieza en muchas de las series de prototipos para no dejarlas en voladizo al posicionar el listón en la mordaza. Para solucionar este problema se optó por fabricar una serie de posicionadores manuales para cada serie de prototipos, de esa manera se podía colocar el listón en la posición deseada de manera rápida y sencilla quedando totalmente definidas las coordenadas de la máquina y pudiendo realizar las operaciones necesarias con el Software CAM para la fabricación final de las piezas.

Mencionar además que el método de fabricación por mordaza se quedó como método estándar de fabricación para algunas de las series de piezas que tenían menos demanda mensual, ya que se consideró que la inversión económica que suponía fabricarles un utillaje propio no compensaba el tiempo que extra que se tardaba al fabricarlos de esta manera, al menos no a corto/medio plazo.

Como ejemplo ilustrativo se va a explicar detalladamente la fabricación de prototipos de la pieza

R13. Para comenzar, se tronza un listón de 144 mm, que es el que corresponde a 4 piezas con 6 mm de cortes intermedios, el mínimo para que dicho listón sobresalga de la mordaza (3+32+6+32+6+32+6+32+3). Se coloca el listón en la mordaza y se usa el posicionador antes de apretarlo. Se hace un planeo a la cara superior y luego se fresan los dos extremos 3mm para eliminar las imperfecciones del tronzado. Además se hace un pre-corte de separación ya que en el último proceso será imposible cortar la pieza hasta abajo sin tocar la mordaza

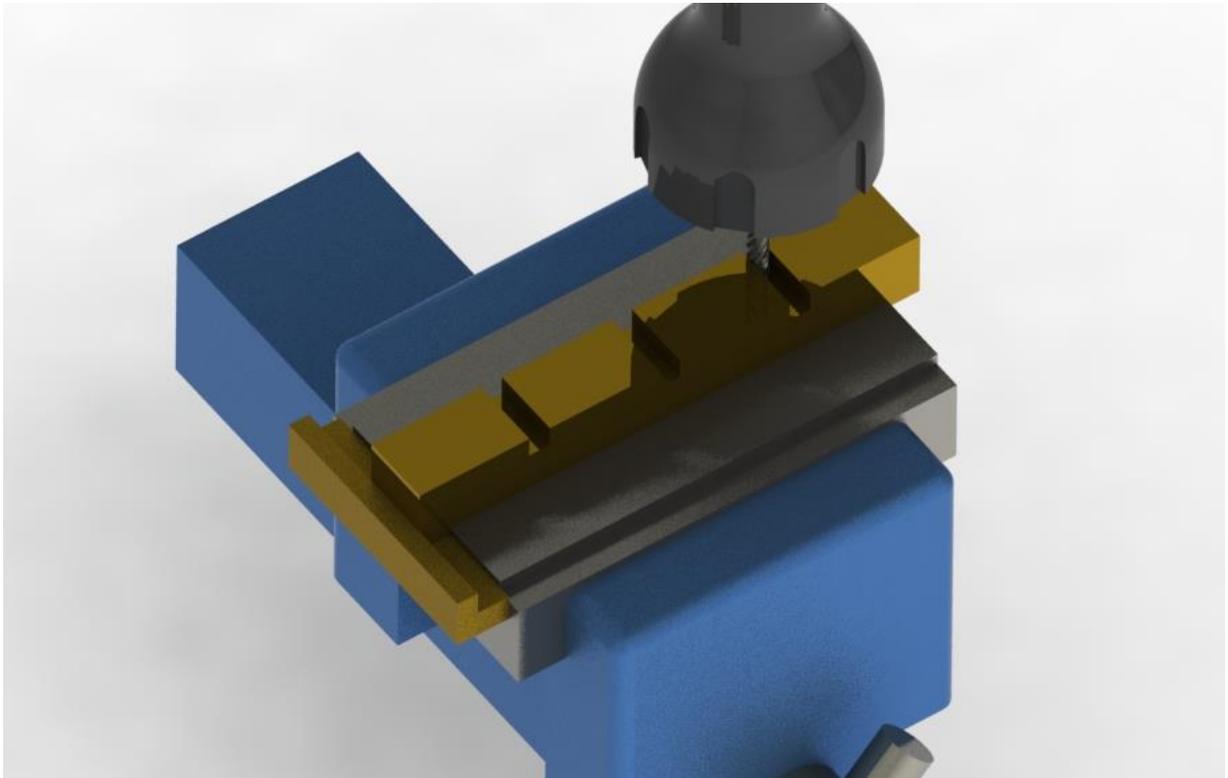


Figura 4-11. Primer paso de la fabricación de prototipos de R13.

A continuación se voltea el listón, se posiciona de nuevo antes de apretar y se hacen un planeado y los agujeros roscados de la parte frontal de la pieza.

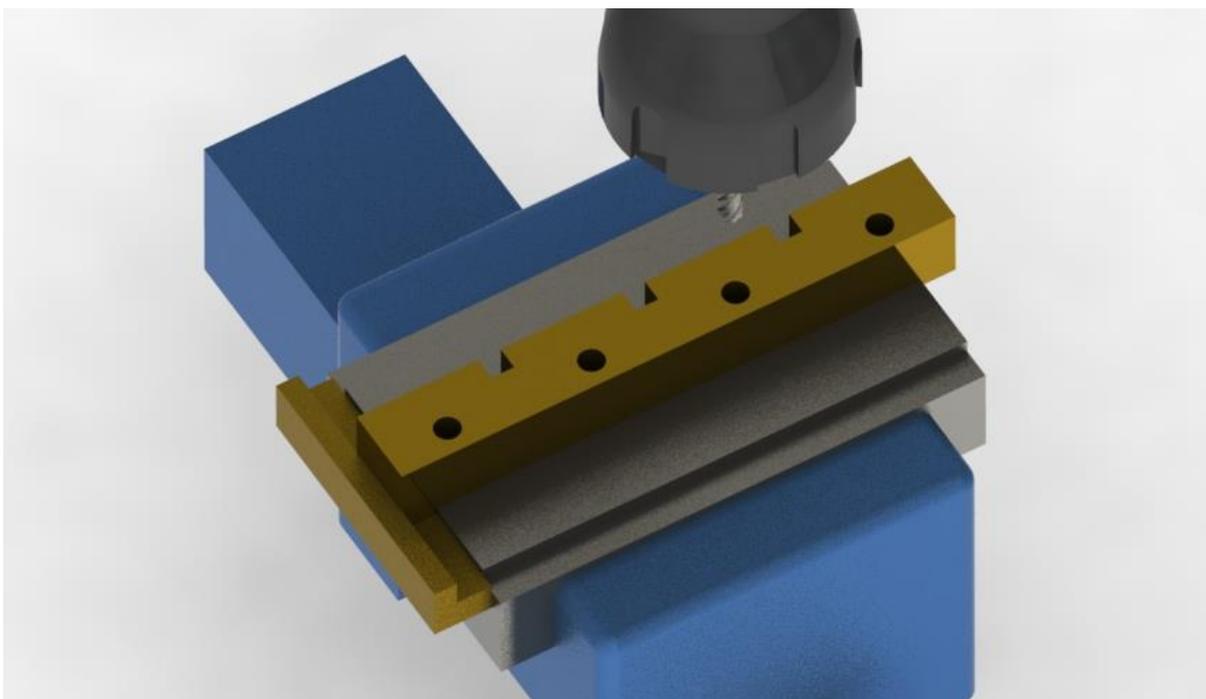


Figura 4-12. Segundo paso de la fabricación de prototipos de R13.

Por último se vuelve a voltear el listón, se posiciona de nuevo antes de apretar y se hacen el canal intermedio, los agujeros avellanados interiores y los cortes de separación entre piezas.

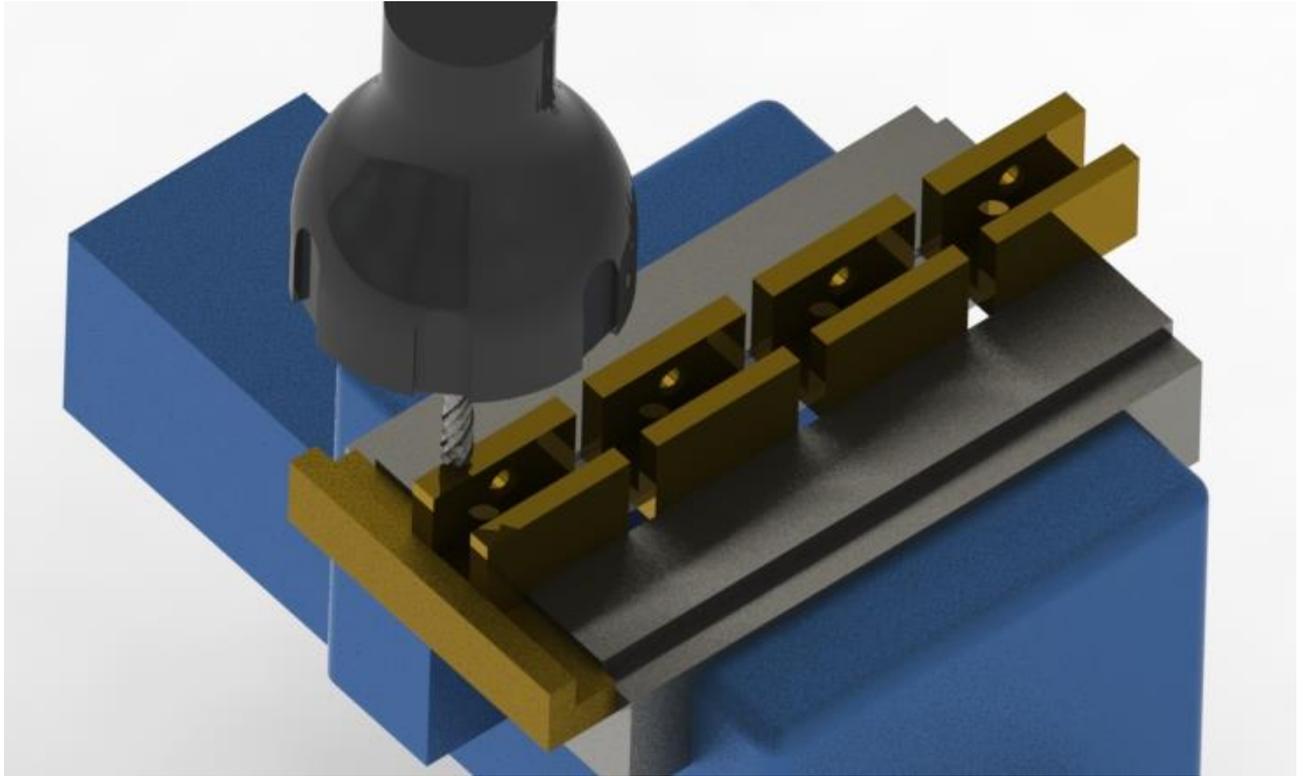


Figura 4-13. Tercer paso de la fabricación de prototipos de R13.

4.4 CAM

Una vez definidas las operaciones, el posicionamiento, las herramientas y la maquinaria es el momento de generar el código-máquina que la máquina de control numérico necesita para saber que movimientos debe realizar, a qué velocidad y con qué herramientas para pasar de un tocho de material a una pieza final.

Para generar dichos códigos se utiliza un software CAM, que no es más que una forma interactiva de hacerlo indicando rutas de movimiento para las herramientas (toolpath) y velocidades, encargándose el ordenador de construir el código necesario de forma automática.

En la práctica, es en este momento cuando se introducen en el problema las condiciones de corte tales como velocidad de corte, avance por diente, etc., y además es donde se sincronizan los orígenes de coordenadas, teniendo siempre cuidado de cumplir las especificaciones del fabricante de herramientas para no partir las mismas, lo cual puede producir desde un incremento de los costes estimados hasta ser catastrófico para la máquina en el peor de los casos.

Cabe mencionar que todas las operaciones que requieren la utilización de la máquina-herramienta pasan por este proceso, es decir, que no se limita a la fabricación en serie de las piezas sino también a la fabricación de los prototipos o de los propios utillajes.

Para los programas realizados para la fabricación de prototipos y de los utillajes en general se busca la sencillez en detrimento de mejores tiempos de operación, ya que no se espera hacer correr el programa en la máquina más de dos o tres veces y el tiempo que dejas de ganar es muy inferior al tiempo necesario para hacer un programa más optimizado y complejo.

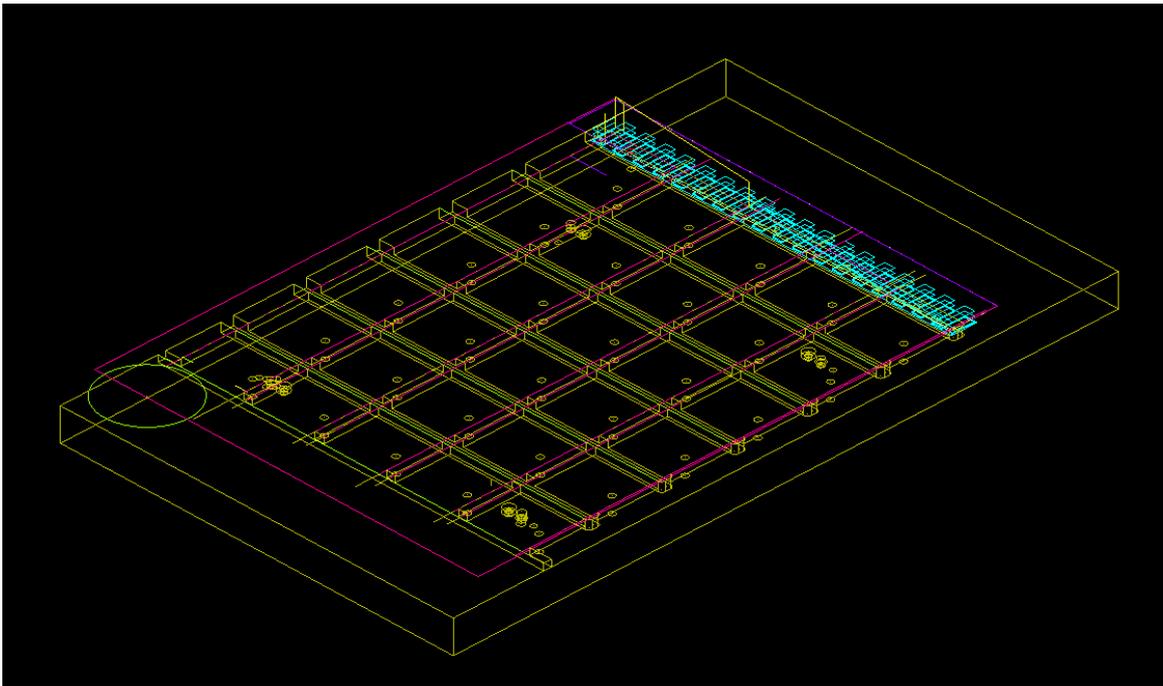


Figura 4-34. Toolpath del CAM del utilaje 01.

En cuanto a los programas realizados para las piezas en los propios utilajes cobra una importancia vital la optimización de las operaciones de mecanizado, buscando las rutas más cortas para la herramienta y las velocidades óptimas, lo cual aumenta la complejidad de la programación CAM pero que a la larga puede suponer unos tiempos de producción mucho más reducidos, ya que dichos programas optimizados se estarán ejecutando una y otra vez.

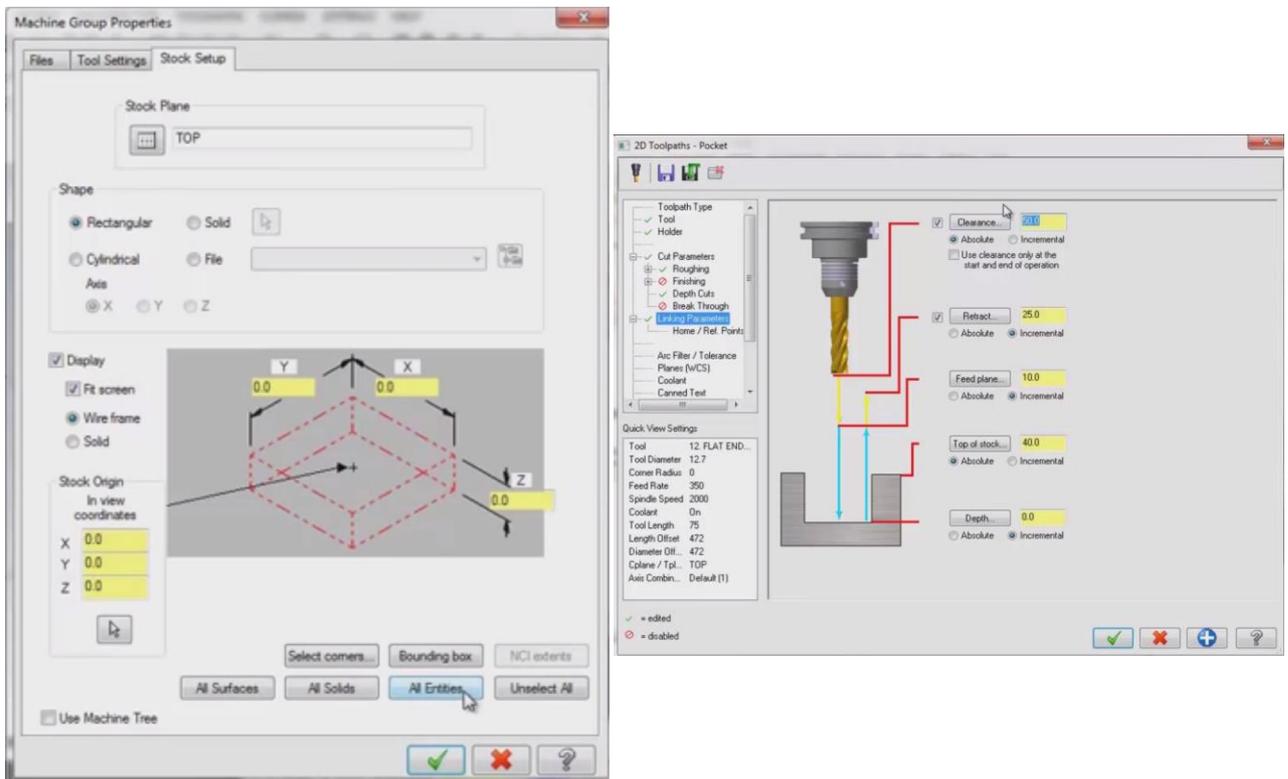


Figura 4-45. Establecimiento de condiciones de mecanizado en el software CAM.

4.5 Fabricación con utillajes

Para conseguir una producción que sea rápida y realmente beneficiosa para la empresa es necesario fabricar las piezas aprovechando al máximo los recursos disponibles. Para ello se introduce el concepto de utillaje para maquinaria de mecanizado. Los utillajes que se fabricaron en este proyecto son placas de aluminio con geometrías optimizadas para albergar la máxima cantidad de materia prima sujeta con bridas. La aplicación de los utillajes permite:

- Reducir los tiempos de fabricación, ya que al hacer varias operaciones a la vez, se gana mucho tiempo en cambios de herramienta, posicionamiento, desplazamiento de herramientas y tiempo de operario (al ser operaciones largas el operario puede dedicarse a otra tarea mientras se ejecutan).
- Disminuir los costes de producción, ya que muchos de ellos están directamente relacionados con el consumo de tiempo.
- Mayor precisión en la fabricación, ya que los utillajes tienen una geometría diseñada y optimizada exclusivamente para las piezas que se van a fabricar.
- Alto grado de uniformidad, ya que hay poca variabilidad o margen de error al ser un proceso mecánico y fácil de ejecutar una vez desarrollado.
- Intercambiabilidad, ya que gracias al sistema de posicionamiento es sencillo colocar un utillaje u otro sin hacer mediciones especiales cada vez que se realice un cambio.

Se planteó la idea de fabricar los utillajes en acero, lo cual en teoría es mejor. Sin embargo se descartó esta idea por los costes tanto de las materia prima (el acero es más caro que el aluminio) como de las herramientas necesarias para mecanizarlo. Además el peso de un utillaje de acero hubiera obligado a usar una pequeña grúa para trasladar los utillajes. Al ser de aluminio, un operario es capaz de retirar la placa de forma manual.

Para el posicionamiento se contaba con otra placa que si es de acero y está fija. Dicha placa tiene cuatro pernos de posición, los cuales quedarían perfectamente encajados en cuatro orificios mecanizados previamente en el utillaje permitiendo posicionarlo de forma rápida y sencilla. A continuación se bridan los laterales a la bancada inferior con los bridajes estándar de la propia máquina herramienta y por último se utiliza una fresa para posicionar el eje z respecto a la máquina.

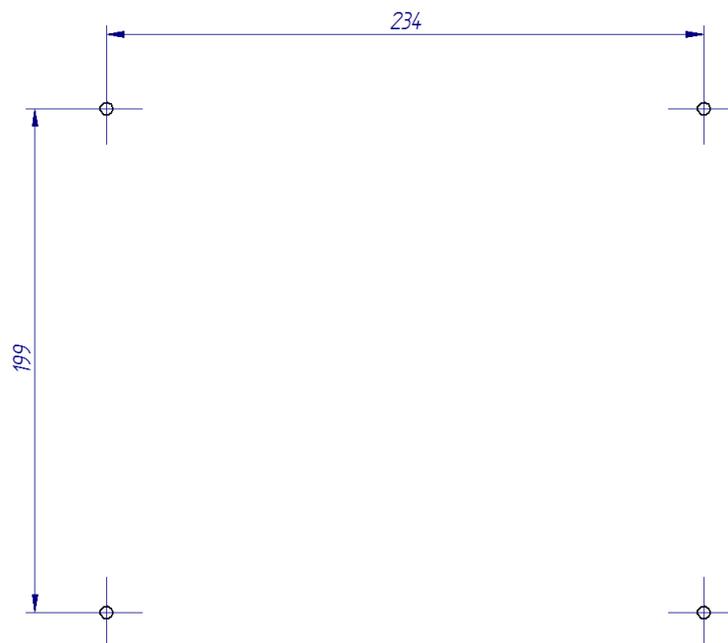


Figura 4-56. Esquema de los pernos de posicionamiento.

Por lo general se intentó que un mismo utillaje sirviese para la fabricación de más de un tipo de pieza, pero nunca se impuso este criterio si al buscar compatibilidad se debía renunciar a capacidad de producción o se debía malgastar más material del estrictamente necesario.

Aunque solamente sea necesario ejecutarla una vez, fabricar un utillaje es una operación delicada ya que un error podría invalidarlo y hacer perder a la empresa tiempo y dinero. Por ello es necesario comprobar las geometrías varias veces y al fabricarlo, ejecutar las operaciones de forma pausada y comprobando que no se haya cometido ningún error.

4.5.1 Bridas

Para realizar un buen agarre en la materia prima a la hora de realizar las operaciones de mecanizado es necesario invertir en bridajes que se ajusten a las dimensiones de los utillajes y a los esfuerzos que aplica el usillo sobre la pieza. Hay una gran gama de posibilidades y soluciones plausibles pero una vez más, el criterio económico y la versatilidad fueron los que primaron respecto a otros criterios.

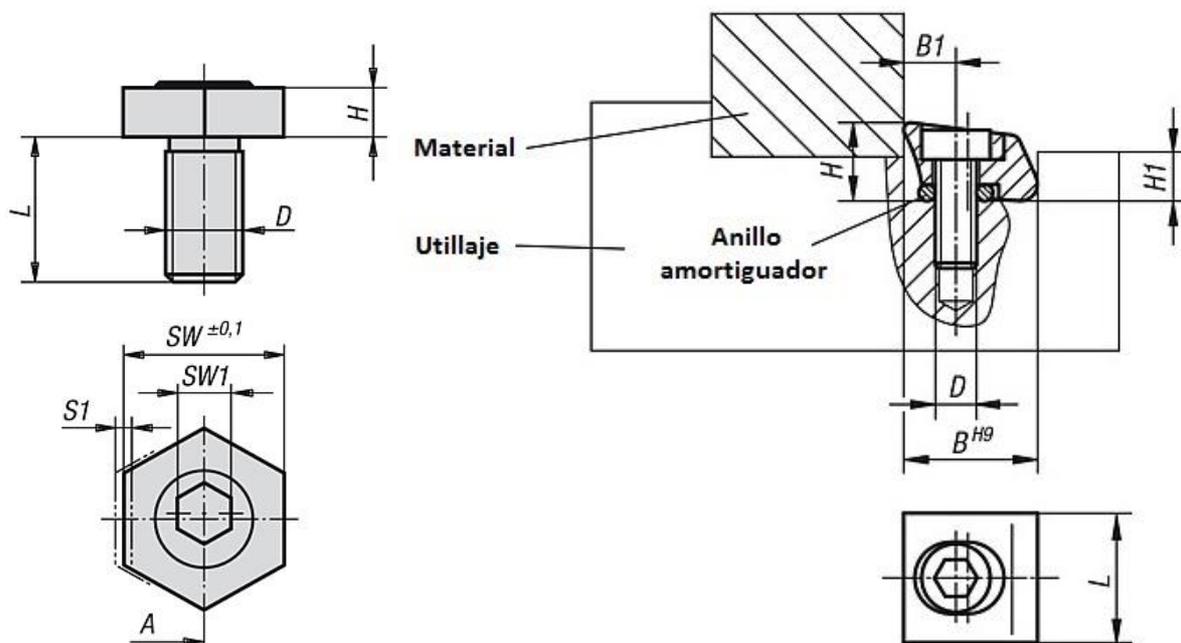


Figura 4-67. Esquema de las bridas excéntricas y las bridas pitbull.

Tabla 4-8. Especificaciones de las bridas.

BRIDA EXCÉNTRICA		BRIDA PITBULL	
H	4.8 mm	H	8 mm
D	M6	B1	5.1 mm
L	12 mm	D	M4 x 12 mm
SW	16 mm	B^{H9}	12.7 mm
SW1	4 mm	H1	4.8 mm
S1	1,3 mm	L	13 mm
A	7.8 mm	Juego de agarre	0.4 mm

Fuerza de agarre	3.4 kN	Fuerza de agarre	6.6 kN
Máximo Par	8.5 Nm	Máximo Par	5.6 Nm

4.5.1.1 Bridas excéntricas

Las bridas excéntricas fueron las primeras elegidas ya que tienen un tamaño pequeño lo cual deja más espacio libre en el utillaje y además tienen un muy buen precio. Éstas constan de un tornillo de rosca métrica con una cabeza hexagonal de latón cuyo centro está desplazado una pequeña distancia al eje del centro del tornillo, de tal manera que al roscar 90° la brida se produce un desplazamiento lateral de la cara del hexágono lo cual al entrar en contacto con la cara del material a bridar produce el esfuerzo de agarre o “bocado”.

El recorrido que son capaces de hacer es de 1,3 mm al girarlas, pero aunque en teoría pueden apretar en cualquier posición de dicho recorrido, la máxima fuerza que son capaces de transmitir solo se da en el caso de un pequeño intervalo, que es para el cual está optimizado la distancia “eje de la brida/pared de la pieza” que aparece en la tabla anterior (7,8 mm).



Figura 4-78. Bridas excéntricas.

Estas bridas presentaron varios inconvenientes en algunas situaciones. No eran las más indicadas para bridar en operaciones de planeado ya que al producir esfuerzos puramente horizontales en ocasiones debido a imperfecciones en la materia prima o al alojo de viruta en la parte inferior podía tender a levantar levemente la pieza, lo cual produjo errores en los planeados de hasta 250 micras, los cuales al acumularse entre distintas operaciones podían llegar a resultar un problema.



Figura 4-89. Ejemplo de imperfección que produce un levantamiento al bridar.

Además hay que tener en cuenta que las fuerzas nominales que el fabricante proporciona son para utillajes de acero. Al ser los utillajes de este proyecto en aluminio en la práctica el forzar mucho las bridas podía acabar resultando en pequeñas deformidades en las roscas llegando a necesitar de galgas para bridar con seguridad o incluso en daños irreparables, los cuales podrían llegar hasta a inutilizar permanentemente el utillaje.

Por ello se optó por adquirir además otro tipo de bridas que no tuviesen los problemas en las operaciones de planeados y que además fuesen más robustas en las operaciones de cortes que fuesen más exigentes en cuanto a agarre necesario.

4.5.1.2 Bridas pitbull

Las bridas pitbull son más caras pero solucionaron ciertos problemas que las anteriores causaban. Para emplearlas es necesario mecanizar el utillaje con una alta precisión ya que para su correcto funcionamiento necesitan una geometría de apoyo muy concreta, tal y como se muestra en el dibujo y la tabla del comienzo de este apartado.



Figura 4-20. Bridas pitbull.

Estas bridas están hechas de acero y transmiten casi el doble de fuerza que las anteriores. Sin embargo esta fuerza tiene una componente horizontal y una vertical negativa, lo cual pega la pieza a la base del utillaje y la hace ideal para usarla en planeados, operaciones sobre la cara superior y operaciones con esfuerzos exigentes.

Por el contrario tienen menos juego que las anteriores, por lo que si el espesor de la pieza no es el adecuado la brida no será capaz de agarrarla.

El modelo elegido es tiene la punta plana con el objetivo de dejar la menor marca posible al apretarla. Al igual que en la anterior no hay que forzar demasiado el apriete o se corre el riesgo de dañar el utillaje ya que al ser de aluminio es lo que primero se deformará.

4.5.2 Primera serie de utillajes

Los dos primeros utillajes que se fabricaron sirvieron como experiencia para la optimización del proceso. Aunque si resultaron funcionales y no hubo que descartarlos con los costes que hubiera implicado, se detectaron fallos o aspectos que se mejoraron a partir de los siguientes.

4.5.2.1 Utillaje 01 para la fabricación de R3 y R4

Las piezas R3 y R4 son simétricas la una respecto a la otra. El cliente siempre las pide por parejas, por lo que era interesante el considerar fabricarlas a la vez. Además ambas tienen un gran vaciado interior que es más rápido y sencillo de hacer por parejas.

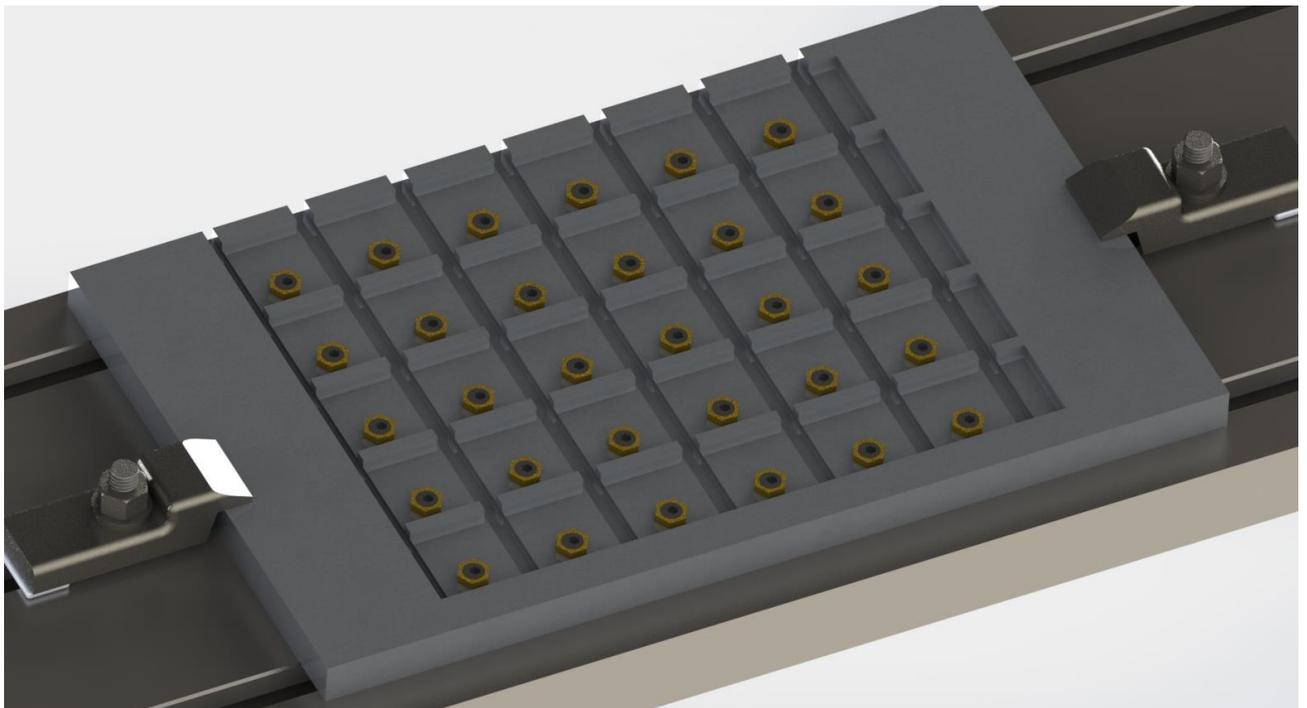


Figura 4-21. Utillaje 01.

El utillaje consta de 5 canales de 5 mm de profundidad desde el plano superior, cada uno con espacio para 6 piezas (tres R3 y tres R4). El número de canales está delimitado por el tamaño del área de trabajo de la máquina herramienta, sin embargo el número de piezas por canal está delimitado por el tamaño de la fresa de plaquitas que realizará el planeado superior, cuyo diámetro es de 63 mm. Es decir que es necesario dejar el espacio suficiente para que la planeadora baje hasta la altura requerida sin tocar los listones. Preferiblemente se dejará espacio también para que la fresa termine el planeado sacando por completo su diámetro del listón, pero esto no se considera tan importante. Esta regla del planeado se conservará para el diseño de todos los utillajes posteriores.

Es necesario hacer canales de corte verticales para utilizar las fresas correspondientes para separar

unas piezas de otras. Las fresas de cortes son de 5 y 6 mm, por lo que 10 mm de canal son suficientes para que pasen holgadas.

El listón se apoya en la pared izquierda del utillaje. Las fresas cilíndricas no tienen la capacidad de hacer esquinas de 90° perfectas ya que su propio radio se lo impide. Por eso es necesario un canal extra de 6 mm en la pared de apoyo cuya única función es la de eliminar dichas esquinas redondeadas, ya que gracias al canal podemos introducir una fresa pequeña.

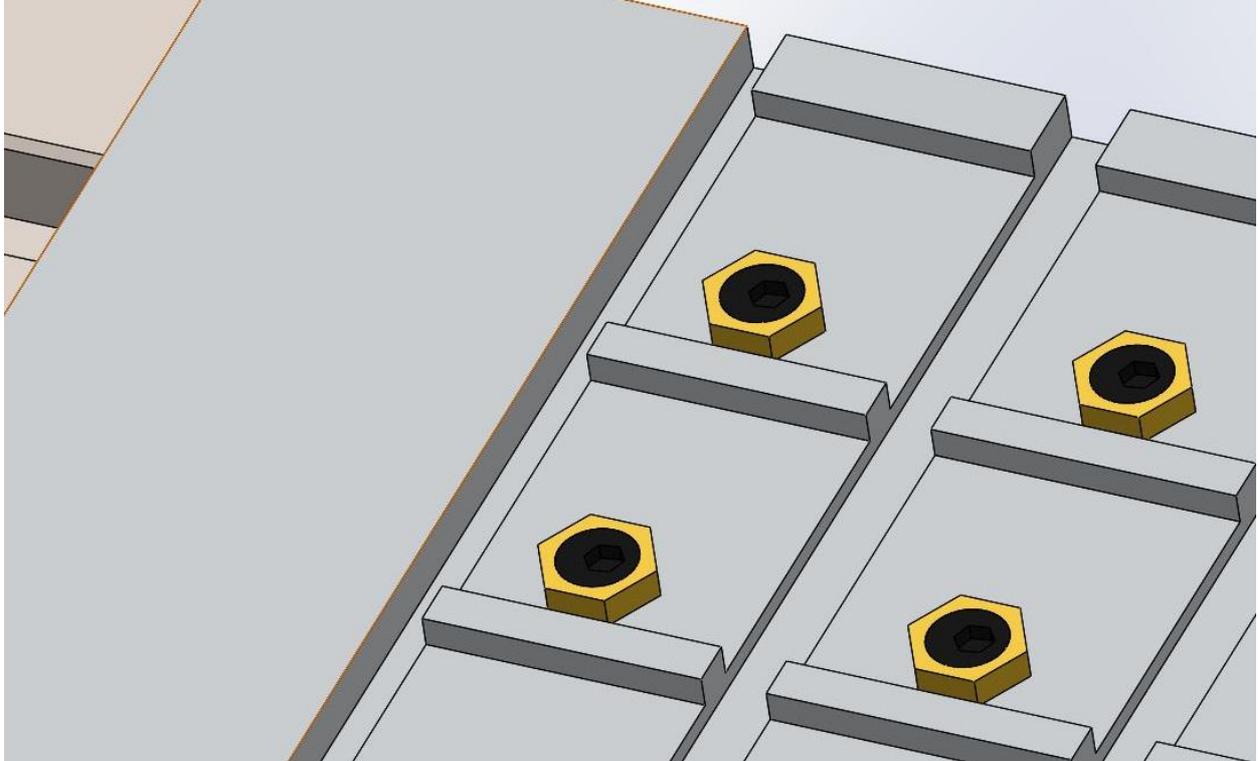


Figura 4-22. Canal de rectificado y canal de corte.

El bridaje es completamente con bridas excéntricas, las cuales están colocadas a 37.8 mm de la cara opuesta del utillaje (30 mm de listón de R3R4 + 7.8 mm de distancia nominal de la brida). En total 30 bridas que se colocan en el medio de cada pieza.

La operación de mecanizado se hace en tres pasos. En este utillaje, se aplica la misma operación para todos los canales. Es decir que primero aplicamos cinco pasos 1, luego cinco pasos 2 y finalmente cinco pasos 3. El tamaño de los listones de 338 mm, los cuales se dividen en 51x6 mm de pieza, 6x5 mm de cortes y 2 mm de rectificación de los cantos.

El proceso de producción sería el siguiente:

- El paso 1 es de rectificación. Se realiza un planeo en la cara superior de 150 micras. Además se rectifica 1 mm del canto que queda en voladizo a la derecha con la fresa de acabados de 16 mm (inicialmente se hacía con la de 10 mm hasta que se adquirió la de 16 mm para la tercera serie de utillajes).
- El listón se gira 180 grados sobre el eje y, quedando ahora la cara planeada en la parte inferior y el canto rectificado apoyando en la pared. En el paso dos se planea la cara superior 150 micras, se rectifica el otro canto 1 mm y se hacen los agujeros M5 de las piezas.
- Para terminar se gira el listón 90° en el eje x y se planea la cara superior. Se hace el vaciado principal con la fresa de desbaste de 16 mm y luego se perfilan las esquinas interiores con la fresa de 6 mm de acabado. A continuación se hacen los agujeros avellanados inferiores y por último se pasa a los cortes, utilizando primero la fresa de 5 mm y una vez separadas las piezas, la de 6 mm para conseguir un buen acabado.

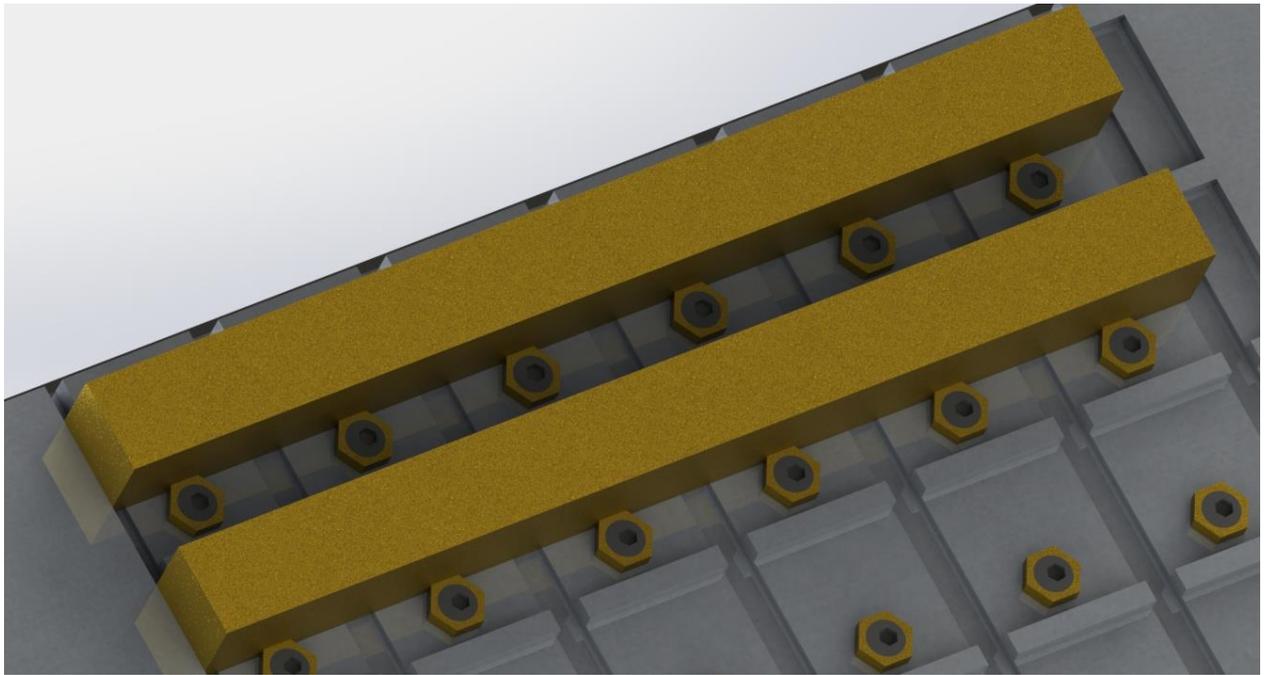


Figura 4-23. Dos listones colocados para el paso 1.

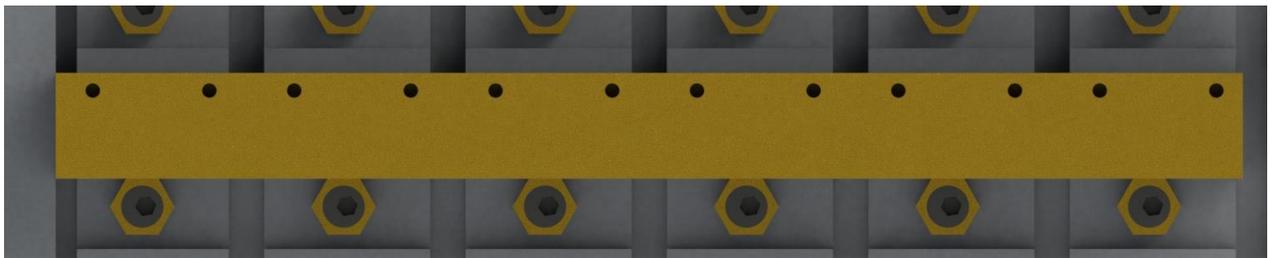


Figura 4-24. Listón tras el paso 2

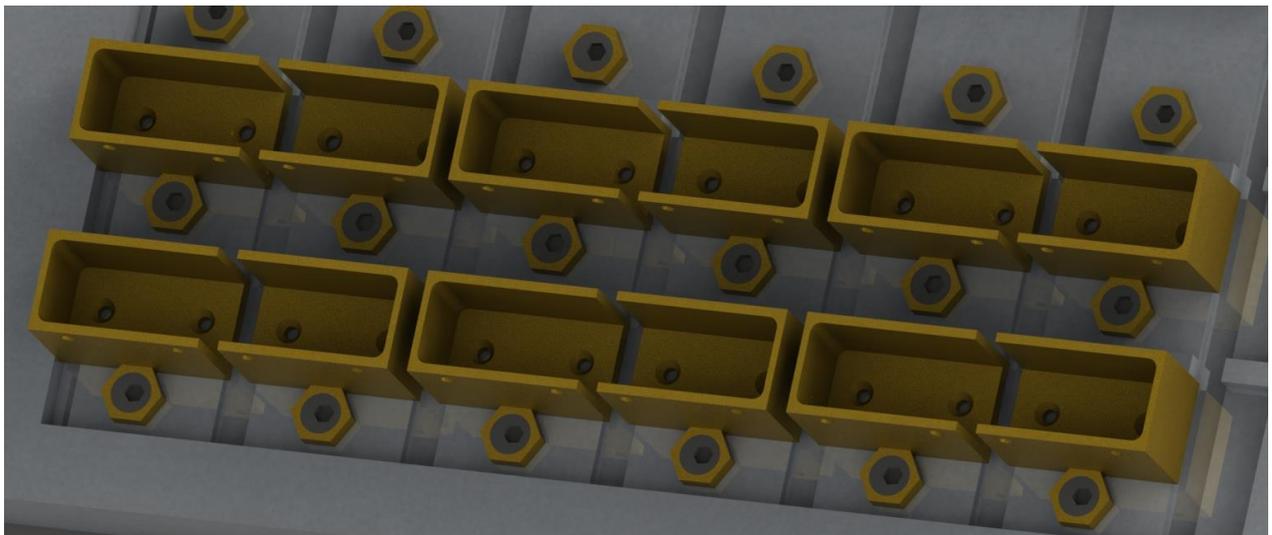


Figura 4-25. R3 y R4 acabadas.

Este utillaje tuvo un problema principal como ya se mencionó en el apartado de bridas. Las bridas excéntricas pueden levantar los listones ligeramente por lo que en ocasiones los planeados eran mucho mayores que los deseados. En el último paso el grosor del listón entre la brida y la pared del utillaje se debería haber reducido en 300 micras con respecto al nominal, lo cual no resulta un

problema para el agarre ya que las bridas excéntricas tienen una tolerancia de 650 micras. Sin embargo al levantarse las piezas en los planeados anteriores, la diferencia respecto al nominal se podía incrementar hasta las 900 micras con el resultado de perder el agarre por completo. Esto obligaba a utilizar galgas de latón entre la brida y la cara del listón, lo cual aumentaba considerablemente el tiempo de posicionamiento de las piezas.

Además se detectaron diversas posibles mejoras, las cuales se implementarán en la segunda serie de utillajes.

4.5.2.2 Utillaje 02 para la fabricación de R2

El utillaje 02 se fabricó conjuntamente con el utillaje 01 y se basa en los mismos principios. La única mejora notable respecto al anterior es que se aprovechó más el área de trabajo en la dirección y, quedando unas paredes de apoyo lo más gruesas posible. Además de eso, es necesario realizar la preforma de las muescas laterales semicirculares de la pieza R2 en el propio utillaje.

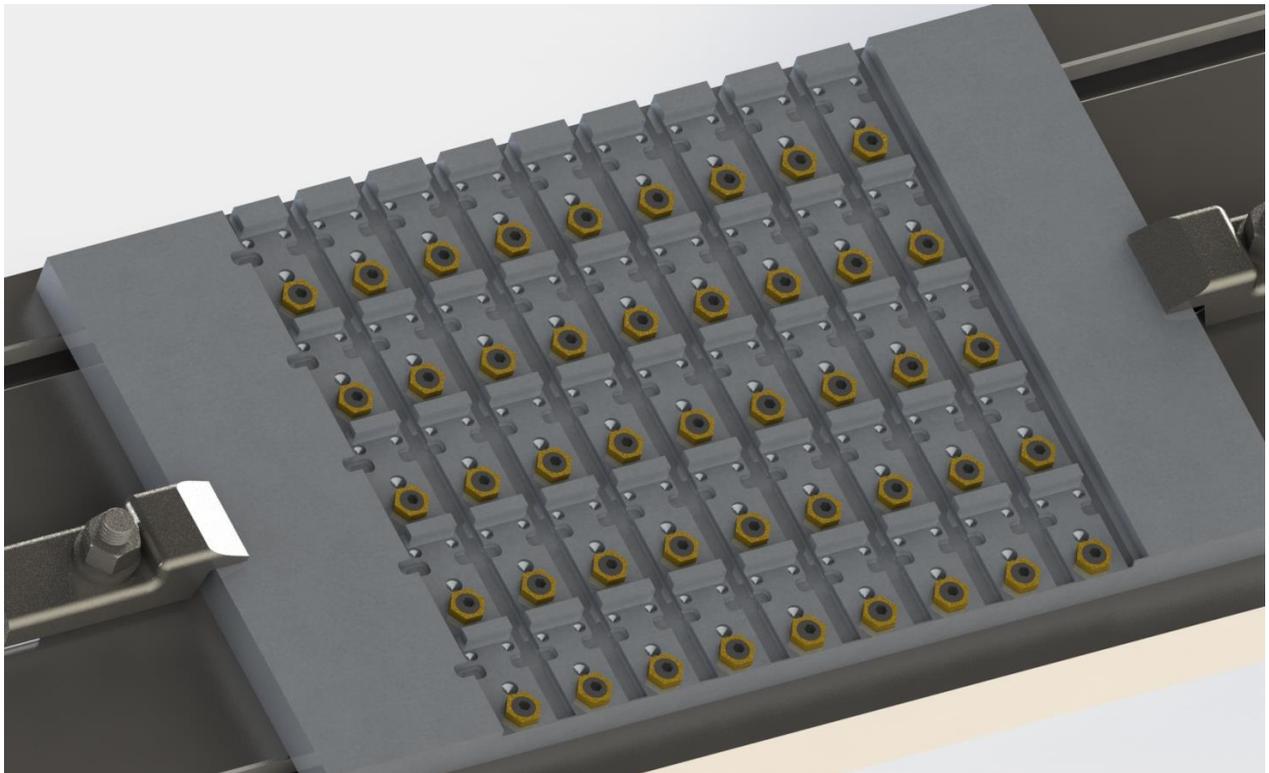


Figura 4-26. Utillaje 02.

La fabricación se realiza en tres pasos y los listones tienen que ser de al menos 338 mm, los cuales se dividen en 32x9 mm de pieza, 6x8 mm de cortes y 2 mm de rectificación de los cantos.

El proceso de producción sería el siguiente:

- Primero se realiza un planeo y la rectificación de 1 mm del canto derecho
- Segundo se realiza un giro de 90° en el eje x, y un giro de 180° en el eje z. Se rectifica 1 mm del canto restante y se pasa al desbaste principal con la fresa de 16 mm. Se realiza un planeo de la cara horizontal inferior y una pasada de acabado con la fresa de 10 mm para la cara vertical. Por último se realiza el agujero roscado M8.
- Para el último paso, se gira la pieza 90° en el eje x y se realizan los agujeros avellanados, las muescas laterales y se procede con el corte, el cual es bastante profundo y requiere la fresa especial de 6 mm de diámetro con mango extra largo, la cual permite cortar más profundo a costa de velocidad de corte.

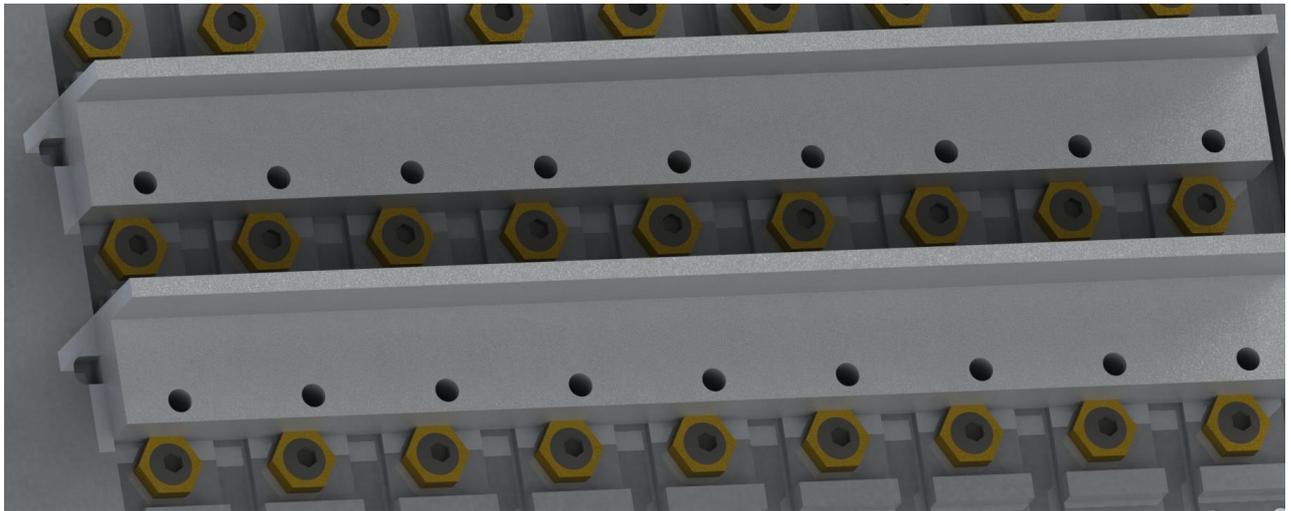


Figura 4-27. Listones al finalizar el paso 2.

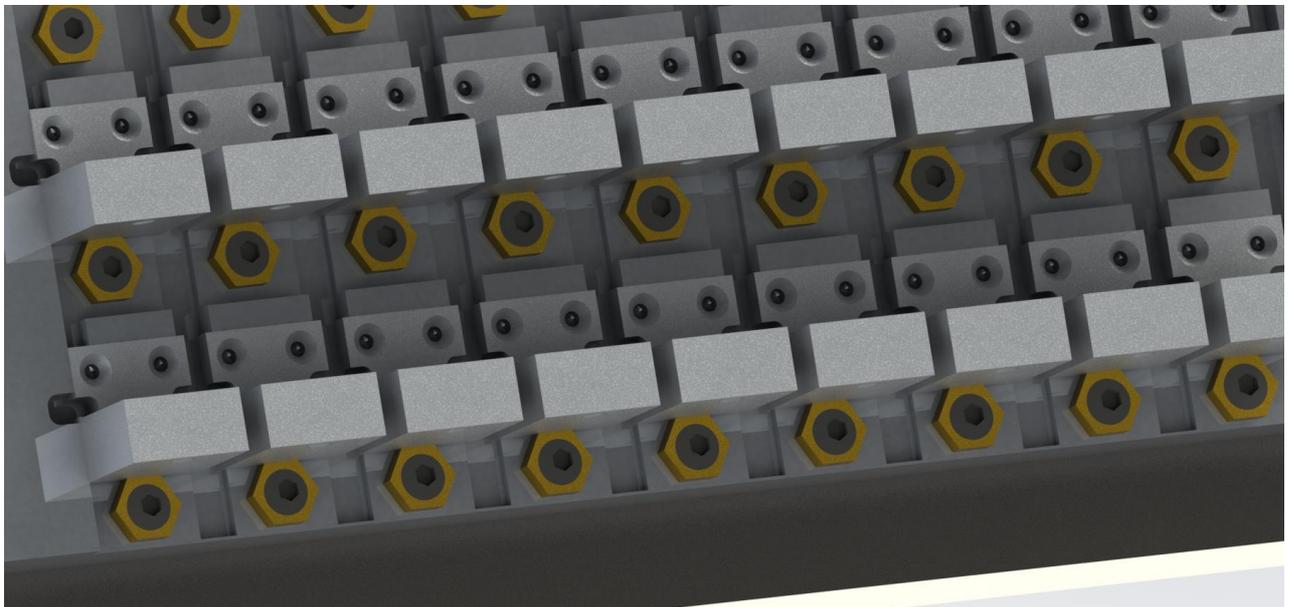


Figura 4-28. R2 terminadas.

4.5.3 Segunda serie de utillajes

La primera evolución respecto a los utillajes anteriores fue el cambio de material para fabricarlos. Se pasó del aluminio aleación de magnesio 5083 al de aleación de zinc 7075 debido a sus mejores propiedades mecánicas, ya que preocupaba que el material del utillaje fuese el que primero cediera en el conjunto en caso de sobreesfuerzo, tal y como sucedió en dos de los agujeros roscados para las bridas del utillaje 01 que se apretaron más de lo debido en una de las primeras series de fabricación.

4.5.3.1 Utillaje 03 para la fabricación de R10 y R20

Tras los problemas que causaron las bridas excéntricas por si solas se decidió adquirir las bridas pitbull, especialmente buenas para las operaciones de planeado. Además se decidió que los listones se apoyaran a la derecha y no a la izquierda del utillaje, ya que las herramientas cortan de izquierda a derecha y parece razonable que de esta manera sean más resistentes a los esfuerzos. También se decidió profundizar todo lo posible dentro del utillaje, para ganar apoyo en las piezas.

Otro cambio importante respecto a los anteriores es que se diseñaron los canales de apoyo de listones

especialmente para cada operación. Es decir, que en lugar de realizar la misma operación en todo utillaje, cada canal cumplirá un paso del proceso completo. Como ejemplo en este utillaje que realiza tres operaciones, los dos primeros canales están reservados para el primer paso, los dos segundos para el segundo paso y los dos últimos para el tercer paso. De esta manera al acabar un ciclo se retirarían dos filas de piezas terminadas, los listones del segundo paso pasarán al tercero, los del primero al segundo y entrarían dos listones nuevos.



Figura 4-29. Utillaje 03.

Es recomendable, en caso de tener un operario disponible, que se añada un paso adicional entre el segundo y el tercero de pre-pulido de listones. De esta manera se puede eliminar la mayor parte de impurezas e imperfecciones antes de separar el listón en distintas piezas, que serán mucho más costosas de pulir una a una. Como desventaja esto añade más ciclos de pulido, sin embargo de forma empírica se ha comprobado que es más efectivo hacerlo de esta manera ya que el tiempo total y riesgo de daño a la pieza son menores.

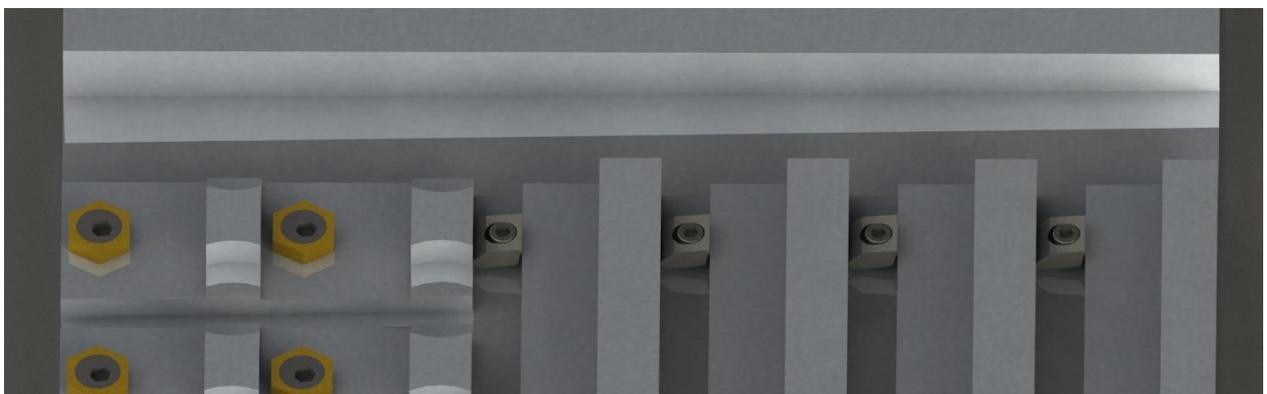


Figura 4-30. Inclinación en el utillaje.

Otra ventaja importante es que al no separarse las piezas hasta los cortes finales y ya que las bridas pitbull tienen más fuerza, el número de bridajes necesarios disminuye drásticamente, disminuyendo también el tiempo de posicionamiento.

En el caso que nos ocupa se tienen seis canales, dos por operación. Los cuatro primeros canales son

para bridas pitbull y los dos últimos que son de corte son para excéntricas. La distancia de los canales pitbull es 50 micras menor a la nominal ya que se detectó que el proveedor suele traer listones con 50 micras menos de lado de la sección del listón.

Los dos últimos canales tienen sus canales de corte verticales como en los anteriores utillajes, pero en esta ocasión se les ha añadido una pequeña pendiente para facilitar la evacuación de refrigerante (taladrina) y viruta. Además se han añadido tres canales verticales de evacuación, dos de 10 mm interiores y uno especialmente amplio en el lado izquierdo del utillaje, todos ellos también con pendiente. Para finalizar, también está el canal de 6mm que tiene la función de poder eliminar las esquinas redondas en la fabricación del utillaje, tal y como se hizo en los anteriores.

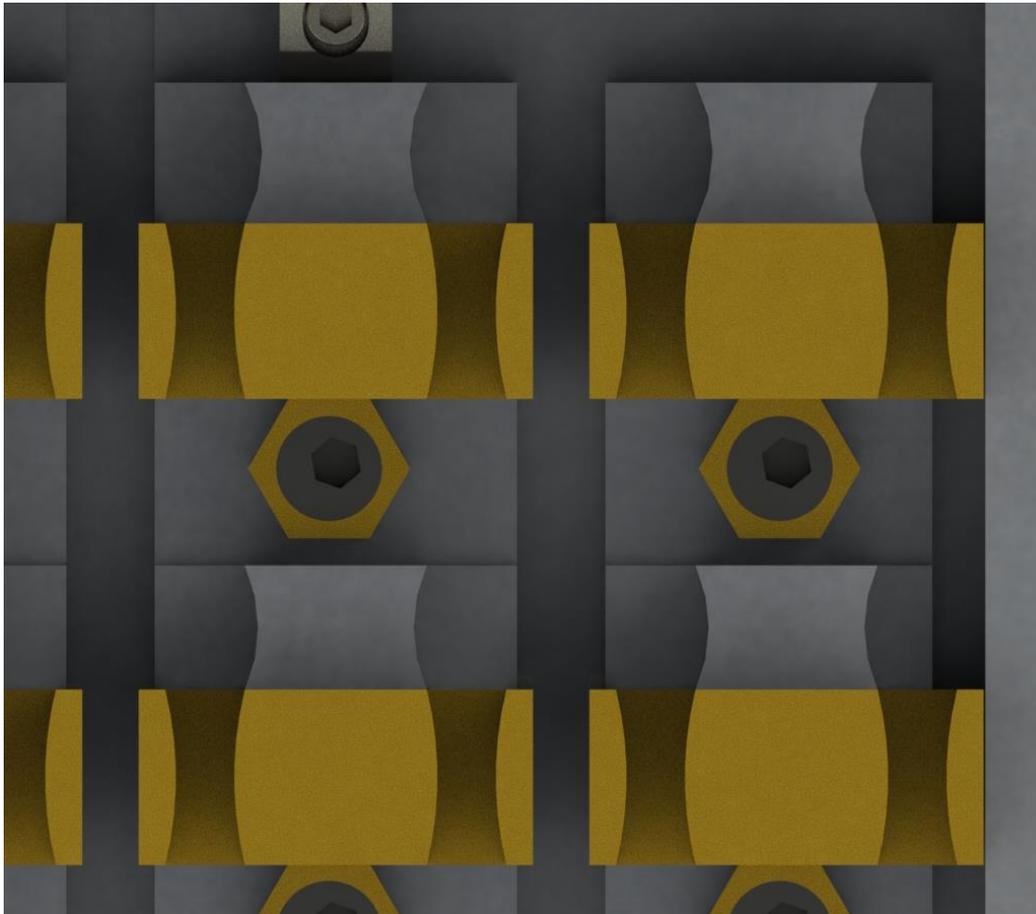


Figura 4-31. Encaje entre la curvatura de apoyo y la de las piezas.

Los apoyos de las piezas en la operación final tienen una geometría curvada hacia dentro del material. De esa manera la fresa que realice los canales curvados de las piezas R10 y R20 podrá salir sin tocar el utillaje.

El número de piezas que se producen por canal es 6, tanto para la R10 como la R20. El tamaño de listón requerido es de 302 mm, siendo 45x6 mm para piezas, 6x5 mm para cortes y 2 mm de rectificado de los cantos.

El proceso de producción sería el siguiente:

- Primero se planea la cara superior 150 micras y se rectifica el canto 1 mm.
- Se voltea el listón 180° en el eje y. Se realiza el mismo planeo y rectificado. Se le realizan las hendiduras frontales ya sean la de la R10 o la de la R20.
- Opcional: se llevan los listones a pulir.
- Se gira el listón 90° en el eje x, quedando la cara de las hendiduras tocando la pared del

utillaje y la opuesta tocando las bridas excéntricas. Se realiza un planeado de 150 micras. Se pasa a hacer los cortes de las piezas primero con la fresa de 5 mm de acabados, ya que de hacer los canales curvados antes se liberan las tensiones interiores del listón debido a la extrusión y se doblaría mucho, llegando incluso a partir el listón. Además es necesario hacer los cortes de fuera a dentro, dejando los dos cortes de separación centrales para el final. Una vez estén las piezas separadas se procede a fresar los canales curvados, utilizando la fresa de desbaste-acabado de 6mm. Esta operación se hace a un 30% menos de la velocidad nominal de corte ya que se pueden dañar las paredes más delgadas de la pieza. Para finalizar se pasa la fresa de acabados de 6 mm por las caras de corte de la pieza para dejar un buen acabado final.

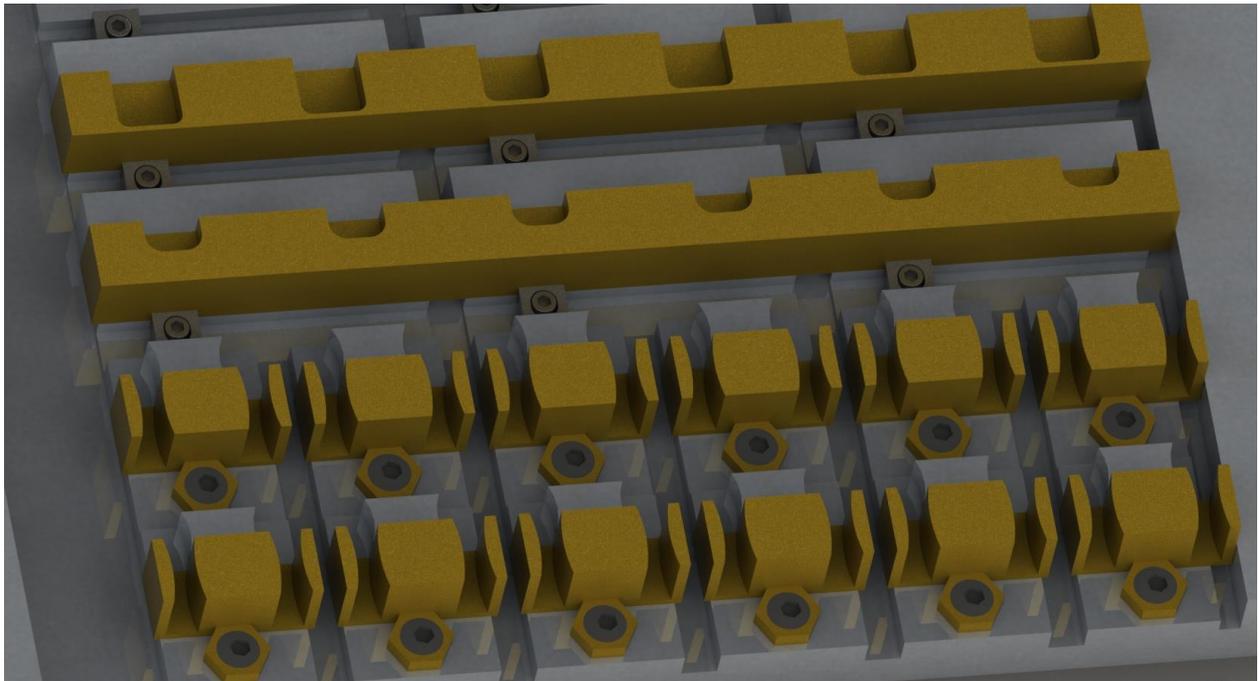


Figura 4-32. R10 y R20 tras los pasos 2 y 3.

4.5.3.2 Utillaje 04 para la fabricación de R17 y R18

Este utillaje es una combinación entre el método de hacer la misma operación a la vez y el método secuencial. Dispone de 6 canales y requiere de 4 operaciones, por lo que es imposible especializar cada canal en una sola operación sin producir un desequilibrio en la operación. La solución que se adoptó consiste en asignar dos canales a cada operación desde la primera a la tercera, para una vez realizadas las tres primeras operaciones de toda la producción, cambiar la disposición de las bridas y convertir los 6 canales en canales para la cuarta operación.

Otra novedad es que este utillaje dispone de dos rampas anchas de evacuación de viruta, pero esta vez están orientadas hacia afuera porque al utilizar aire a presión para limpiar el utillaje le resulta más fácil si la inclinación es descendente desde donde se aplica el aire.

Para hacer los canales compatibles con los dos tipos de bridas hubo que hacer una geometría más compleja de lo habitual. Además preocupaba que las bridas pitbull agarraban en una zona donde el listón estaba en voladizo, ya que no se podía subir esa cara de apoyo a la misma cota que el resto ya que en esa zona se producen los vaciados y los cortes que son hasta el fondo de la pieza. Sin embargo el resultado fue bueno y no dio inconvenientes.

Al igual que las piezas R3 y R4, estas son producidas a la vez y salen en parejas, tres R17 y tres R18 por canal y ciclo completo. Los listones introducidos son de 323 mm, siendo 48,5x6 mm para las piezas, 6x5mm para los cortes y 2 mm para la rectificación de los cantos.

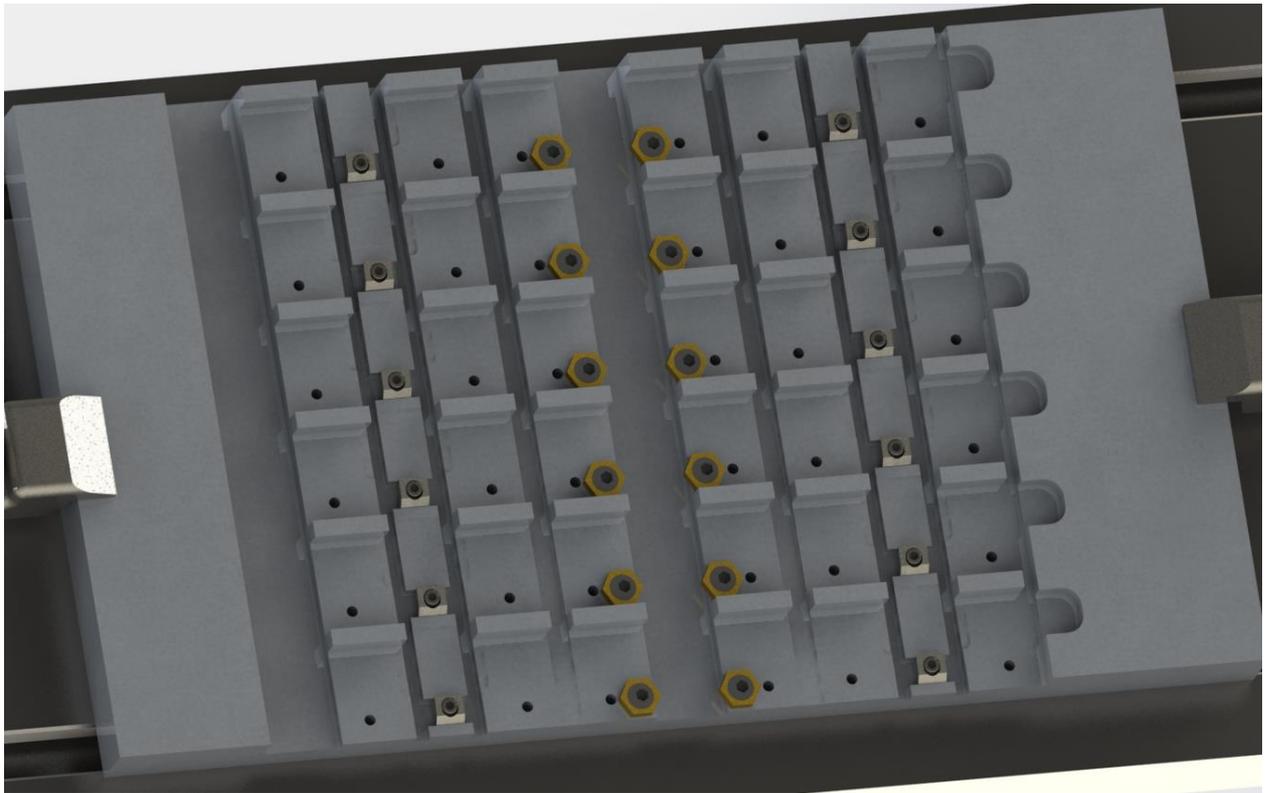


Figura 4-33. Utillaje 04, disposición para las tres primeras operaciones.

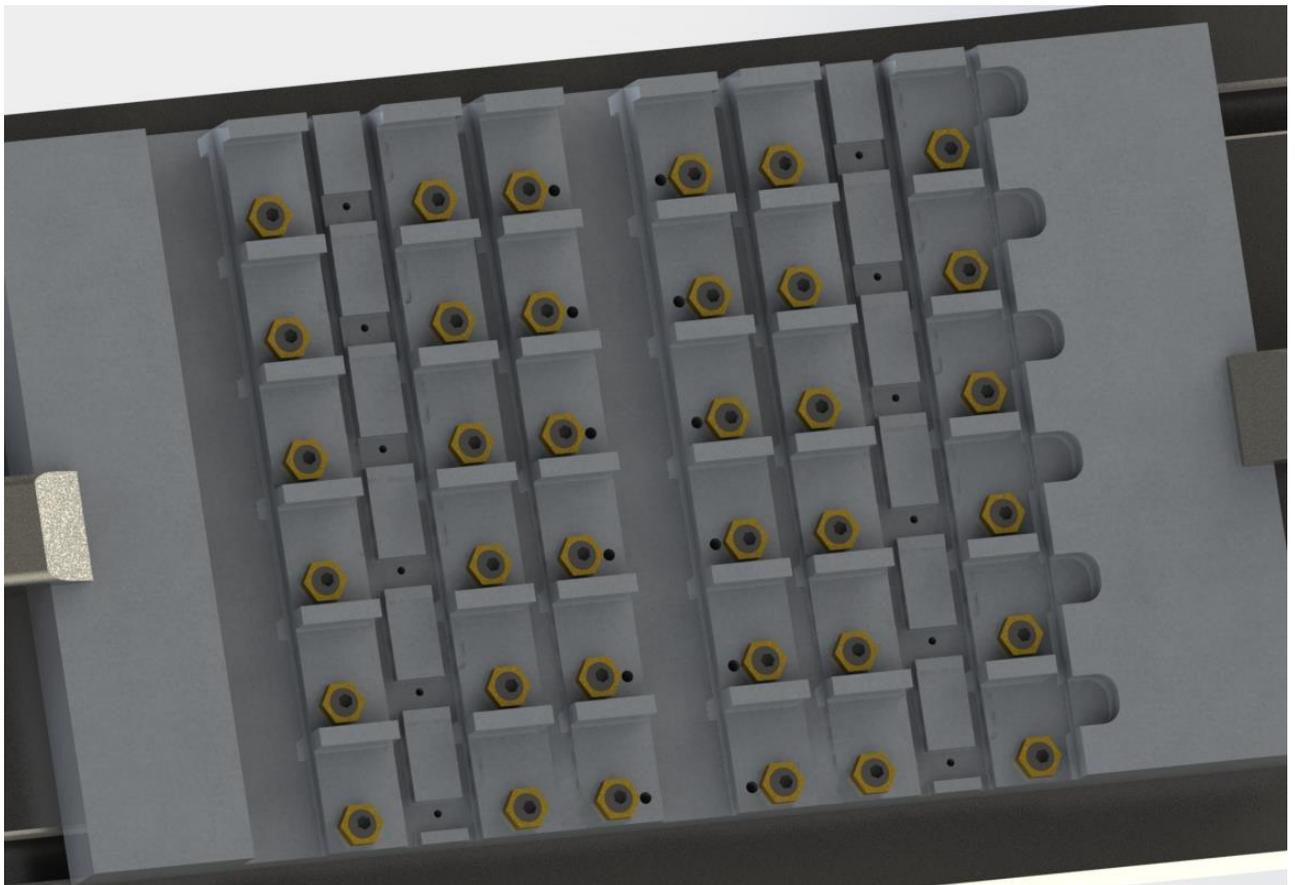


Figura 4-34. Utillaje 04, disposición para la última operación.

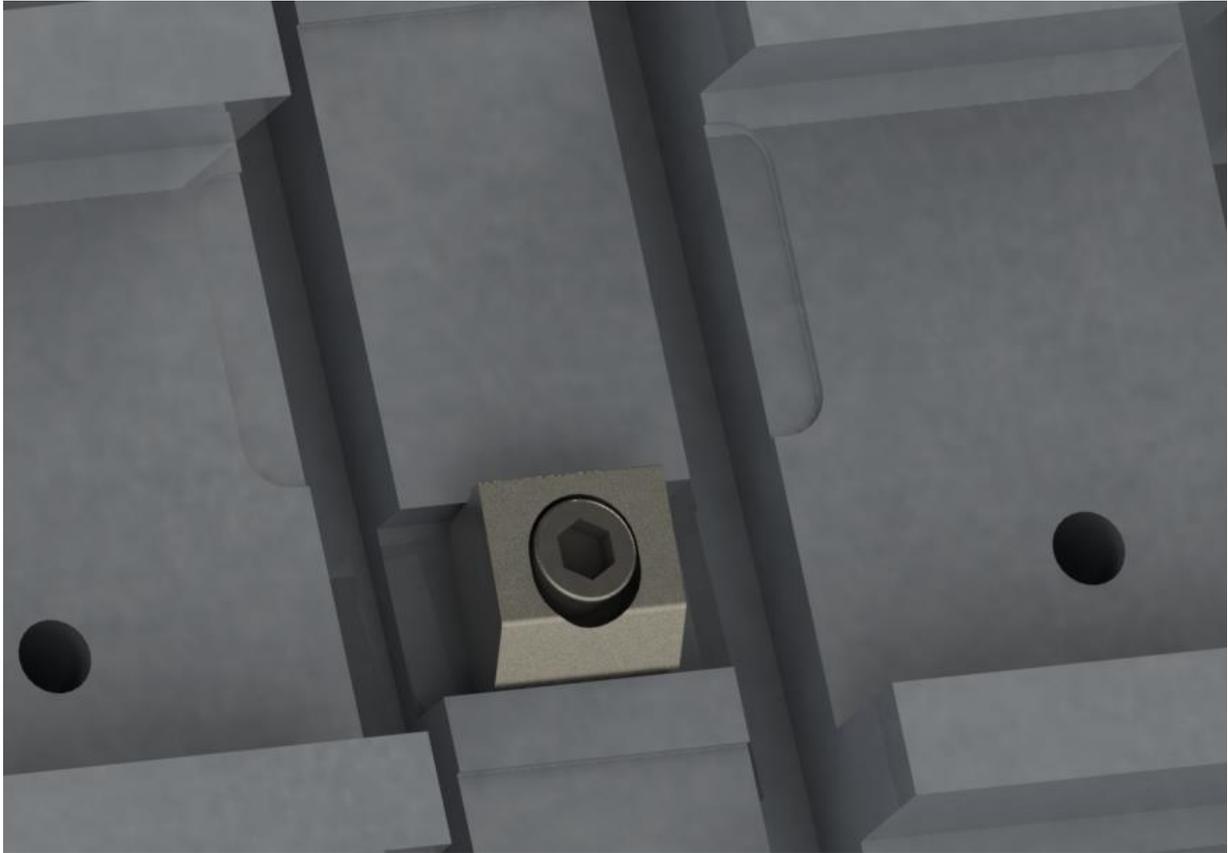


Figura 4-35. Zona de compatibilidad entre pitbull y excéntricas.

El proceso de producción sería el siguiente:

- Primeras tres operaciones. Las bridas pitbull deben estar colocadas. Opcionalmente hay 12 agujeros para bridas excéntricas de apoyo por si se precisa de más agarre, pero no son indispensables a priori.
 - En los dos primeros canales se realiza un planeado de 200 micras y un rectificado del canto al aire de 1 mm.
 - En los dos segundos se gira el listón 180° en el eje z y 90° en el x, quedando la pared planeada en contacto con la pared de apoyo. Se realiza un planeado de 200 micras y el rectificado de 1 mm del otro canto.
 - Se gira el listón 90° en el eje x y se realiza un planeado de 200 micras. A continuación se realizan los agujeros M5 frontales de las piezas.
- Opcional: se llevan los listones a pulir.
- Cuarta operación. Se deben quitar todas las bridas pitbull y colocar todas las excéntricas exceptuando las 12 de apoyo para los planeados. Se utilizan la fresa de desbaste de 16 mm y la fresa de acabados de 10 mm para hacer los vaciados principales. Se pasa la fresa de 6 mm de acabados por el interior de la pieza. Se realizan los agujeros avellanados del fondo y se realizan los cortes de separación, primero con la fresa de 5 mm y luego con la de 6 mm. Es necesario tener cuidado con esta operación ya que podrían dañarse las paredes de las piezas más delgadas, debido a que las vibraciones pueden llegar a ser muy fuertes. Si se usa la fresa de desbaste hasta el espesor requerido, se comprobó que la pared salía con un acabado muy malo y un espesor real menor del deseado.

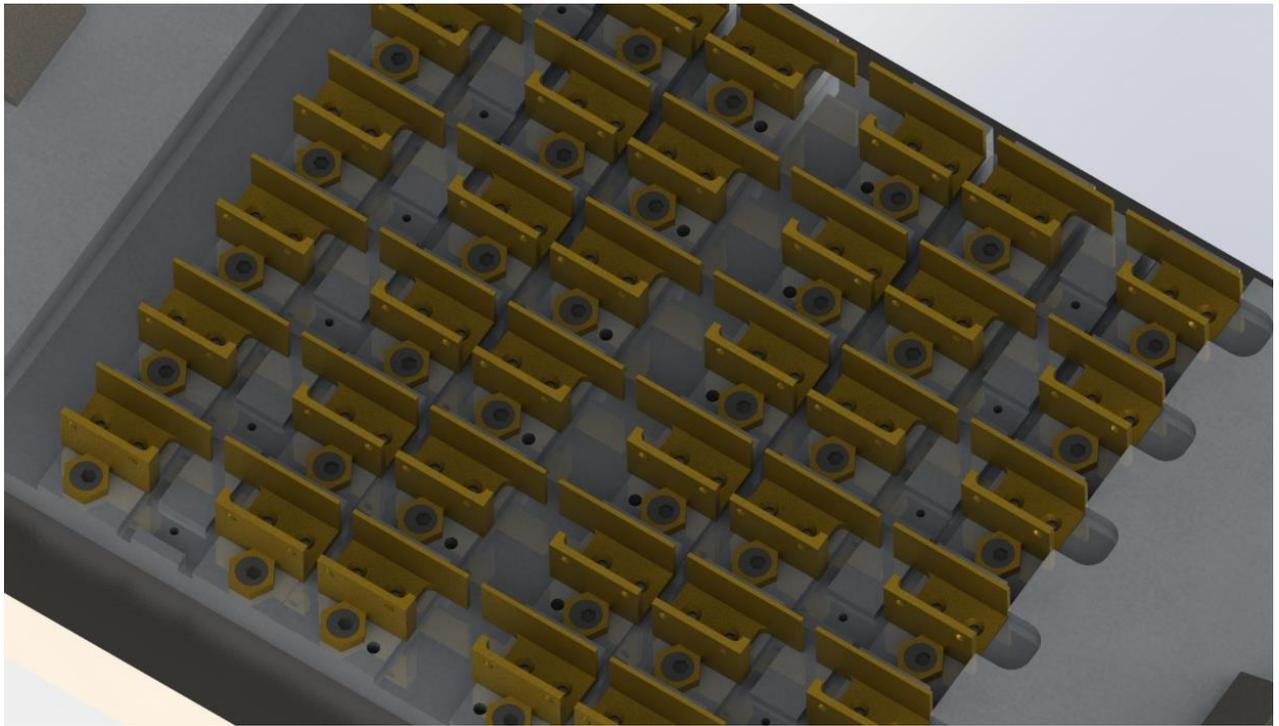


Figura 4-36. Producción de R17 y R18 terminada.

4.5.4 Tercera serie de utillajes

Uno de los principales problemas de los utillajes explicados hasta el momento es la excesivas operaciones de planeado, que dan lugar a muchos posicionamientos o a dejar caras sin mecanizar las cuales serán más costosas de pulir. Ya que como se verá en el capítulo 5, el pulido es muy importante dentro del proceso, se decidió adquirir una fresa de acabados con revestimiento especial para realizar planeados laterales. De esta manera las seis caras de un listón quedarían rectificadas por completo con solo dos posicionamientos, a diferencia de los cuatro necesarios en los utillajes anteriores.

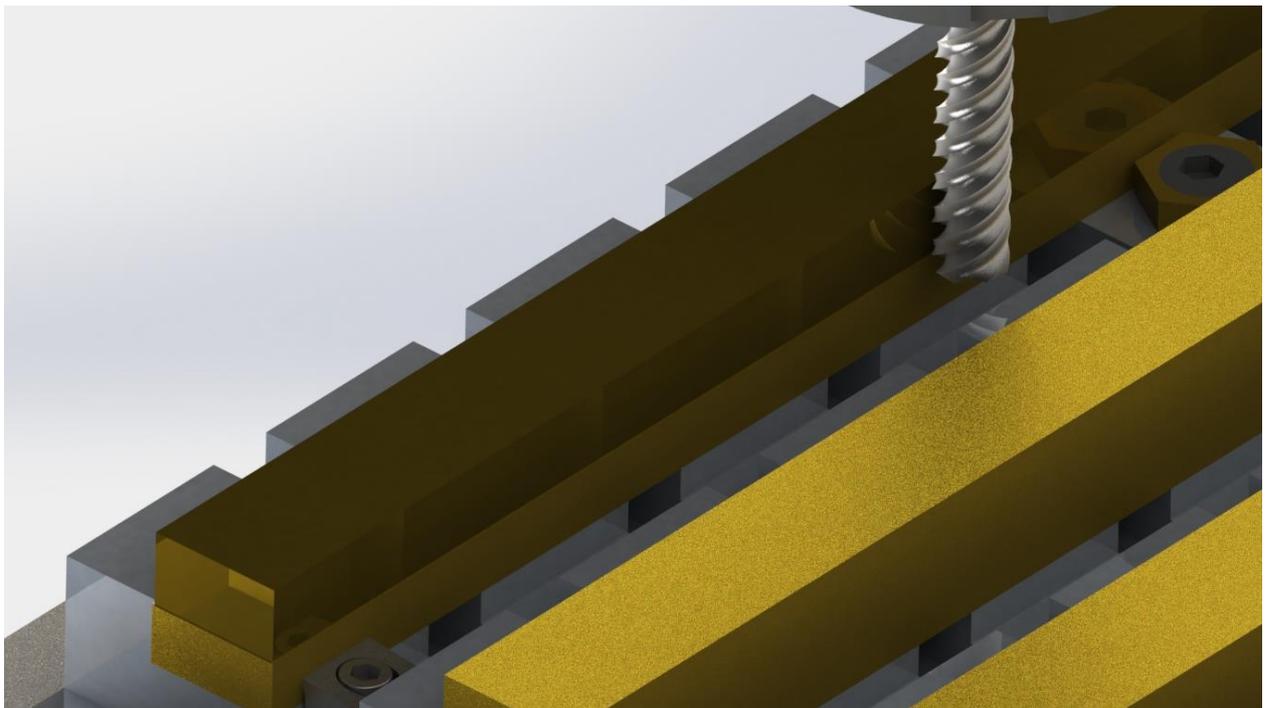


Figura 4-37. Rectificado lateral de listones con fresa de acabados.

Estos rectificadores laterales requieren que las paredes de apoyo del utillaje sean más bajas que la mitad de la altura de la pieza, ya que al fresar lateralmente es imposible llegar hasta abajo por lo que debe hacerse la mitad en cada posición. Por ejemplo, una pieza de 20mm de altura tendrá una pared de apoyo máxima de 9 mm

4.5.4.1 Utillaje 05 para la fabricación de R1 y R13

Este utillaje es compatible con las piezas R1 y R13 ya que comparten sección y longitud. Los listones necesarios son de 337 mm, siendo 32x9 para las piezas, 8x6 para los cortes y 1 mm para la rectificación de los cantos. Los dos primeros canales son para planeados y rectificadores laterales de 200 micras. Los dos segundos son para lo mismo, pero con su geometría diseñada para tener en cuenta la reducción que se ha dado en la operación anterior. Estos cuatro primeros canales tienen bridas excéntricas como apoyo a las bridas pitbull. Esto se realizó como experimento para ver el resultado combinado de los dos tipos de bridas. Las piezas salieron correctamente pero la mejora era apenas apreciable por lo que no merece la pena invertir en tiempo de posicionado usando las excéntricas en los cuatro primeros canales.

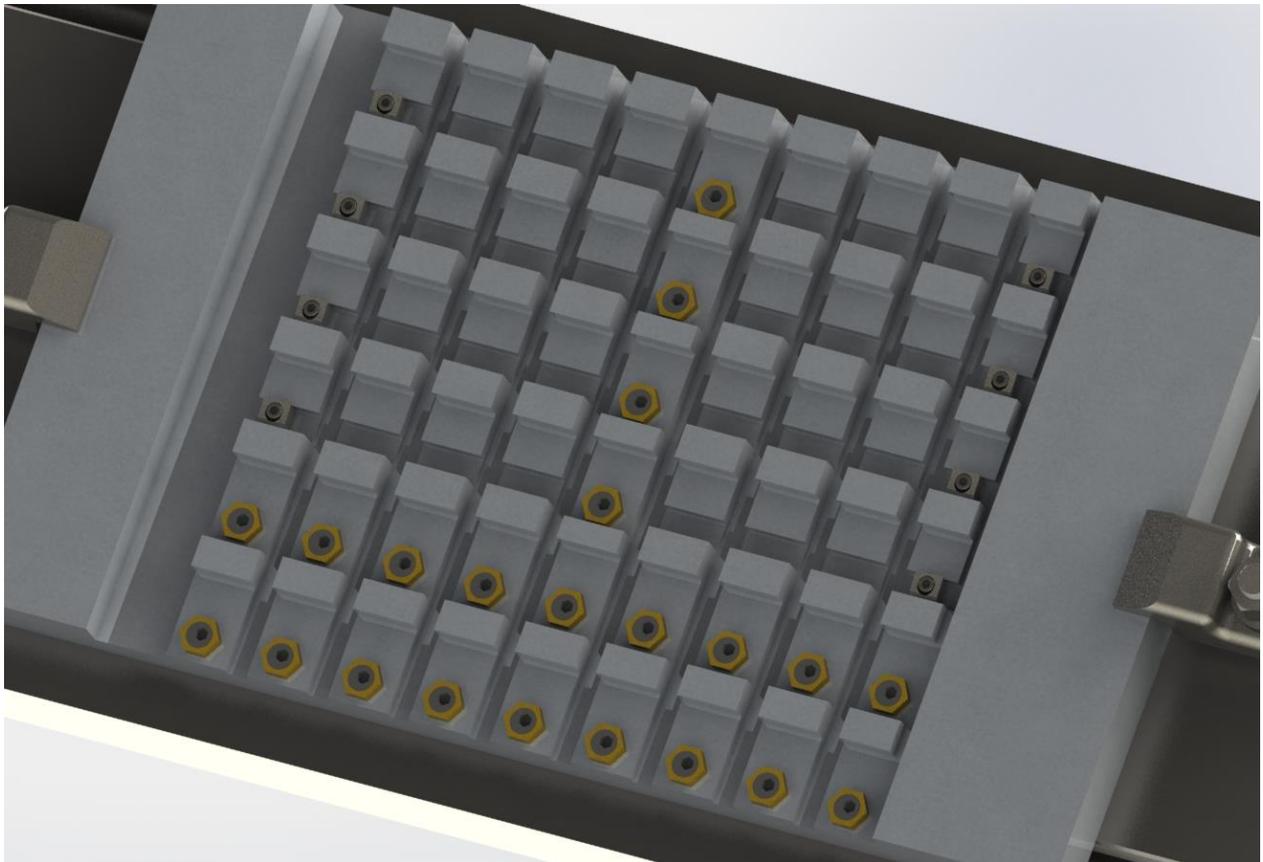


Figura 4-38. Utillaje 05.

Los dos últimos canales son para los cortes finales y solo tienen bridas excéntricas. Al igual que en los últimos utillajes, se tienen canales verticales de desalajo, siendo uno de ellos el principal y más grueso.

El proceso de producción sería el siguiente:

- Independientemente de la pieza se hacen dos planeados en los primeros canales de 200 micras, y rectificado lateral de todo el perímetro de 200 micras (exceptuando en los cantos que se hace de 500 micras) bajando a una profundidad de 11 mm.
- Se gira el listón 180° en el eje x y se vuelve a realizar el planeado + rectificado en los 9 mm restantes. A partir de aquí el proceso cambia:

- Para las R1 se hace el taladro de 8 mm.
- Para las R12 se hace el agujero M8 frontal.
- Opcional: se llevan los listones a pulir.
- Se gira 90° en el eje x:
 - Para la R1 se realiza el desbaste de 2,8 mm. Se da un planeado de 200 micras, se realizan los agujeros roscados pasantes y se procede al corte de separación, con la fresa de 5 mm y luego la de 6 mm de acabados.
 - Para la R12 se hace el canal central con la fresa de desbaste de 8 mm, se da una pasada de acabado con la de 6 mm, se hacen los agujeros avellanados y se procede a los cotes tal y como se hace con la R1.

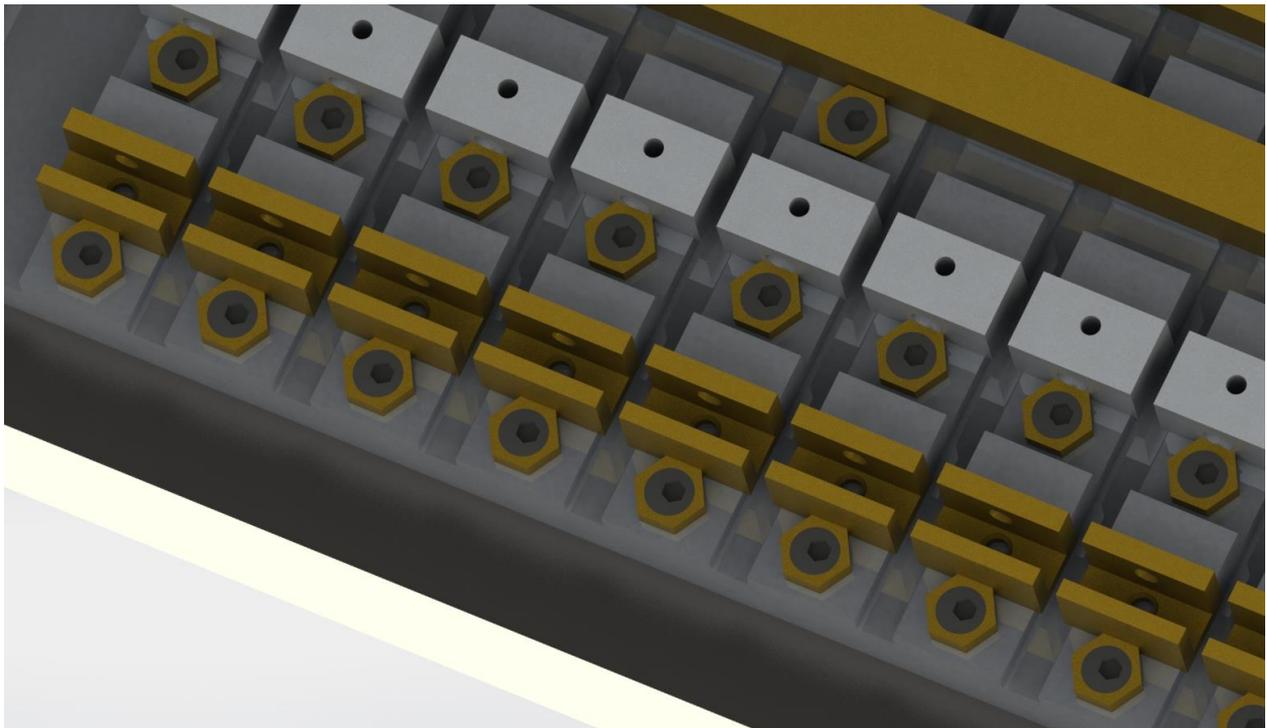


Figura 4-39. R1 y R13 acabadas.

4.5.4.2 Utilaje 06 para la fabricación de R12 y R19

El utillaje para los codos sigue un patrón de operaciones distinto con respecto a todos los anteriores, ya que las piezas se hacen a partir de tochos únicos y no de listones. El tocho de la R12 debe ser de 40x40x54.5 mm y el de la R18 de 35x35x55mm.

Cada una de las dos requiere de tres posiciones para ser fabricadas, por lo que el utillaje se divide en 15 secciones, pudiendo fabricar 5 codos de un tipo en cada ciclo. Lo más complejo de este problema es que los dos tipos de codos tienen geometrías distintas por lo que era difícil compatibilizar las secciones de corte. Además los vaciados en estas piezas son profundos y producen grandes esfuerzos por lo que era necesario asegurar un buen bridaje. Se adoptó como requisito que en las operaciones de vaciado el tocho debía estar sujeto por al menos dos bridas y dos paredes, estando las cuatro caras verticales en contacto con algún elemento de sujeción.

La configuración de las bridas es la que determina si el utillaje está preparado para fabricar R12 o R19. La posición relativa de las bridas es distinta en todas las secciones ya que el paso que se realiza en cada sección puede ser distinto para cada pieza y las distancias están optimizadas a las geometrías del paso correspondiente.

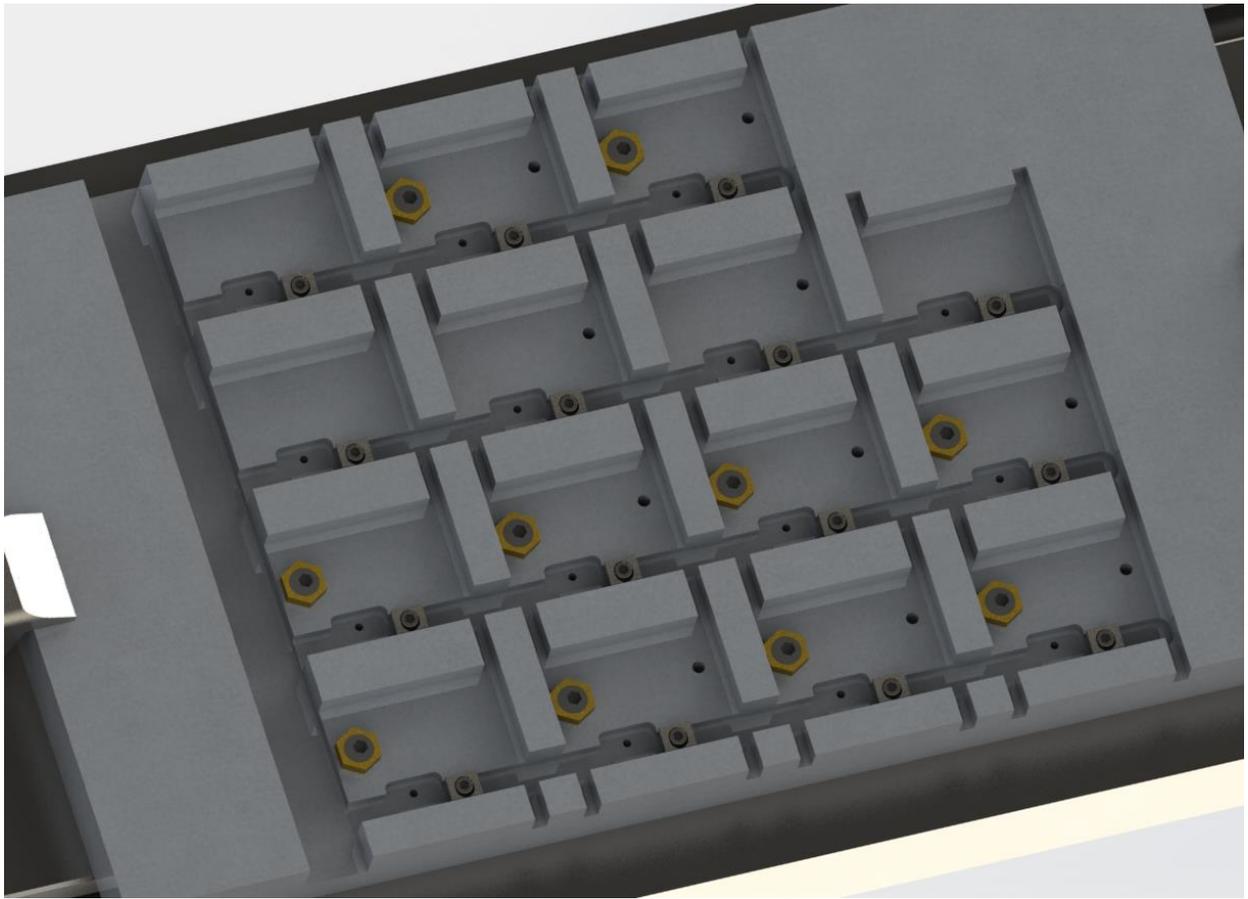


Figura 4-40. Utillaje 06, configuración para R12.

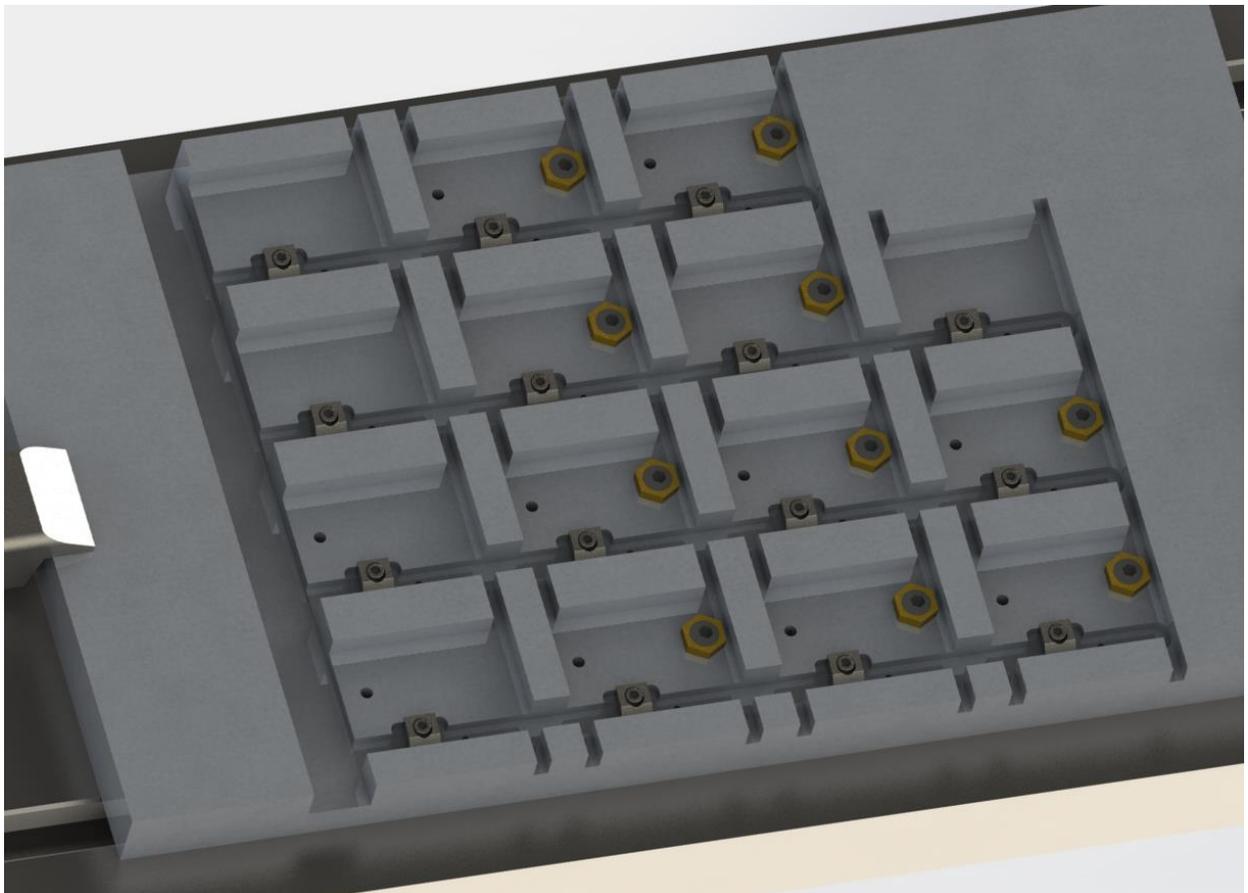


Figura 4-41. Utillaje 06, configuración para R19.

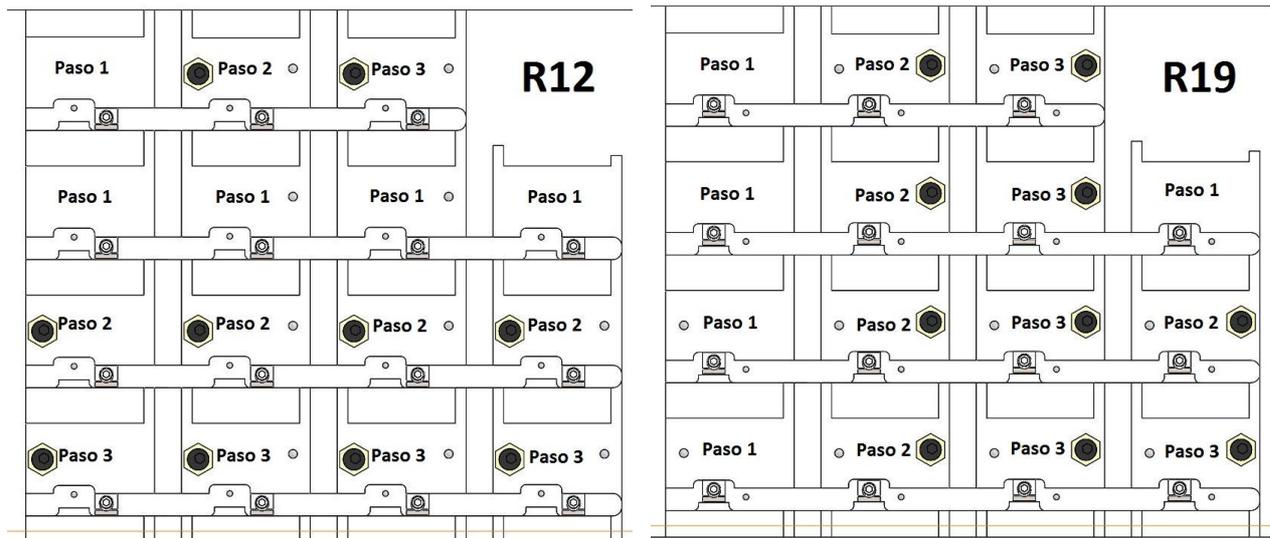


Figura 4-42. Posición de los pasos de las R12 y R19.

Para fabricar las R12 las piezas se colocan apoyándose en la pared derecha y para la R19 apoyando en la pared izquierda. Hay 4 posiciones que son especiales ya que tienen una pared menos al estar en contacto con la rampa de desalajo, en ellas es necesario usar un posicionador como se hacía en la fabricación de prototipos para colocar las R19 (todas en el primer paso).

El proceso de producción sería el siguiente:

- El primer paso es un planeo y rectificación lateral de las piezas de 250 micras. El rectificado debe llegar al menos a la mitad de la pieza (20 mm en la R12 y 18 en la R19).
- Giro de 180° a la pieza en el eje x, planeo y finalización del rectificado de 250 micras. En ambas se hace el vaciado principal con las fresas de desbaste y acabado adecuadas, el canal donde están los agujeros roscados y dos de dichos agujeros M5.
- Se coloca la pieza con cuidado de que la cara vaciada esté apoyando a la pared y no a la brida pitbull, se realiza el vaciado restante y los otros dos agujeros roscados.

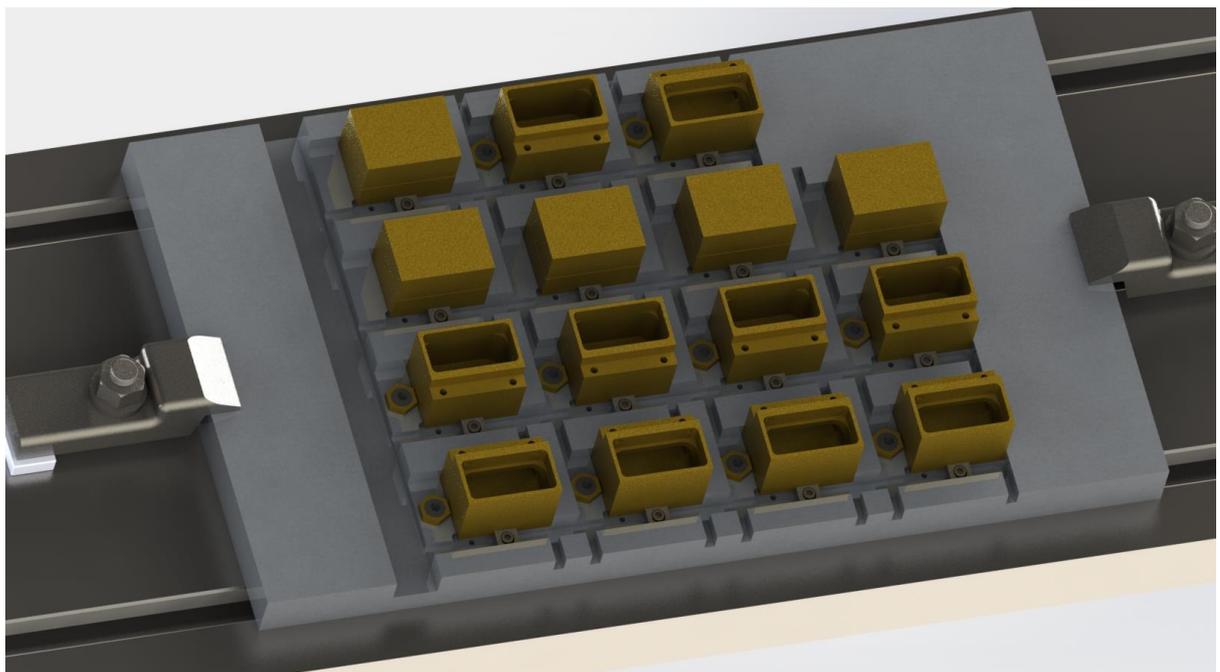


Figura 4-43. Proceso de fabricación R12.

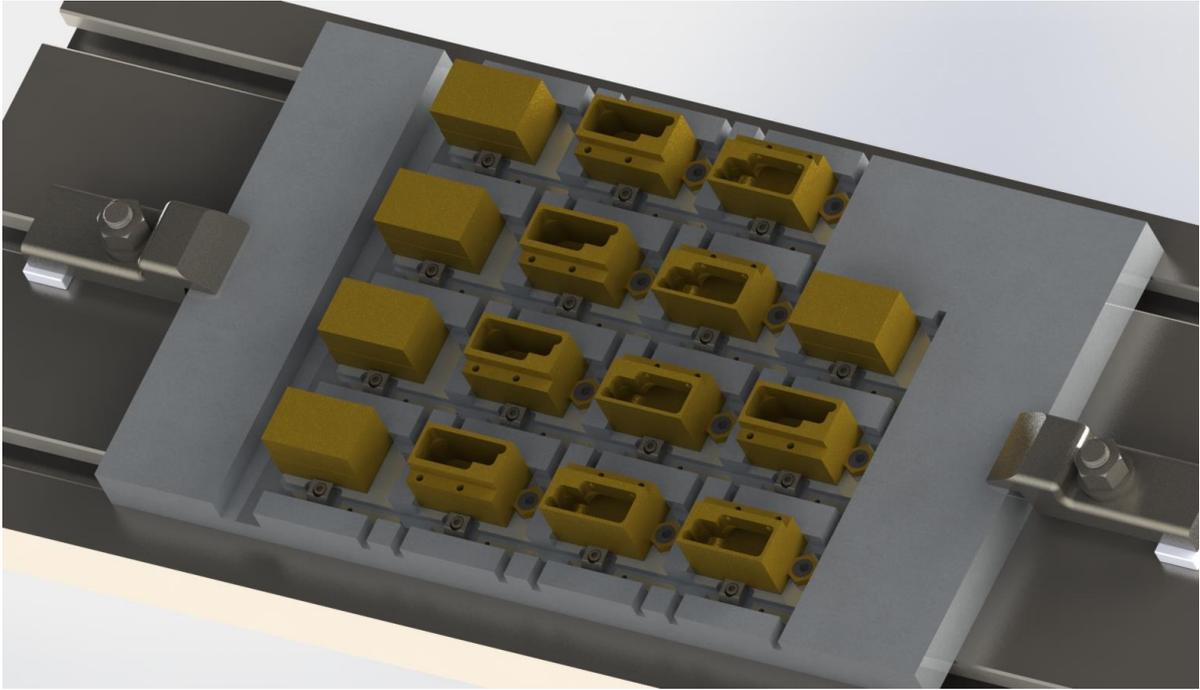


Figura 4-44. Proceso de fabricación R19.

4.5.4.3 Utillaje 07 para la fabricación de R22

El utillaje para las R22 es parecido al de las R10 y R20, pero adaptado a la geometría de estas e introduciendo el concepto de los rectificadores laterales, lo cual cambia ligeramente el diseño de los canales.

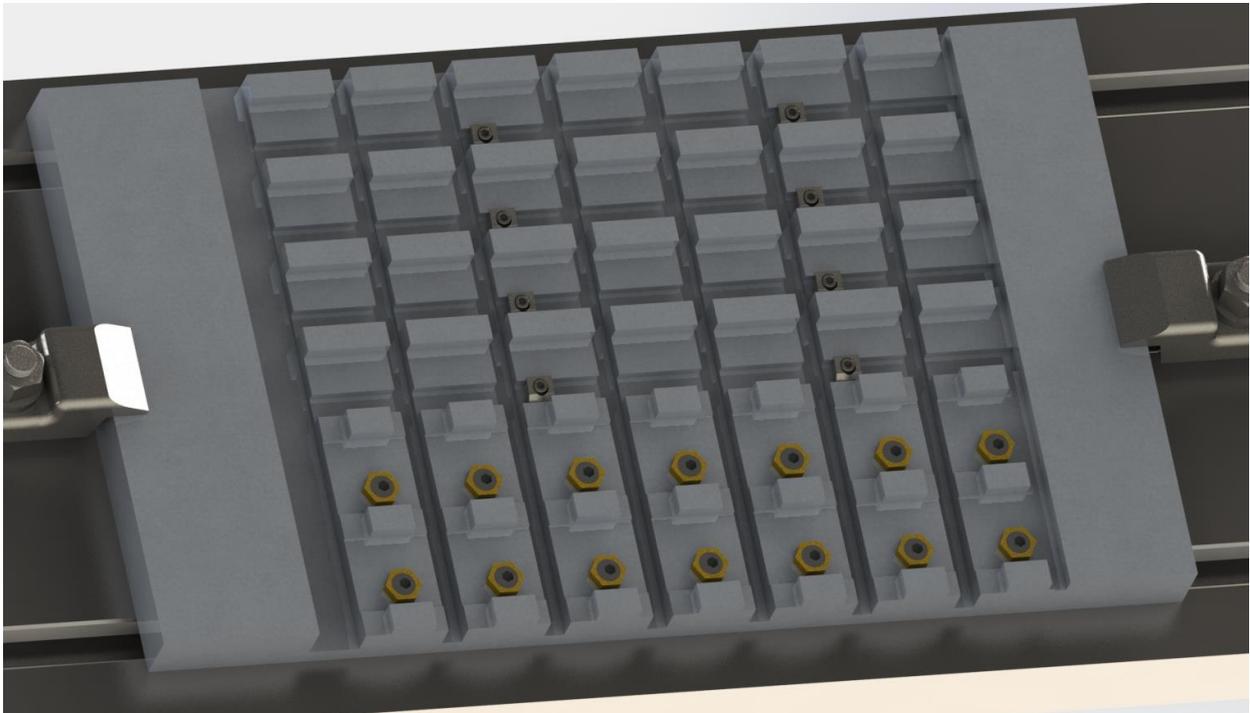


Figura 4-45. Utillaje 07.

Se pueden hacer 7 piezas por canal. Los listones necesarios son de 353,5 mm de longitud, quedando repartidos en 45.5x7 mm para las piezas, 6x6 mm de cortes y 1 mm de rectificado de los cantos.

El proceso de producción sería el siguiente:

- Primero se hacen dos planeados en los primeros canales de 200 micras, y rectificado lateral

de todo el perímetro de 200 micras (exceptuando en los cantos que se hace de 500 micras) bajando a una profundidad de 11 mm.

- Se voltea el listón 180° en el eje y. Se realiza el mismo planeo y rectificado.
- Opcional: se llevan los listones a pulir.
- Se realizan los cortes con la fresa de 5 mm desde fuera hacia adentro para evitar que las tensiones de extrusionado dañen las piezas. Se realizan los dos canales, el recto y el curvado con las fresas de acabado de 6 y 10 mm respectivamente. El canal recto debe quedar a la derecha y el curvado a la izquierda para encajar con la geometría del utillaje. Se utiliza la fresa de 6 mm en los cortes para dejar un buen acabado.

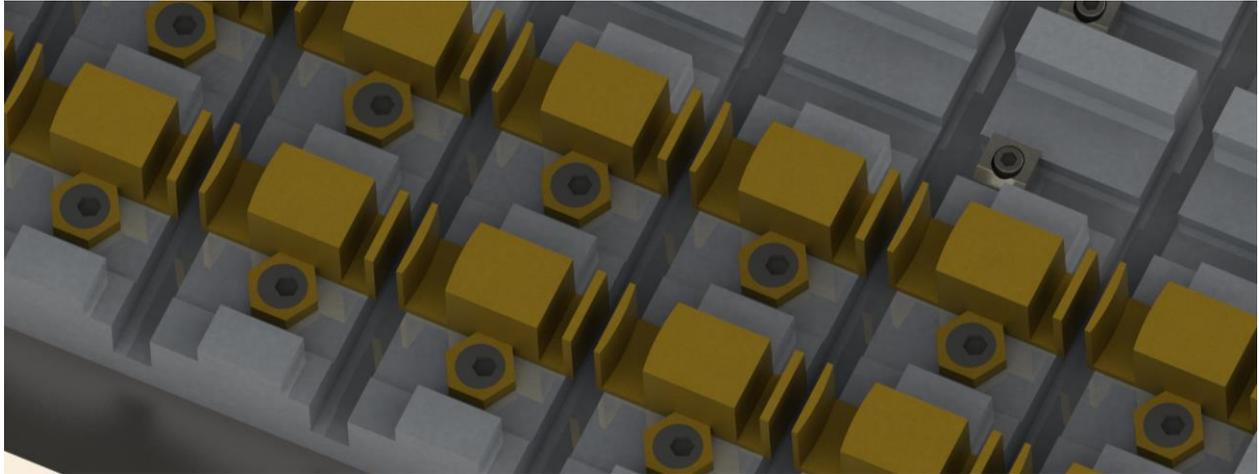


Figura 4-46. R22 terminadas.

4.5.4.4 Resto de piezas

Para las piezas R11 y R21 no se desarrolló utillajes por el momento, ya que debido a su incompatibilidad con otras geometrías habría que diseñarles utillajes propios, lo cual no sería rentable debido a su baja demanda. Por ello se siguió utilizando el método por mordaza al igual que como se fabricaron los prototipos.

La fabricación de las R23 se abordó usando la ruteadora. Mediante tres apoyos que la empresa había fabricado con anterioridad para uno de los productos de Ibercool, se bridaban las pletinas de aluminio y se les hacía la muesca que tienen en una de sus caras. A continuación se les hacía los dos agujeros con una máquina herramienta manual. La razón por la que se hizo esto fue para repartir la carga de trabajo entre más máquinas ya que casi toda la producción se haría con la Haas SMiniMill. Otra razón es que en esta pieza la precisión es menos importante ya que ninguna de sus caras está a la vista una vez montada el sistema.

5 PROCESOS SECUNDARIOS

El proceso productivo tiene asociado una serie de procesos secundarios que completan el producto final. Algunos de ellos tienen unos costes y unos tiempos de ejecución que no son nada despreciables sino que son incluso tan importantes o más que los tiempos y costes de las operaciones de mecanizado. En este capítulo se detallará la problemática a la que se enfrentó la empresa y las distintas soluciones que se adoptaron.

5.1 Tronzado de materiales

Como se pudo comprobar en los capítulos anteriores, la mayoría de los productos parten de listones de sección cuadrada de materia prima. Cuando este proyecto comenzó, no se contaba en la empresa con ninguna maquinaria o herramienta que permitiera cortar dichos listones de forma rápida, precisa y segura, en los segmentos necesarios para la fabricación con utillajes. Para ello se realizó una pequeña investigación sobre las alternativas disponibles y teniendo en consideración el bajo presupuesto disponible y que los materiales a cortar son principalmente metales no ferrosos, se decidió adquirir una ingletadora/tronzadora con movimiento periscópico.



Figura 5-1. Ingletadora/tronzadora adquirida.

Cabe mencionar que cada corte del disco sobre un listón eliminaba unos 3mm de material en la dirección del eje del listón, lo cual es necesario tomar en consideración a la hora de realizar los cálculos de material necesario para la reposición de piezas. Una pequeña parte de dicho material era recuperable en forma de viruta, pero se considera viruta de baja calidad y poco recuperable por diversas razones. Por un lado era difícil medir exactamente cuánto se recuperaba en porcentaje de cada corte, ya que la viruta resultante era muy corta, siendo parecida al polvo por lo que gran parte se perdía repartiéndose por todo el taller. Además era posible que la empresa de reciclajes rechazara este tipo de viruta al considerarla de baja calidad, ya que al ser polvo y no contar con un receptáculo adecuado donde quedara confinada después del corte había que recogerla de la mesa de trabajo del taller e incluso del suelo, quedando mezclada con otros tipos de viruta metálica y con suciedad u otros elementos.



Figura 5-2. Cuchillas de la tronadora.

Los discos de corte tienen un coste inferior a los 30 euros (el precio varía dependiendo del proveedor) y su durabilidad es al menos superior a dos pedidos nominales según la experiencia de la empresa, por lo que recambiarlos es barato y fácil.

El aparato cuenta además con un láser que marca perfectamente la línea de corte en el listón, lo cual mejora la precisión de la operación y la medición de los listones.

Tabla 5-2. Especificaciones de la tronadora.

Motor	1800W 230 V	Corte compuesto a 45°	305 x 35 mm	Tope de inclinación	0° and 45° izq/der
Velocidad	5000 rpm	Precisión	0.500 mm	Peso	18 kg
Diámetro del disco	254 mm	Corte combinado 45° + 45° izq.	215 x 35 mm	Dimensiones empaquetado LxWxH	760 x 460 x 385 mm
Capacidad de corte a 0°	305x65 mm	Ángulo de parada automática	0° - 22.5° - 31.62° - 45° izq/der	Referencia	3700209502400
Ángulo de corte a 45°	215 x 65 mm				

5.2 Pulido

El pulido es la operación más importante y que más impacto tiene en los costes de todos los procesos secundarios. Desempeña un papel vital en el acabado final de las piezas, ya que como se verá en el siguiente punto, el acabado final del cromado depende en su mayoría de que las caras de las piezas estén correctamente pulidas.

La empresa contaba con dos esmeriladoras de baja potencia al comienzo de este proyecto. Inicialmente se subestimó el impacto en los costes del pulido debido a la experiencia que se tenía puliendo los productos de Ibercool (muchos de ellos hechos de delrin y cobre) los cuales son mucho más sencillos de pulir. Sin embargo con las piezas de latón el pulido es mucho más costoso, por lo que teniendo en cuenta que era necesario pulir todas las caras vistas de cada una de las piezas, los tiempos de pulido llegaron a superar inicialmente incluso a los tiempos de mecanización, convirtiéndose en un auténtico cuello de botella para el proceso productivo.

Una vez detectado dicho problema se decidió optimizar el proceso de pulido en todo lo posible. Esto afectó al diseño de los nuevos utillajes tal y como se comentó en el capítulo 4, implantando el método de pulir barras enteras de material con el objetivo de agilizar los tiempos al máximo.

Además el equipamiento con el que contaba la empresa (dos esmeriladoras Optimum SM 200 SL) resultaron insuficientemente potentes como para usar discos de mil hojas por lo que se tuvo que invertir en una nueva esmeriladora que tuviera al menos el doble de potencia (Optimum SM 250 SL).



Figura 5-3. Zona de pulido de Ibercool.



Figura 5-4. Esmeriladora SM200L.

El proceso de pulido se optimizó por el método de prueba y error. Inicialmente se usaron discos abrasivos y la banda de lijado, los cuales se mostraron poco efectivos, siendo el primero lento para eliminar defectos superficiales tales como ralladuras y dejando un acabado de baja calidad y causando el segundo deformidades en las piezas debido a su incapacidad para pulir las caras de forma uniforme, siendo especialmente notable en las caras grandes.

Para solucionar estos problemas se compró una nueva pasta de pulir, especializada en metales no ferrosos y una serie de discos de diferentes tipos que dieran una solución distinta para cada problema.

Tabla 5-2. Especificaciones de las esmeriladoras disponibles.

MODELO	SM 200SL	SM 250SL
REFERENCIA	3101213	3101260
PRECIO	259,00	349,00
CONEXIÓN ELÉCTRICA	400 V / 3 Ph	400 V / 3 Ph
POTENCIA	600 W	1.5 KW
DIMENSIONES DISCO	Ø 200 x 30 Ø 32 mm	Ø 250 x 40 Ø 32 mm
DIMENSIONES CINTA	75 x 762 mm	75 x 1016 mm
ÁNGULO DE INCIDENCIA	90°	90°
DIÁMETRO EJE	Ø 32 mm	Ø 32 mm
PLATO DE SUJECCIÓN	87 x 180 mm	87 x 180 mm
VELOCIDAD	2'850 min.-1	2'850 min.-1
Dimensions (L x W x H)	461 x 246 x 310 mm	542 x 304 x 365 mm
PESO	16 kg	39 kg



Figura 5-5. Discos abrasivos, disco de sisal y algodón y disco de mil-hojas.

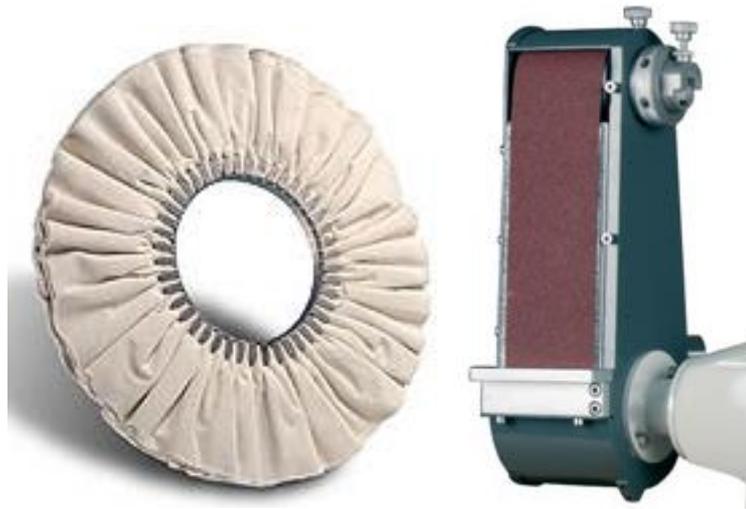


Figura 5-6. Disco de algodón y banda de pulido.

Finalmente en la nueva esmeriladora se instalaron los siguientes discos:

- Un disco mil hojas indicado para pulir piezas con grandes deformidades o ralladuras en muy poco tiempo. El acabado elegido fue de 320. Aproximadamente 1 de cada 20 piezas necesitaban este disco por un motivo u otro.
- Un disco de sisal y algodón. Buena combinación entre acabado y velocidad de pulido, es el disco más importante de todos y el que más se usa.

En las antiguas esmeriladoras se instalaron los siguientes elementos:

- Dos discos de algodón, ideales para acabados finales y abrillantados de caras vistas.
- Dos bandas verticales de lijado, aptas únicamente para pequeñas caras de ciertas piezas difíciles de agarrar a la hora de pulirlas con un disco.

Por último es muy importante mencionar el equipamiento necesario para el operario para no poner en peligro su salud. Hubo que adquirir guantes especiales de aislamiento térmico (las piezas alcanzan temperaturas muy elevadas después de pulirlas), monos de trabajo de cuerpo entero, gafas y mascarillas de protección.

Con todas las medidas adoptadas se consiguió mejorar susceptiblemente el proceso de pulido, disminuyendo así su impacto negativo en los costes de producción.

5.3 Cromado

El cromado es la técnica de depositar mediante galvanostegia una fina capa de cromo sobre un objeto de otro metal. La capa de cromo proporciona resistencia frente a la corrosión, incrementa su dureza superficial y es decorativa.

Para realizar el proceso en el caso que nos ocupa, es necesario primero aplicar una capa de níquel mediante electrolisis. A continuación la pieza que se va a trabajar, llamada en el proceso cátodo, se sumerge en una solución electrolítica anódica adecuada que contiene cromo, el cual se va a depositar en la pieza niquelada, en presencia de un catalizador. Una solución de ácido crómico, en un alto grado de saturación, se utiliza como electrolito. Las superficies deben estar perfectamente limpias y pulidas antes de iniciar la operación ya que cualquier defecto superficial se verá remarcado al terminar este proceso. La rapidez de depósito del metal es comparativamente lenta por lo que las piezas deben permanecer en el tanque varias horas para obtener una buena capa.



Figura 5-7. Centro de cromados.

Encontrar un buen proveedor de cromados no es sencillo. Los residuos producidos se consideran altamente tóxicos por lo que pocas empresas tienen permiso legal para instalar los baños. Sin embargo y tras una búsqueda exhaustiva, se encontró una empresa andaluza que era capaz de cumplir con los plazos y la calidad deseada.

5.4 Decapado y limpiado

Tras el proceso de pulido las piezas suelen contener restos de pasta de pulir. Estos restos podían afectar gravemente al proceso de cromado ya que las acumulaciones más grandes pueden impedir que el níquel se adhiera correctamente lo cual estropearía el acabado final. Ciertamente la empresa de cromados aplica un baño de limpiado previo, pero en la práctica esos baños no son capaces de eliminar todos los restos por lo que la empresa tendría que limpiarlas con paño una a una y los costes subirían considerablemente. Debido a lo anterior se decidió aplicar un decapante en el mismo taller y antes de enviar las piezas a cromar para asegurar la calidad final de los productos sin subir mucho los costes.

Inicialmente se utilizó gasolina ligeramente rebajada con agua para limpiar las piezas utilizando unos baños portátiles con los que la empresa ya contaba. El proceso resultó sumamente efectivo pero se acabó descartando ya que aunque la gasolina es un buen decapante es más cara que otras alternativas y además tiende a evaporarse si no se conserva bien, por lo que la cantidad introducida en el baño solo podía utilizarse para la serie que se estuviese limpiando justo en ese momento.



Figura 5-8. Cuba portátil para limpiado y decapado.

Finalmente se adquirió un decapante industrial con buena relación calidad/precio, gracias al cual los restos se disolvían rápidamente y sin tener el problema de la evaporización.

5.5 Empaquetado final

El correcto empaquetado es esencial para que el esfuerzo dedicado en la mejora de la calidad de las piezas llegara al cliente, ya que éstas pueden sufrir impactos en los traslados creando muescas y rayones. Además el envío a la empresa de cromados era particularmente sensible ya que un defecto producido en el traslado puede significar la pérdida de la pieza al quedar dicho defecto muy resaltado tras el tratamiento superficial.

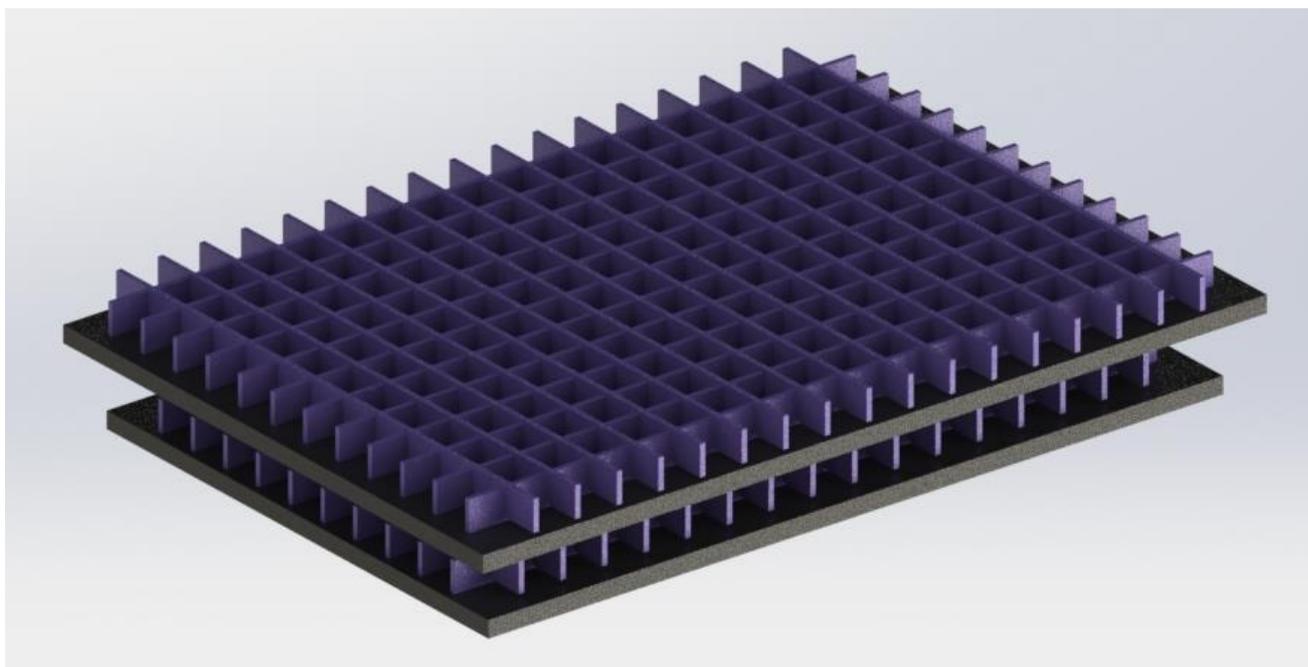


Figura 5-9. Red de separadores, para piezas de perfil 20x20 montada para dos niveles de piezas.

Por ello se decidió usar la ruteadora para mecanizar una plancha de PVC y fabricar una serie de separadores, diseñados para encajar en unos pallets de plástico duro con los que la empresa contaba y para que fuesen compatibles con diversas geometrías. Se ensamblan en forma de red y se pueden colocar varios niveles en un mismo pallet, siendo las bases de madera y apoyándose en las piezas del nivel inferior con una capa de plástico que las proteja.

Además en el caso del envío final al cliente se recubrían las piezas con papel para más seguridad y como protección contra la suciedad.

REFERENCIAS

Ibercool WaterBlocks. <http://www.ibercool.com/es/>

Prototec. <http://prototec.es/>

WNT. <http://www.wnt.com/es.html>

Broncesval. <http://www.broncesval.com/>

Rational Stocks. <http://www.rationalstock.es/>

ISC. <http://www.iscsl.es/>

ISB. <http://www.isb-bearing.com/spa/>

WASI. <http://www.wasi.es/>

Essentra Componentes. <http://www.essentracomponents.es/>

Norelem. <http://www.norelem.com/>

Haas. <http://www.haascnc.es/>

Optimum. <http://www.optimum-machines.com/>

Fox. <http://www.fox-machines.com/>

Solid Works. <http://www.solidworks.es/>

Solid Edge. http://www.plm.automation.siemens.com/es_es/products/solid-edge/

Gilma <http://www.plateadosgilma.es/>

ANEXO A: PLANOS
