



<b>EXPEDIENTE</b>	IMDEEA/2017/54 (INESCOP) / IMDEEA/2017/148 (AIDIMME)
<b>ACRÓNIMO</b>	MATRIBOT
<b>PROGRAMA</b>	Proyectos de I+D de carácter no económico realizados en cooperación con empresas
<b>TÍTULO DEL PROYECTO</b>	Robótica colaborativa aplicada a procesos de inyección-extracción de suelas para calzado

## **Entregable E2.1.**

### **DISEÑO DE SISTEMA DE AGARRE Y EXTRACCIÓN**

## ÍNDICE

1. Descripción del entregable.....	3
2. Trabajo realizado .....	3
2.1. Metodología de extracción de suelas.....	3
2.1.1. Puntos de agarre .....	3
2.1.2. Maniobra .....	4
2.1.3. Fuerza .....	6
2.1.4. Definición de la metodología de extracción automatizada .....	10
2.2. Diseño del mecanismo de agarre. ....	16
2.2.1. Diseño de la garra.....	16
2.2.2. Desarrollo del sistema de apriete.....	21
2.2.3. Integración con el sistema robótico .....	29
3. Conclusiones.....	36
4. Referencias y bibliografía .....	37

## 1. Descripción del entregable

Este informe incluye el estudio y caracterización de la metodología para la extracción de las suelas y el diseño del mecanismo de agarre para garantizar la extracción. Se definen las necesidades del sistema de extracción y se diseña en consecuencia el sistema de extracción de manera que cumpla con dichos requerimientos.

## 2. Trabajo realizado

A partir del estudio y obtención de información del PT1 se pasa a determinar la metodología de extracción que engloba la mayor cantidad de suelas y que resulta más eficaz para la extracción automatizada. Se estudian en detalle sus características para obtener los requerimientos de funcionalidad del sistema de extracción y las restricciones de diseño que se presentan.

Así mismo, en el desarrollo del PT2 se realiza el propio diseño del mecanismo de agarre enfocado desde diferentes métodos de fabricación y en consonancia con el desarrollo de la celda robótica.

### 2.1. Metodología de extracción de suelas.

La clasificación de pisos según la extracción se divide en tres tipos para los cuales se describen los puntos de agarre, las maniobras y se toman fuerzas. Estos tres tipos se clasifican como se ha visto en el PT1 dependiendo de la herramienta de extracción y son los siguientes:

- Con alicates universales
- Alicates de punta fina
- Sin alicates.

#### 2.1.1. Puntos de agarre

Los puntos de agarre dependen enormemente del diseño de modelo de la suela no solo porque condiciona que la suela quede adherida a un lado u otro del molde sino porque tanto en el dibujo de la cara vista como en el de los ahorros de la zona interior hay mucha diversidad.

Las características más interesantes del punto de agarre son la accesibilidad y la resistencia. El operario selecciona los puntos de agarre más accesibles con el alicate y a su vez que sean lo suficientemente resistentes para no deformar o romper la suela.

Hay que tener en cuenta que la elección del punto de agarre se puede ver influida por la maniobra de extracción con lo cual la zona más favorable para el agarre no tiene porque ser la más óptima para la extracción. Es decir, si la maniobra de extracción es más favorable desde un extremo de la suela y se tiene un punto de agarre apto no importa que no sea el más accesible y resistente.

El análisis de puntos de agarre solo tiene sentido para los dos primeros tipos puesto que las otras no precisan de alicates.

- Puntos de agarre con alicates universales: La zona de ahorros cercana al tacón suele dejar huecos de dimensiones adecuadas tanto de hueco de entrada como de profundidad para introducir unos alicates universales. Los nervios son de espesores entre 3-5mm suficiente para garantizar su resistencia al tirar de ellos. En ocasiones se contempla en el propio diseño de los ahorros un nervio de mayor espesor para favorecer el agarre.

La zona delantera de la suela presenta nervios de geometrías más diversas y no suele ser tan común disponer de una zona apta para agarrar con la fuerza necesaria para la extracción. A pesar de ello en ocasiones se agarra de esta zona para realizar una primera fase de extracción.



Figura 1: Modelos de pisos.

- Puntos de agarre con alicates de punta fina: Este tipo de agarre se realiza indistintamente de la zona delantera o del tacón puesto que el tipo de suelas que se extrae con los alicates de punta fina suelen ser delgadas y carecer de nervios. Se pellizca la suela para tirar de ella tanto de las zonas lisas como de las pequeñas nervaduras que puedan tener. Este tipo de suelas, por lo general, quedan más sueltas y no presentan demasiada dificultad a la hora de realizar la extracción.

### 2.1.2. Maniobra

La maniobra de extracción es el conjunto de acciones necesarias para extraer la suela del molde. La maniobra comienza a partir de la sujeción de la suela desde el primer punto de agarre, en el caso de que se realice la extracción mediante alicates, o desde la apertura del molde para el caso de la extracción sin alicates.

En los tipos de suela que quedan adosadas en el molde por la parte exterior como los de la Figura 2 se contemplan dos fases en la maniobra de extracción.

La primera consiste en eliminar el vacío despejando un borde de la suela para que entre el aire y se equilibre la presión atmosférica. Esto es así debido a que durante la inyección, se expulsa el aire del interior del molde por los respiraderos del mismo, y se genera un vacío entre el molde y la suela quedando ambas totalmente en contacto.

Al facilitar la entrada de aire por uno de los bordes de la suela, se permite equilibrar la fuerza que ejerce la presión atmosférica sobre la superficie vista de la suela con la cara no vista inicialmente en contacto con el molde.

El movimiento que se realiza tiende a ser lateral para tener una menor resistencia del borde más largo de la suela, aunque también es factible realizar un movimiento longitudinal en las zonas de poco espesor de las suelas. A veces incluso puede ser efectivo el hecho de retorcer la suela.



Figura 2: Fase de despegue lateral.

La segunda fase consiste en tirar desde una zona resistente de la suela para que el agarre sea bueno y evitar roturas. En esta fase, el punto de agarre debe estar bien seleccionado y puede haber sido reforzado previamente en el diseño de la suela.

En la mayoría de los tipos, esta segunda fase se inicia desde el mismo agarre que ha servido para la primera fase. Sin embargo en algunos tipos de suelas se facilita la entrada de aire desde una zona distinta a la que luego sirve de agarre para esta segunda fase.

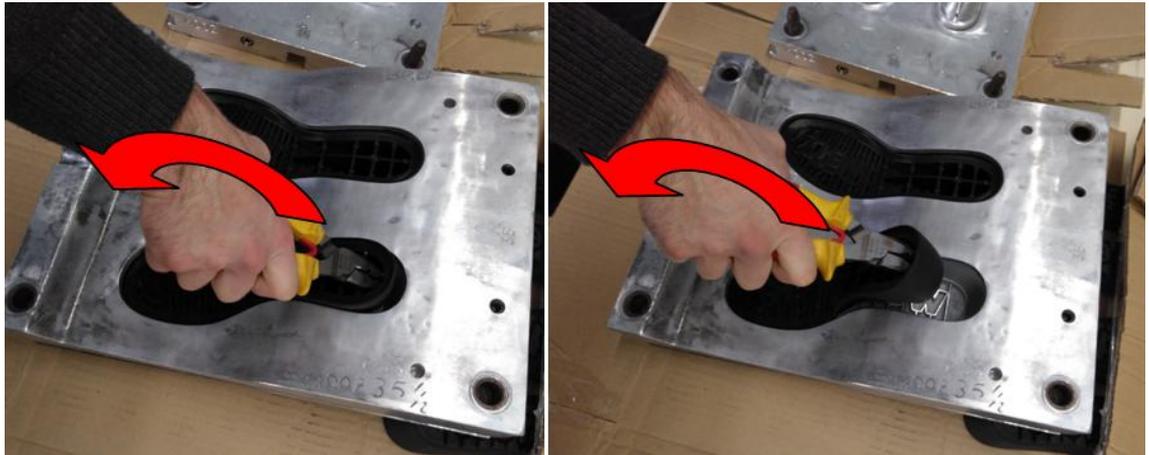


Figura 3: Fase de extracción.

Como añadido en el proceso, existe la maniobra de extracción de la mazarota. Este elemento es el resto de inyección que corresponde al canal. La maniobra de extracción es relativamente sencilla y se realiza con alicate, como se ve en la siguiente figura.



Figura 4: Extracción de la mazarota.

### 2.1.3. Fuerza

La fuerza necesaria para la maniobra de extracción se puede diferenciar dependiendo del propósito. Por una parte se contempla la fuerza de agarre con el alicate ejercida con la mano y por otra parte la fuerza de la maniobra ejercida y transmitida al resto del cuerpo mediante el brazo. Al igual que en los apartados anteriores, el diseño de la suela influye totalmente en la fuerza necesaria.

Determinar las fuerzas que se ejercen en el proceso es muy importante para realizar el diseño y la selección de los componentes del sistema de extracción. A partir de esta información se pueden verificar las características de los robots utilizados y ser consciente de sus capacidades para cada modelo de suela.

- Fuerza de apriete:

La fuerza de apriete aplicada directamente sobre la suela se transmite mediante los alicates desde la mano del operario.

En primer lugar, la fuerza de apriete ejercida con la mano se puede cuantificar a partir de los estudios antropométricos que indican la fuerza máxima de apriete. El aparato de medida utilizado en estos estudios es un dinamómetro adaptado a la mano como el de las imágenes siguientes:



Figura 5: Dinamómetros comerciales.<sup>1 y 2</sup>

Los distintos estudios aportan valores medios de carga diferenciando entre hombres y mujeres. Así mismo pueden reflejar las diferencias entre mano derecha e izquierda, rango de edad o la influencia de utilizar un guante.

CUADRO N° 2  
Valores de la Fuerza de la mano en hombres sanos y su relación con el grupo etario.

EDAD (años)	MANO DERECHA (Kgrs)		MANO IZQUIERDA (Kgrs)		N° de Casos
	$\bar{X}$	D.E.	$\bar{X}$	D.E.	
<= 19	43.95	6.69	42.00	6.71	21
20 – 29	43.11	7.88	42.22	8.70	68
30 – 39	45.73	8.08	41.40	7.11	15
40 – 49	38.91	6.98	39.33	7.39	12
50 y más	39.80	4.65	40.60	6.80	5

En el Cuadro N° 2 se observa que el mayor promedio de fuerza (45.73 Kg.) en la mano derecha correspondió a hombres entre 30 – 39 años de edad y en la mano izquierda (42.22 kg.) al grupo entre 20 – 29 años.

CUADRO N° 3  
Valores de la Fuerza de la mano en mujeres sanas y su relación con el grupo etario.

EDAD (años)	MANO DERECHA (Kgrs)		MANO IZQUIERDA (Kgrs)		N° de Casos
	$\bar{X}$	D.E.	$\bar{X}$	D.E.	
<= 19	25.60	3.72	23.78	5.26	23
20 – 29	27.34	5.18	24.73	4.68	23
30 – 39	25.95	5.49	24.04	5.06	21
40 – 49	26.58	5.63	24.76	4.56	17
50 y más	23.25	4.03	19.75	2.87	4

En el Cuadro N° 3 se aprecia que el mayor promedio de fuerza, correspondió a aquellas mujeres entre 20 y 29 años de edad con 27.34 Kg. y 24.73 Kg., en sus manos derecha e izquierda respectivamente.

Figura 6: Valores medios y desviación de fuerza de apriete en Kg.<sup>3</sup>

	KG. - FUERZA					KG. - FUERZA			
	Sin Guante		Con Guante			Sin Guante		Con Guante	
Percentil	MD	MND	MD	MND	Percentil	MD	MND	MD	MND
100%	38	41.00	40	38.00	100%	66	70.00	65	66.00
99.5%	36	37.50	38	34.50	99.5%	65	66.00	64.5	65.00
97.5%	34	34.00	36	31.00	97.5%	61.5	59.50	62.5	63.00
90%	30	28.00	32.5	30.00	90%	54.5	54.00	54.5	53.00
75%	28	26.00	28	25.50	75%	47	45.00	50	46.00
50%	24	23.00	26	22.50	50%	42	40.00	44	42.00
25%	22	20.00	22	20.00	25%	36	33.50	38	34.00
10%	19	16.00	20	18.00	10%	32	26.00	34	30.50
2.5%	14	16.00	16.5	16.00	2.5%	27	22.00	29	28.00
0.5%	12	15.50	16	16.00	0.5%	23	21.00	26.5	28.00
0%	10	15.00	16	16.00	0%	22	20.00	26	28.00

Figura 7: Valores de fuerza máxima de agarre población femenina y masculina con y sin guante.<sup>4</sup>

Dependiendo del estudio considerado los valores máximos varían desde 45 a 66 Kg de fuerza para los hombres y desde 27 a 38 Kg para las mujeres puesto que la primera figura muestra los valores medios y en la segunda están clasificados por percentiles.

Se escoge el valor medio máximo del primer estudio (45,7 Kg) que corresponde al tramo de valores máximos del segundo estudio que se sitúan entre el percentil del 75% y el 50% de la población masculina.

Considerando que la aplicación estudiada de apriete consiste en un trabajo repetitivo ejecutado por un operario en condiciones de trabajo, se estima que el valor real debe ser considerablemente menor ya que el operario no ejerce el máximo de fuerza de apriete en cada operación y dependerá enormemente del modelo de suela.

Por otra parte, para cuantificar la fuerza de apriete en las mordazas del alicate se aplica el principio de la palanca. Con ello se traduce la fuerza ejercida desde la empuñadura hasta la fuerza aplicada en la suela.

Para realizar el cálculo basta con resolver la ecuación de sumatorio de momentos en el sistema que se muestra en el siguiente esquema:

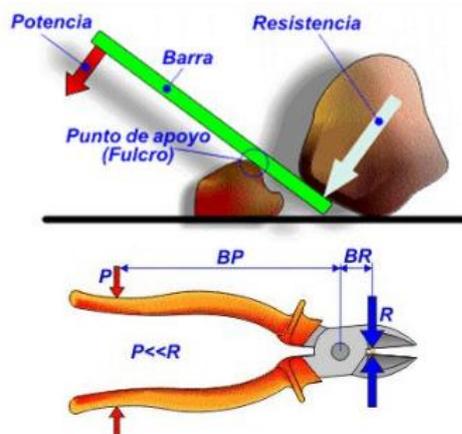


Figura 8: Esquema de fuerzas y restricciones.<sup>5</sup>

$$\sum M_R = 0$$
$$P \cdot BP - R \cdot BR = 0$$

Conocemos los valores de dimensiones BP y BR de unos alicates estándar normales y la fuerza de apriete P.

$$BP = 70 \text{ mm}$$

$$BR = 40 \text{ mm}$$

$$P = 45.7 \text{ Kg}$$

Por tanto la ecuación queda de la siguiente forma:

$$45.7 \cdot 70 - R \cdot 40 = 0$$

Despejando R:

$$R = \frac{45.7 \cdot 70}{40} = 79.975 \text{ kg}$$

Por tanto el sistema de agarre tiene como límite superior de diseño la capacidad de ejercer una fuerza máxima de 80 kg aplicada en las mordazas.

- Fuerza de extracción

La fuerza de extracción es la fuerza realizada por el operario en la segunda fase para conseguir sacar la suela del molde. Esta fuerza varía enormemente dependiendo del tipo de suela. El espesor de la suela, los ángulos de desmoldeo o las inclusiones del dibujo son algunos de los factores que condicionarán la fuerza de extracción. En el PT1 se han tomado valores de extracción que se traducen en valores de fuerza a ejercer por el conjunto garra y robot.



Figura 9: Dinamómetro y alicate de presión acoplados para la toma de medidas.

	Fuerza fase 1 (N)	Fuerza fase 2 (N)	Extracción mazarota (N)
Valores Medios	140.6	197.4	135.9

Tabla 1: Valores medios fuerza de extracción.

Estos valores aparecen divididos en las dos fases explicadas en el apartado 2.1.2, la primera fase de despegue y la segunda de extracción completa. También se ha considerado el valor de fuerza de extracción de la mazarota pero la fase más crítica es la segunda.

Estos son los valores medios considerados para el modelo de suela más común y son los datos que se tendrán en cuenta para el diseño y selección de componentes del sistema de extracción robotizado.

#### **2.1.4. Definición de la metodología de extracción automatizada**

Una vez analizados los puntos de apriete, la maniobra y las fuerzas, se examinan las características comunes de los distintos modelos para definir un sistema que sea genérico y se adapte a la mayoría de modelos. Así mismo, se determinan las limitaciones que se derivan de la automatización y las alternativas que se puedan implementar.

- Características comunes:

Generalmente la morfología de las suelas se caracteriza por tener un espesor mayor en la zona del talón que en la zona de la planta. Esto se manifiesta de forma exagerada en los zapatos de tacón. La mayor necesidad de material en el talón provoca que sea una zona más ventajosa para implementar diseños que ahorren material. Esta es una de las principales razones de la existencia de nervios u ahorros en la mayoría de diseños.



Figura 10: Modelos de suelas.

Las zonas de ahorros en el tacón suelen presentar nervios rectangulares y en muchos de los casos sirven de agarre para los alicates. Unos modelos tienen un nervio central y otros dos dependiendo del diseñador o del fabricante. Esta zona es bastante accesible en la mayoría de los modelos y es muy resistente.



Figura 11: Suelas con ahorros en la zona del talón.

Las zonas delanteras lisas pueden agarrarse con alicates finos pellizcando para el proceso manual y permite la extracción si el espesor no es muy elevado pero para la automatización presenta varios problemas. El agarre de la zona delantera no es bueno para automatizar con respecto a la maniobra de agarre ya que se puede producir la colisión entre la herramienta y el molde. Además, al igual que en la extracción manual, no se trata de un agarre resistente para garantizar una extracción.

A pesar de que la parte delantera de la suela tiene menos espesor y no es tan ventajosa a la hora de ahorrar material, también es habitual que tengan algún tipo de dibujo mediante el diseño de nervios.



Figura 12: Suelas con ahorros en la zona delantera.

Los ahorros en la zona delantera permiten un agarre más resistente que cuando se trata de una suela lisa. Por el contrario, es más difícil identificar un patrón regular y la accesibilidad es reducida debido a que los huecos son de dimensiones pequeñas.

A pesar de suponer un ahorro de material y permitir reducir el peso, uno de los principales inconvenientes de los ahorros es la pérdida de confort de las suelas. El talón es una zona de apoyo muy importante del pie que se ve sometida a presiones elevadas. En ocasiones, el usuario puede sufrir un apoyo discontinuo concentrando demasiada presión en las zonas de los ahorros. Para evitar esto algunos modelos no tienen grandes huecos en el talón, lo que dificulta el agarre para la extracción en esta zona.



Figura 13: Suelas con menos ahorros en la zona del talón.

Tomando de partida los modelos que requieren una extracción con alicates y después de considerar y clasificar sus características para la automatización, se puede determinar que los modelos más adecuados son aquellos con ahorros regulares en la zona del talón. Este tipo de modelos permiten un agarre accesible y resistente desde el punto de vista de la automatización.

- Limitaciones

Al examinar las singularidades del proceso y las características comunes de las suelas para definir un sistema general de extracción, se repara también en las limitaciones que la automatización implica.

Los modelos que se escapan a la automatización son los modelos sin ahorros, ahorros irregulares o aquellos que necesiten maniobras de extracción de más de un punto de agarre.

Como ejemplo, de los modelos vistos anteriormente, se pueden descartar de forma clara los siguientes:



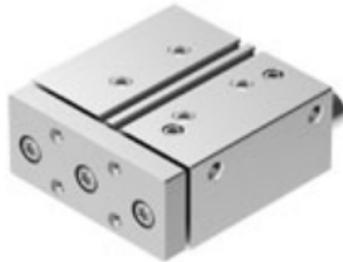
Figura 14: Modelos descartados para la automatización.

- Alternativas

En el proceso de extracción automatizado básico se puede diferenciar entre las funciones del sistema o herramienta de agarre y las funciones del robot. Esto supone separar el agarre de la extracción a pesar de que exista una comunicación entre ambos sistemas y el robot debería realizar toda la fuerza de la maniobra de extracción. Sin embargo, durante el diseño y fabricación de prototipos se han podido advertir opciones alternativas al proceso básico. Estas alternativas se basan en la incorporación de una etapa intermedia entre los dos sistemas para realizar la extracción.

La primera alternativa estudiada es la incorporación de un cilindro neumático entre el robot y el sistema de extracción como los de las figuras siguientes:

### Actuadores con barras de guía



- Diámetros: 10, 16, 25, 32, 50, 80, 100 mm
- Carreras: 1 a 500 mm
- Fuerzas: 31 a 4712 N
- Guía de rodamiento de bolas
- Guía de deslizamiento

ADNGF DFC ★DFM DFP DGRF DPZ DPZJ

Figura 15: Cilindro neumático FESTO. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

### JMGP, Cilindro compacto con guías



#### JMGP

- Cilindro con vástagos paralelos.
- Compacto y peso ligero.
- Diámetros (mm): 12 ~ 100.
- Carreras hasta 200 mm.
- Amortiguación elástica.
- Posibilidad de conexionado en 4 direcciones.
- 3 opciones de montaje.

Figura 16: Cilindro neumático SMC. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

Este cilindro puede realizar una fuerza en el eje de trabajo para facilitar el despegue de la suela del molde. Al utilizar un cilindro neumático la fase de extracción está compartida entre el actuador y el brazo robótico.

Otra alternativa valorada es la implementación de un sistema de rótula que permita articular el sistema de agarre. Con este elemento se puede complementar el cilindro neumático para realizar la tracción desde un ángulo distinto favoreciendo el despegue lateral de la suela.

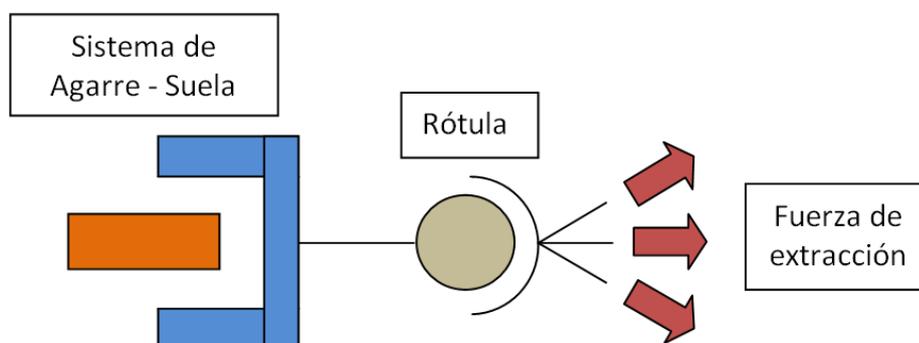


Figura 17: Esquema incorporación rótula.



## 2.2. Diseño del mecanismo de agarre.

El diseño del mecanismo de agarre se aborda desde el diseño de la garra adaptado al tipo de ahorros genérico unido al desarrollo del sistema de apriete. El conjunto se integra de forma común con el sistema robótico para obtener el diseño global del mecanismo de agarre y extracción.

### 2.2.1. Diseño de la garra

Una vez examinada la tipología de suelas a extraer, se parte de una geometría auxiliar de ahorros general para tener en cuenta la capacidad de maniobra de la herramienta y su accesibilidad a la zona de agarre.

Como se ha visto en el apartado 2.1.4, la geometría de ahorros regular más habitual es rectangular. Dentro de esta tipología se puede tener un nervio central o dos paralelos. De ambos se realiza un modelo simplificado de la geometría en la zona de agarre. Las medidas de los huecos utilizadas para elaborar los modelos son las mínimas que se tienen en las suelas seleccionadas. De esta forma se garantiza su utilidad para todo el rango de tamaños de suela.



Figura 20: Detalle ahorros de las suelas y modelos 3D generados.

Como las dimensiones de los huecos son muy reducidas, es más interesante que el agarre sea paralelo. Las mordazas deben entrar en el hueco y apretar de forma paralela para minimizar el espacio necesario para el cierre.

Además, es necesario plantear la cantidad de puntos de agarre que se quieren implementar.

- Un punto de agarre

Con un punto de agarre se focaliza la fuerza lo cual favorece que no se reparta pero se limita más la acción que se ejerce sobre el conjunto. Al tratarse de un material flexible las fuerzas aplicadas se amortiguan mucho en el resto de la estructura de la suela. Se parte de dos diseños de la zona de la garra. El primero es similar a las mordazas de los alicates para agarrar las partes planas de los ahorros y el segundo combina el cierre paralelo al deslizar por una cara inclinada de guía.

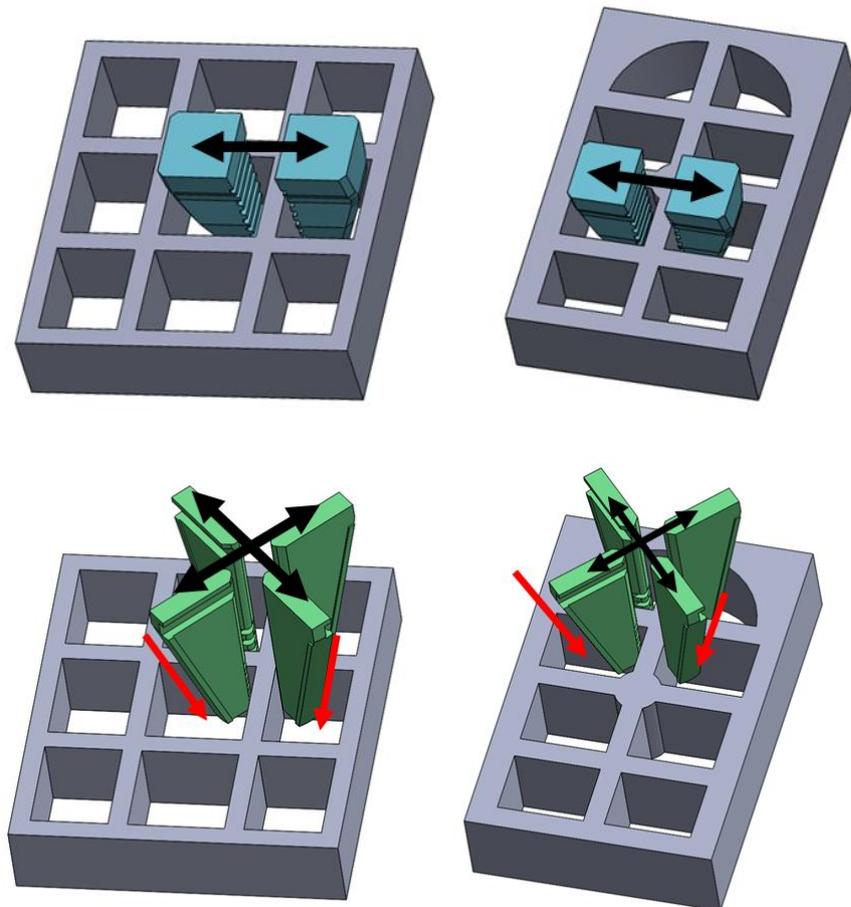


Figura 21: Planteamiento de las mordazas de agarre.

Con un punto de agarre se favorece la polivalencia de la herramienta. Se puede agarrar cualquier geometría regular de tipo nervio o tipo cruceta del rango de espesor que permita la apertura. Por el contrario, el agarre puede dificultar la extracción ya que se debe realizar la maniobra manejando la totalidad de la suela desde un único punto. Además puede suponer problemas en la resistencia de la suela si el mecanismo ejerce demasiada fuerza sobre un área reducida.

- Varios puntos de agarre

Con varios puntos de sujeción la fuerza de cierre se reparte más. El cierre no es tan efectivo pero se agarra la suela de forma global. Para la maniobra de extracción es más favorable porque se tiene más control sobre la totalidad de la suela.

Para el diseño de la mordaza se plantea el agarre sobre tres nervios siendo válido para suelas con un solo ahorro central o dos ahorros paralelos.

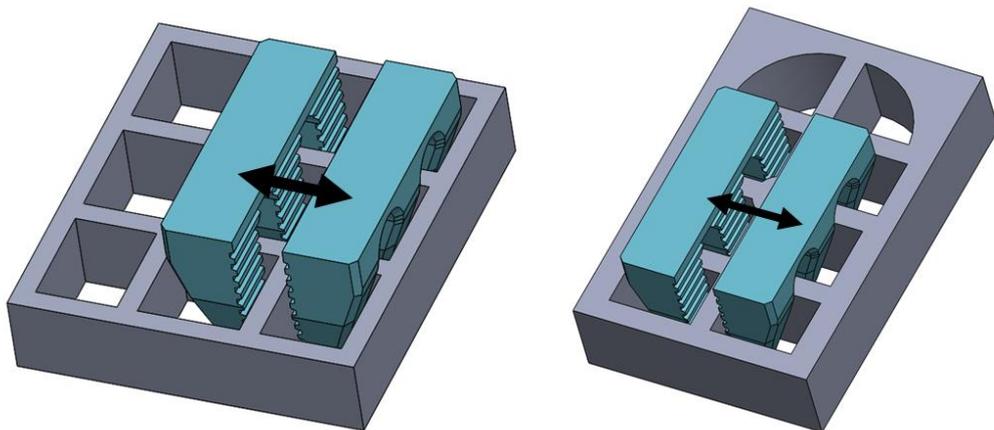


Figura 22: Planteamiento de mordaza con ahorros paralelos y central.

Además se plantea un cierre doble para los modelos con dos ahorros paralelos:

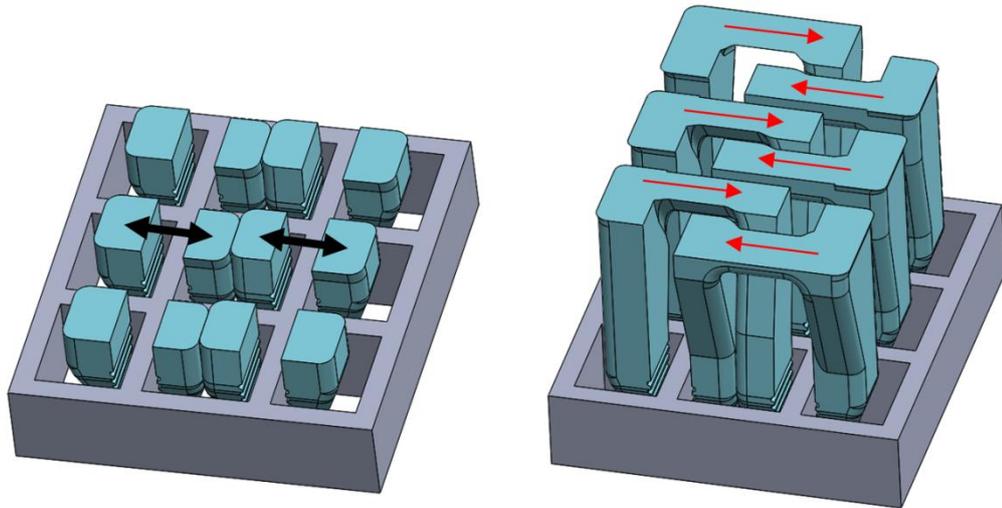


Figura 23: Planteamiento mordaza de cierre doble.

Las mordazas se deben entrecruzar para poder realizar el cierre sobre los dos ahorros paralelos a la vez. El ancho y el espesor de la mordaza son más reducidos para poder montarse entrecruzadas e introducirse en el hueco central. Por otra parte, el uso de este tipo de mordaza no sería válido para las suelas con ahorro central.

El dibujo de los dientes por otra parte también se ha comprobado que tiene gran importancia. El acabado del material de la suela tiene una rugosidad variable dependiendo del modelo y esto provoca que el diente resbale en algunos casos. Por este motivo, con el desarrollo del proyecto se han generado distintos modelos de diente para favorecer el agarre.

El modelo de partida tiene forma de trapecio isósceles de dimensiones similares a las mordazas del alicate común.

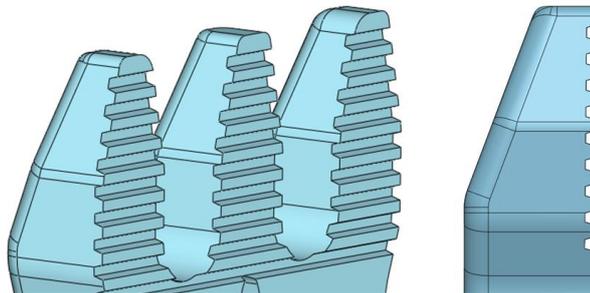


Figura 24: Detalle diente forma trapecio isósceles.

Posteriormente se ha modificado para que su acabado sea en punta y se ha diseñado también con forma de diente de sierra.

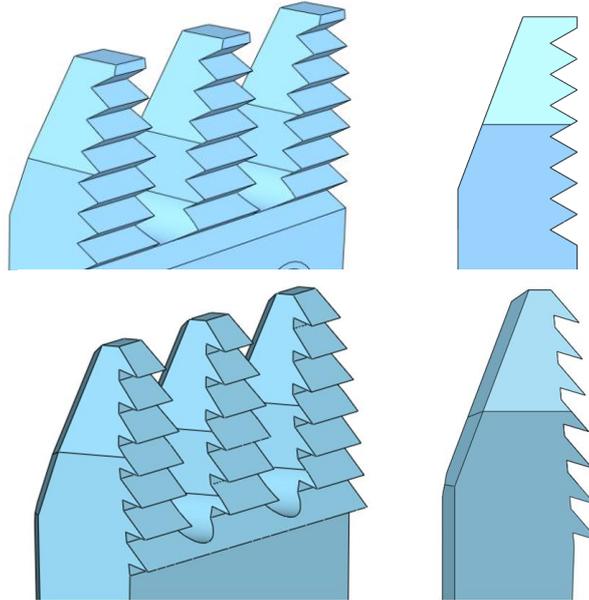


Figura 25: Detalle dientes con forma de pico y sierra.

También ha surgido un diseño distinto basado en púas que se alternan para que ambas mordazas se entrelacen.

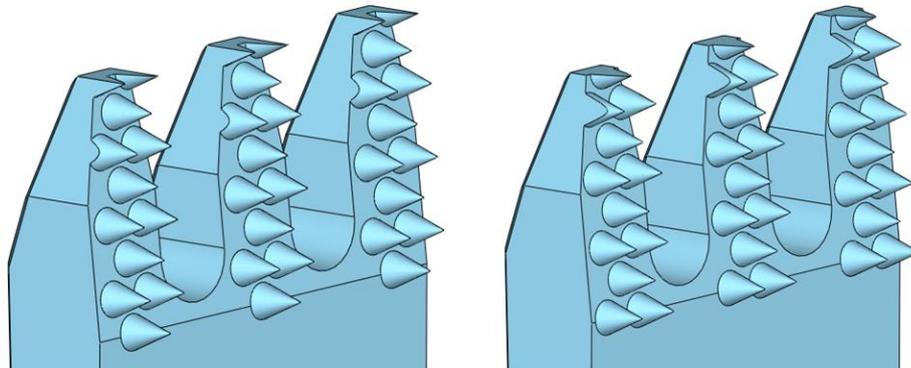


Figura 26: Detalle dientes con forma de púa.

Otra versión de dientes que se ha diseñado viendo los resultados de las pruebas tiene una variación en el ángulo de las caras de la mordaza para tener mayor contacto con la superficie del nervio.

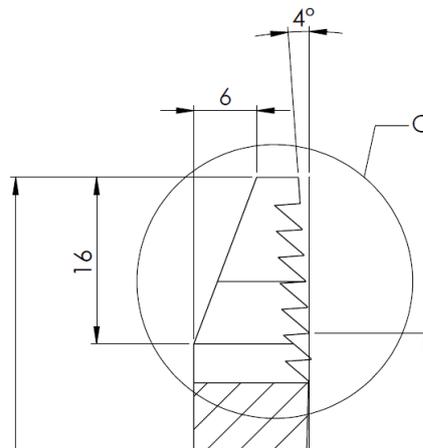


Figura 27: Detalle ángulo de la mordaza.

A partir del desarrollo de todos los tipos de dientes se generan modelos para la fabricación de prototipos y pruebas de los mismos. En su desarrollo se ha considerado también que existen limitaciones dependiendo del proceso de fabricación y por tanto unos modelos están más enfocados a las nuevas tecnologías de fabricación aditiva.

### 2.2.2. Desarrollo del sistema de apriete

El diseño de la mordaza se aborda en conjunto con el desarrollo del sistema de apriete. Es decir, dependiendo del diseño del agarre se condiciona el tipo de sistema de apriete y viceversa.

Como ya se ha explicado en apartados anteriores el mecanismo de apriete debe ser paralelo por motivos de espacio y accesibilidad. Todas las mordazas diseñadas están pensadas para un cierre lateral excepto para el caso de agarre en la cruceta que el movimiento es concéntrico desde dos direcciones.

- Apriete biaxial.

El diseño del sistema de apriete biaxial combina dos direcciones de cierre paralelo junto con el deslizamiento de la cara inclinada. Para ello se incorpora un mecanismo similar al cierre de un cabezal de taladro.

El giro del eje produce el movimiento vertical del tornillo que desplaza las mordazas:

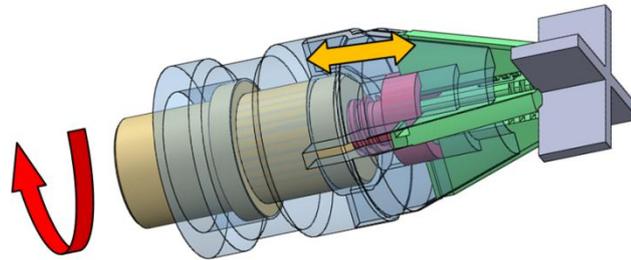


Figura 28: Funcionamiento modelo sistema agarre bidireccional.

La cara interior inclinada de la pieza exterior del cabezal sirve de deslizadera para las mordazas:

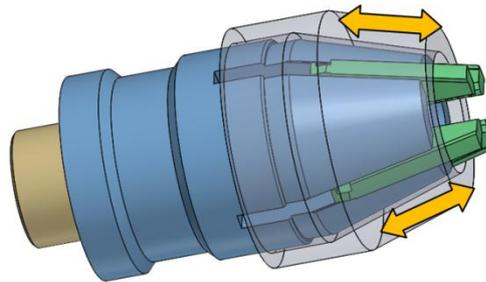


Figura 29: Detalle deslizamiento sistema agarre bidireccional.

El funcionamiento de cierre es el mismo pero incorpora cuatro mordazas en vez de tres. Los cabezales de los taladros llevan tres mordazas para que el cierre sea autocentrante. Así la broca queda bien alineada y se evitan las excentricidades. En la aplicación de agarre que se propone no es necesario que sea autocentrante y se necesita acceder desde los cuatro huecos que dejan los nervios.

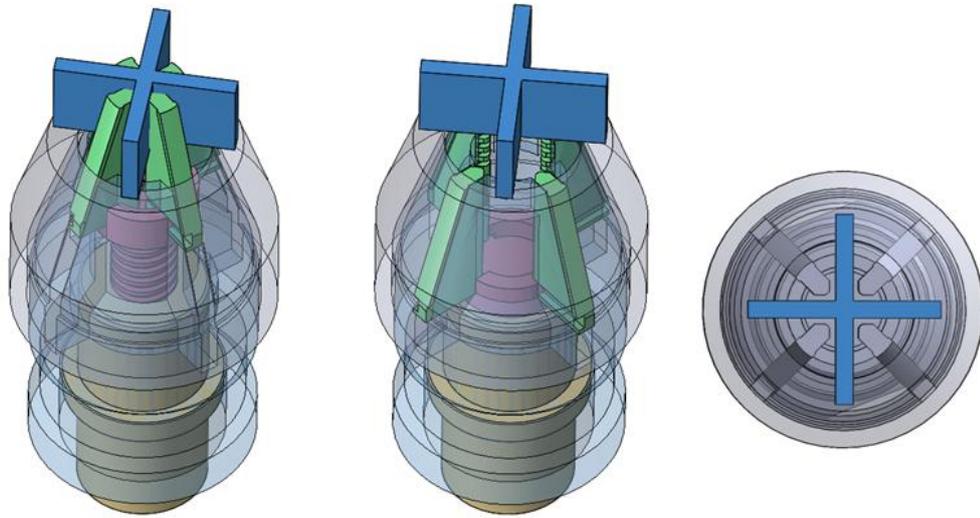


Figura 30: Sistema cerrado, abierto y vista en planta.

Se incorpora un eje para realizar un prototipo y poder montarlo sobre un motor eléctrico con reductora.

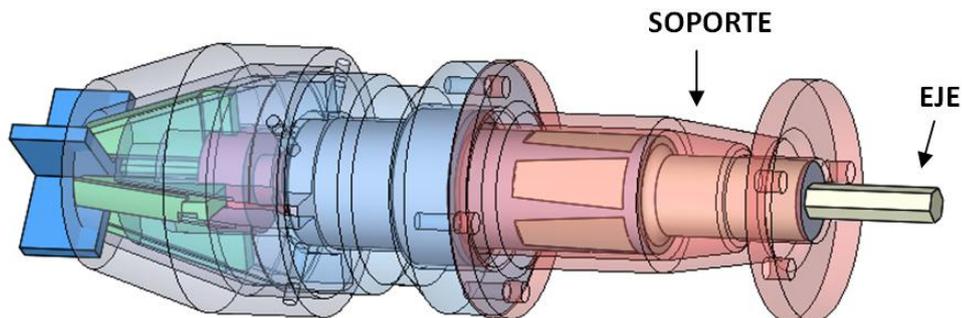


Figura 31: Detalle del soporte y el eje.

Tras el diseño y después de pruebas del prototipos, el modelo de apriete biaxial muestra las desventajas de no proporcionar el agarre necesario, es más pesado debido a que necesita incorporar un motor, es más costoso en su fabricación y la apertura es insuficiente para la mazarota.

- Apriete uniaxial

Para el cierre unidireccional se valora la incorporación de un actuador que garantice una fuerza de cierre necesaria y sea compacto. Los actuadores neumáticos e hidráulicos son los que permiten obtener mayor fuerza de cierre en detrimento de los eléctricos que además son algo más pesados si se comparan. Los hidráulicos por su parte son más desaconsejables debido a que el mantenimiento es más complejo y las fugas son más problemáticas.

El modelo de pinza escogido es el JGP 80-1 de la marca SCHUNK:



### Technical data

Description		JGP 80-1
ID		0308800
Stroke per jaw	[mm]	8
Closing / opening force	[N]	415/465
min. spring force	[N]	
Weight	[kg]	0.5
recommended workpiece weight	[kg]	2.1
Fluid consumption double stroke	[cm <sup>3</sup> ]	22.5
min./max. operating pressure	[bar]	2.5/8
Nominal operating pressure	[bar]	6
min. / max. air purge pressure	[bar]	0.5/1
Closing/opening time	[s]	0.04/0.04
Closing- / opening time with spring	[s]	
max. admissible finger length	[mm]	100
max. admissible weight per finger	[kg]	0.6
Protection class IP		40
min./max. ambient temperature	[°C]	5/90
Repeat accuracy	[mm]	0.01

Figura 32: Datos técnicos actuador.<sup>9</sup>

Esta pinza garantiza una fuerza de cierre de 415-465 N con un peso de 0,5kg. Esta fuerza es del orden de la máxima que puede realizar un ser humano (45.7 kg = 448N). Teniendo en cuenta que el peso es un factor limitante fundamental y que la fuerza del robot colaborativo es limitada se decide seleccionar este modelo.

El funcionamiento es sencillo, el embolo (naranja) se desplaza por la presión del aire introducido y las superficies inclinadas (amarillo) abren y cierran las mordazas.

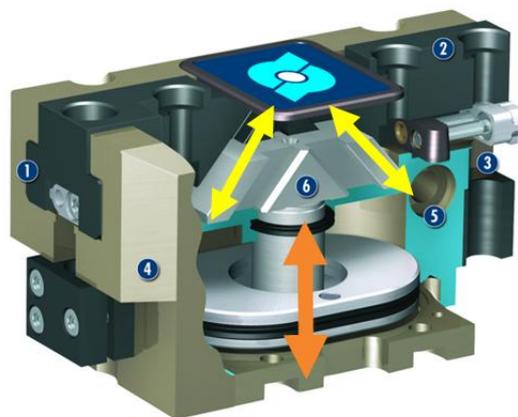


Figura 33: Detalle funcionamiento actuador.<sup>9</sup>

El diseño de las garras adaptadas al sistema de apriete se desarrolla teniendo en cuenta la apertura máxima que permiten los ahorros. La relación entre la posición de la mordaza y la posición de los agujeros viene dada con el sistema de apriete en el estado abierto. La cara de contacto con la suela se define para que exista contacto en estado cerrado y respetando la apertura mínima en estado abierto.

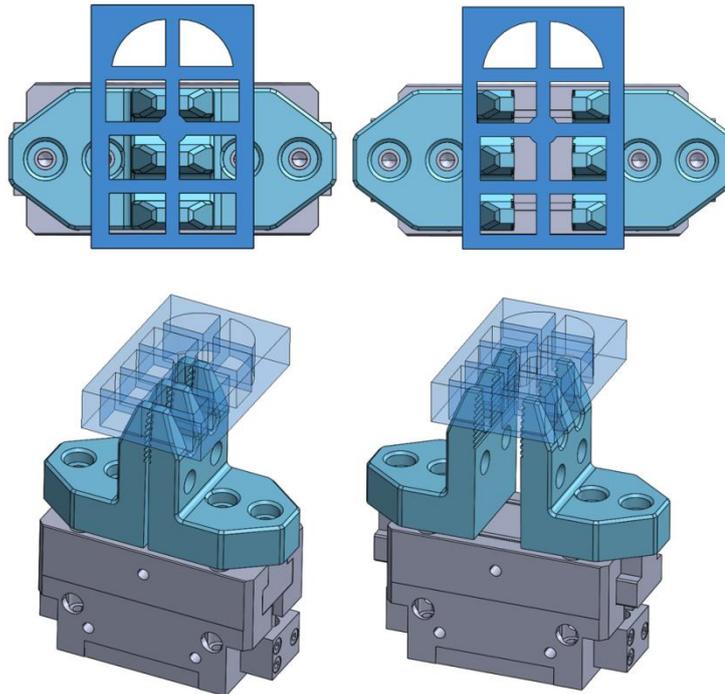


Figura 34: Interacción mordaza-ahorros con la pinza cerrada y abierta.

Se realiza el diseño de la mordaza adaptado a distintos métodos de fabricación. El primer método es por mecanizado partiendo de un bloque. Paralelamente se realiza también una optimización y se rediseña la mordaza para fabricación aditiva. Con la evolución del trabajo de fabricación se genera además un modelo de garra atornillado.

- Diseño tradicional mecanizado:

El diseño inicial de garra fabricada mediante procesos de mecanizado se ajusta a las dimensiones mínimas del bloque de partida manteniendo una relación de compromiso entre la eliminación de material para reducir peso y evitar encarecer innecesariamente la fabricación. Todo ello respetando que el componente sea suficientemente resistente.

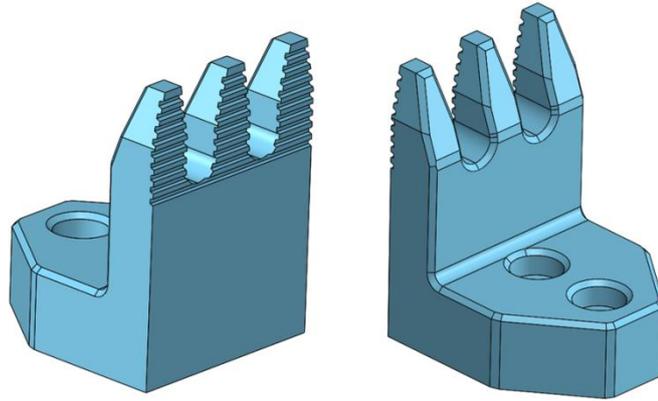


Figura 35: Diseño pinza mecanizada.

Posteriormente se desarrolla un modelo de garra atornillada. El modelo atornillado permite reducir el trabajo del mecanizado al dividir el volumen en dos piezas y reducir el material total a eliminar desde los bloques de partida. Como ventaja añadida este modelo permite intercambiar la mordaza si se necesita otro tipo de diente o si la mordaza sufre daños y se desgasta.

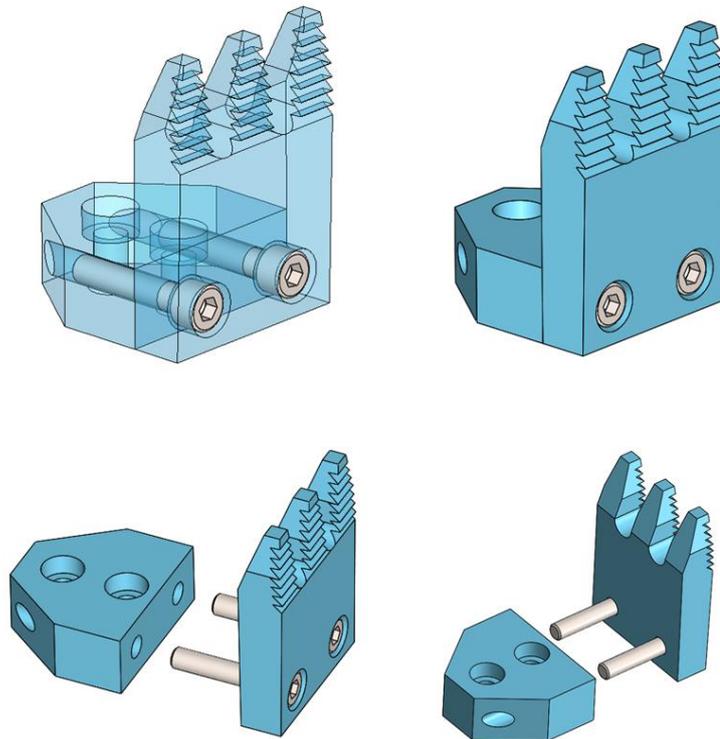


Figura 36: Detalle garra atornillada.

- **Diseño nuevas tecnologías de fabricación aditiva:**

Las nuevas tecnologías de fabricación permiten la generación de diseños con formas más complejas que no atienden a las limitaciones de fabricación tradicionales. En el caso de la fabricación aditiva, al contrario que en el mecanizado, la reducción de material neto utilizado abarata el componente ya que no existe un bloque de partida del que se elimina material.

Dadas las ventajas de este método de fabricación se plantea el diseño de la garra para el cierre doble. Las geometrías que se requieren son más complicadas y el bloque de partida comparado con el volumen inicial hace poco viable su fabricación por métodos tradicionales.

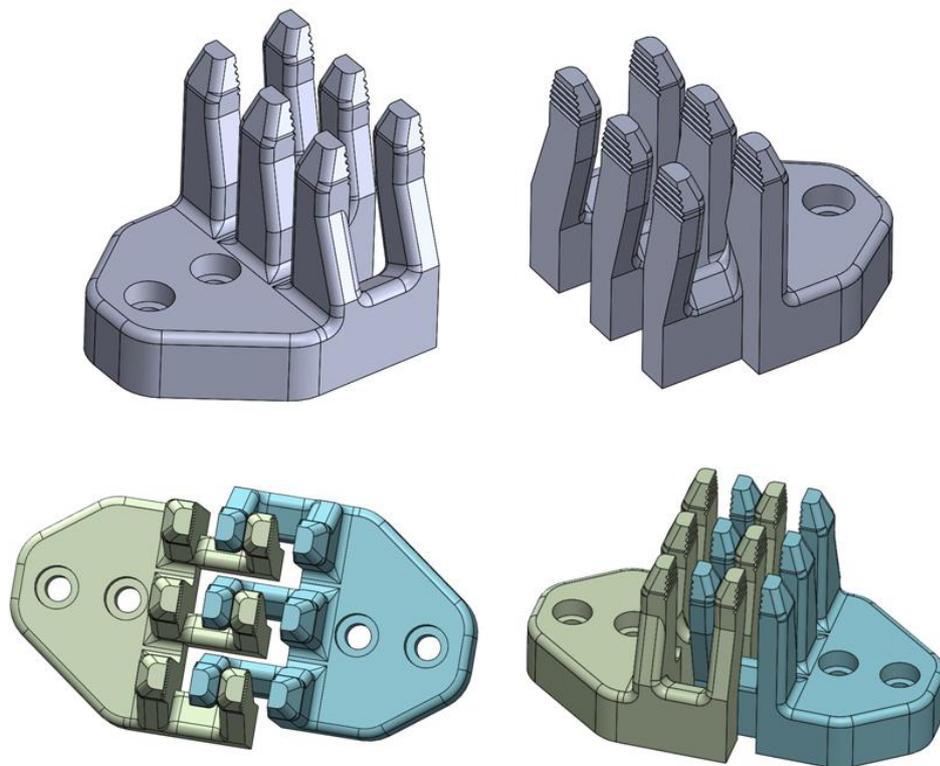


Figura 37: *Detalle garra de cierre doble y ensamblado.*

Al igual que en el modelo mecanizado se tiene una superficie de apoyo para el actuador y los correspondientes agujeros del montaje. Las superficies de apriete cierran sobre el centro del nervio pero el espesor se ve más limitado para respetar un hueco que facilite la entrada de la garra en estado abierto.

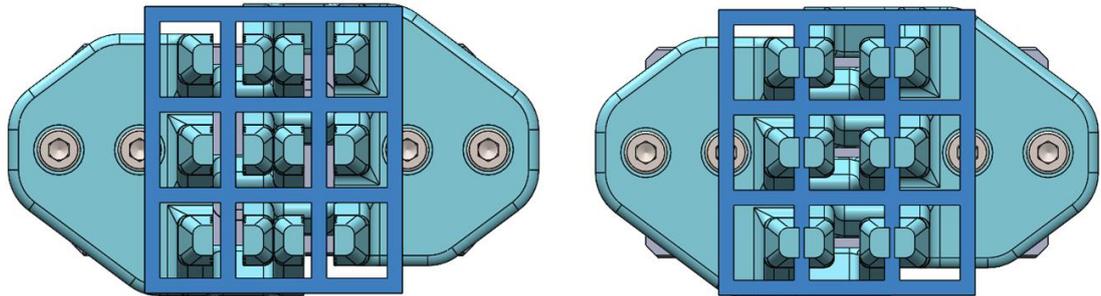


Figura 38: Garra de cierre doble en posición abierta y cerrada.

Aprovechando las ventajas de la fabricación aditiva se aplican métodos de optimización para obtener un diseño más liviano de la garra simple mecanizada.

Para el diseño optimizado se realiza un cálculo de optimización. Para ello se necesitan un volumen de partida que en este caso es la mordaza diseñada para el mecanizado. Por otra parte se introducen las cargas a las que se ven sometidas 465N de cierre y 200N de tracción. Para completar el modelo de cálculo se establecen las restricciones en la base donde se apoya y se aplican los tornillos de fijación.

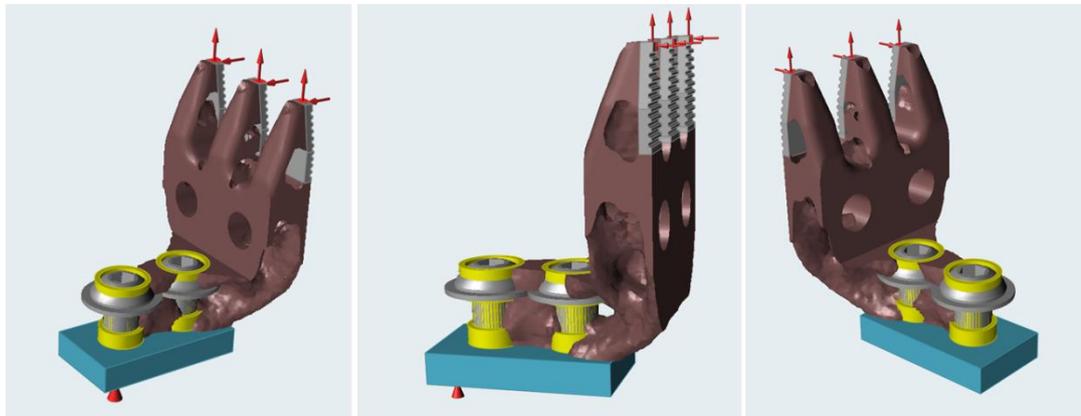


Figura 39: Resultados de la optimización.

El modelo optimizado sirve como guía para rediseñar el modelo de garra y atendiendo a los resultados se reduce el material en el acoplamiento del actuador y en la parte inferior de la superficie de contacto. Los agujeros interiores que aparecen tanto en la parte posterior de las mordazas como en el cuerpo no se implementan en el diseño. El ahorro de material en esas zonas no es significativo y no se quiere debilitar esa zona. Es importante que no haya deformaciones excesivas al apretar para garantizar bien el agarre. Con todo ello el modelo resultante se muestra a continuación:

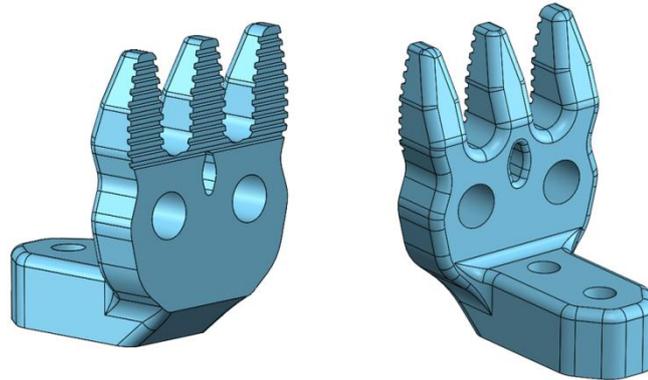


Figura 40: Garra Optimizada para FA.

### 2.2.3. Integración con el sistema robótico

Para la integración con el sistema robótico se requiere la unión mecánica del sistema de agarre con el brazo robótico y los componentes de extracción que se incorporen entre esos dos sistemas.

El modelo más básico requiere de la unión entre el actuador y el cabezal del robot que se puede realizar mediante una brida que contenga las soluciones de fijación de ambos sistemas. Para el brazo robótico deben respetarse los agujeros pasantes con alojamiento para la cabeza de los tornillos de fijación y para el actuador se necesitan los agujeros roscados correspondientes a la base.

La solución para el modelo UR5 y el COMAU es la siguiente:

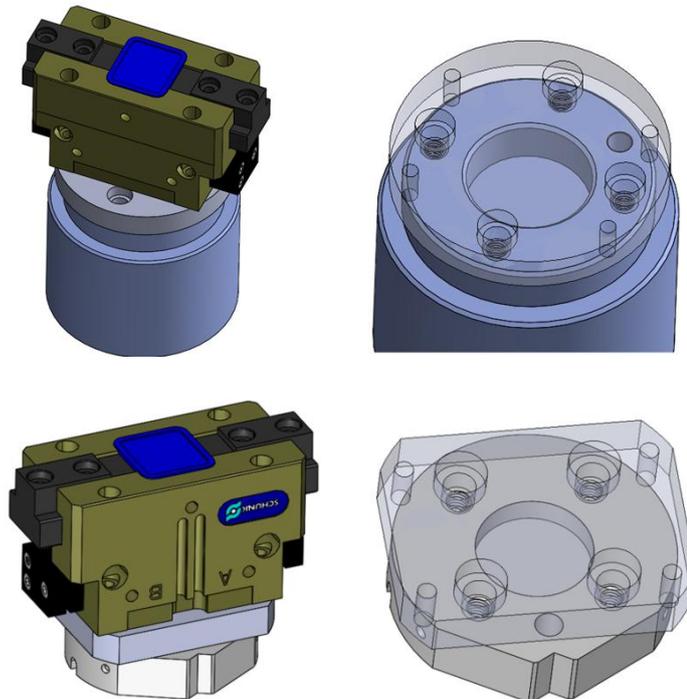


Figura 41: Detalle bridas para UR5 y Comau.

En la medida que se quiere incorporar parte de la función de extracción se aumenta la complejidad del sistema. Esta opción se ha valorado en el apartado 2.1.1 y se ha llevado a cabo seleccionado el cilindro neumático FESTO DFM-32-25-P-A-GF:



### Hoja de datos

Característica	Valor
Distancia del centro de gravedad entre la carga útil y la placa	50 mm
Carrera	25 mm
Diámetro del émbolo	32 mm
Tipo de accionamiento del actuador	Yunque
Amortiguación	P: amortiguación por tope elástico/placa a ambos lados
Posición de montaje	indistinto
Guía	Guía deslizante
Construcción	Guía
Detección de la posición	para sensores de proximidad
Presión de funcionamiento	1,5 ... 10 bar
Velocidad máxima	0,8 m/s
Modo de funcionamiento	de doble efecto
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Clase de resistencia a la corrosión KBK	1 - riesgo de corrosión bajo
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Energía del impacto en las posiciones finales	0,4 Nm
Carga de par máxima admitida Mx en función de la carrera	7 Nm
Máx. carga útil en función de la carrera con distancia definida xs	180 N
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	415 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	482 N
Masa móvil	1.049 g
Peso del producto	1.858 g
Conexiones alternativas	ver dibujo técnico del producto
Conexión neumática	G1/8
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Material de la culata	Aleación forjable de aluminio
Material de las juntas	NBR
Material de la carcasa	Aleación forjable de aluminio
Material del vástago	Acero inoxidable de aleación fina

Figura 42: Características cilindro neumático.

Los valores fundamentales a tener en cuenta son la carrera, la fuerza máxima de retroceso y el peso. Para garantizar la primera fase de la extracción de la suela del molde la carrera de 25mm y la fuerza de 415N son sobradamente adecuadas. El peso es el factor más desfavorable de este cilindro pero no supone un inconveniente si el conjunto no supera la carga máxima del robot para que sea funcional.

Con respecto al acoplamiento al robot se realiza un estudio de los diferentes cabezales para diseñar un solo sistema de extracción válido para acometer las pruebas con los distintos modelos de robot.

Se diseñan los acoplamientos del robot y se superponen el máximo de agujeros en común buscando que los no coincidentes no se crucen. Como resultado se obtiene una brida que permite la unión mediante un mínimo de cuatro tornillos para los cuatro robots disponibles.

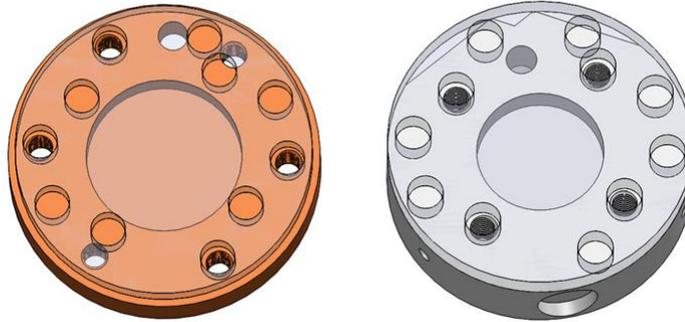


Figura 43: Bridas ABB IRB2400 y Comau SIX.

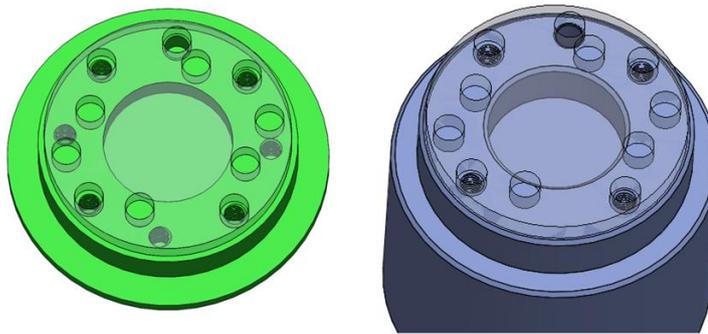


Figura 44: Bridas KUKA KR16 y UR5

Al incorporar el cilindro neumático se diseñan los elementos de integración del actuador con el cilindro y de este con el cabezal del robot. Al igual que para las mordazas se presentan dos vías de desarrollo, mediante fabricación tradicional y mediante fabricación aditiva.

- Diseño tradicional mecanizado:

En un primer estadio se desarrollan los diseños de los elementos a partir de bloques de material mecanizados. Esto asegura unas tolerancias y acabados que otros métodos de fabricación no pueden conseguir. Por el contrario el coste de materia prima y de fabricación puede ser elevado.

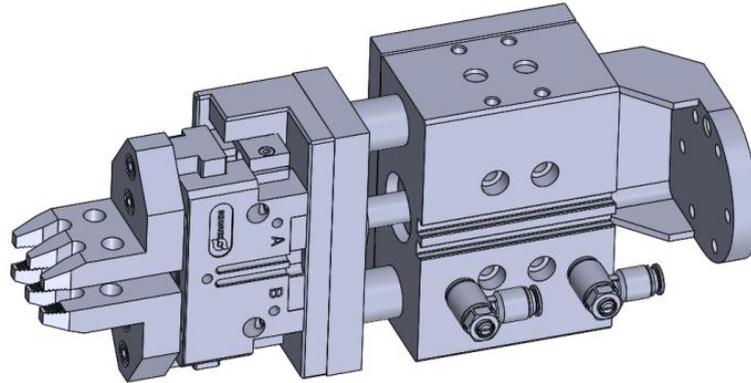


Figura 45: Conjunto de agarre completamente mecanizado.

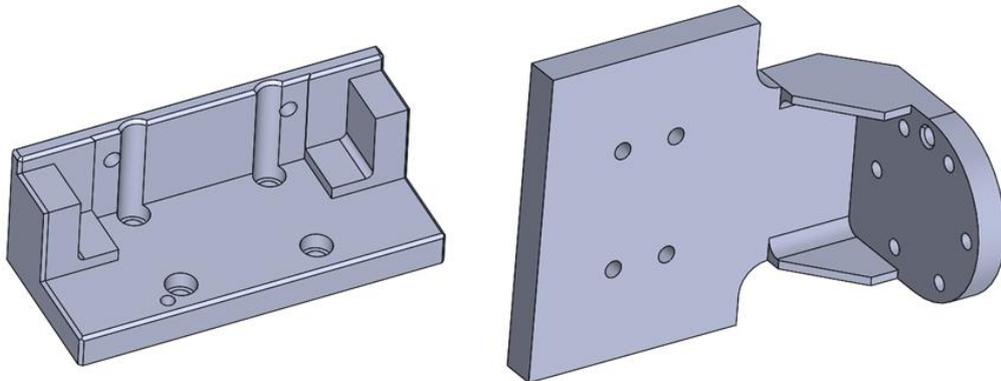


Figura 46: Detalle bridas mecanizadas.

El proceso de fabricación aconsejaba evolucionar el diseño y realizar un conjunto soldado. De esta forma se reduce el ratio del volumen de partida con el volumen final de las piezas. Esto supone un ahorro lógico de material y tiempo de fabricación. A cambio se deben soldar los componentes manteniendo las tolerancias dimensionales del conjunto. Este cambio supone también utilizar materiales con buena soldabilidad y por tanto es preferible acero en vez de aluminio.

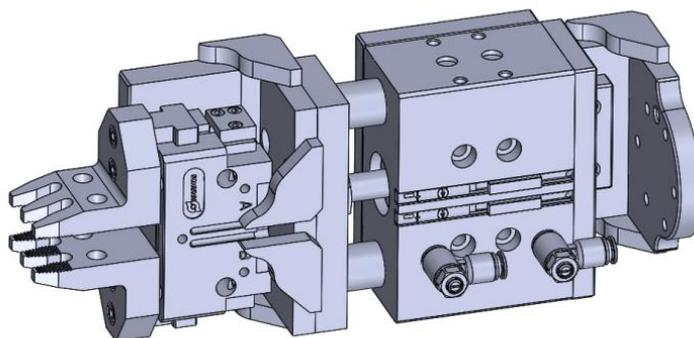


Figura 47: Conjunto de agarre mecanizado y soldado.

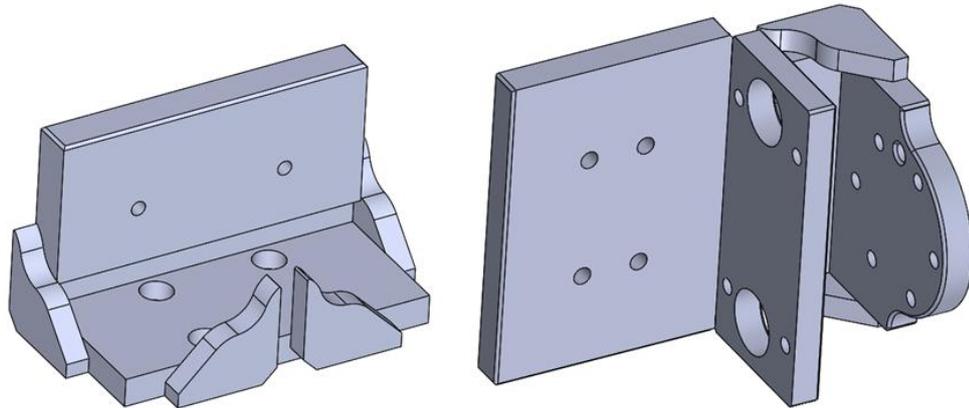


Figura 48: Detalle bridas mecanizadas y soldadas.

A partir del modelo soldado se plantea un modelo atornillado. El desarrollo del nuevo modelo proporciona la oportunidad de utilizar materiales que son menos soldables pero más ligeros como el aluminio. Otra ventaja fundamental es la intercambiabilidad de los elementos ante roturas o desgastes de las piezas.

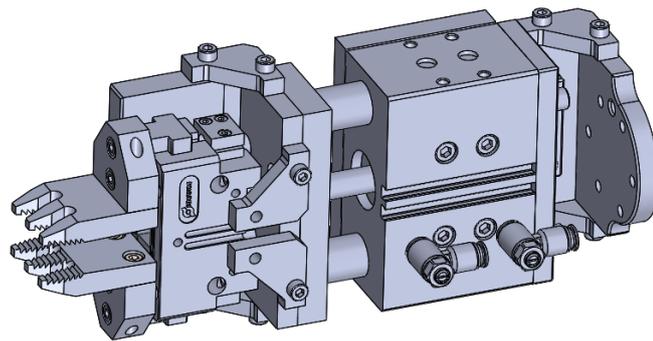


Figura 49: Conjunto de agarre mecanizado y atornillado.

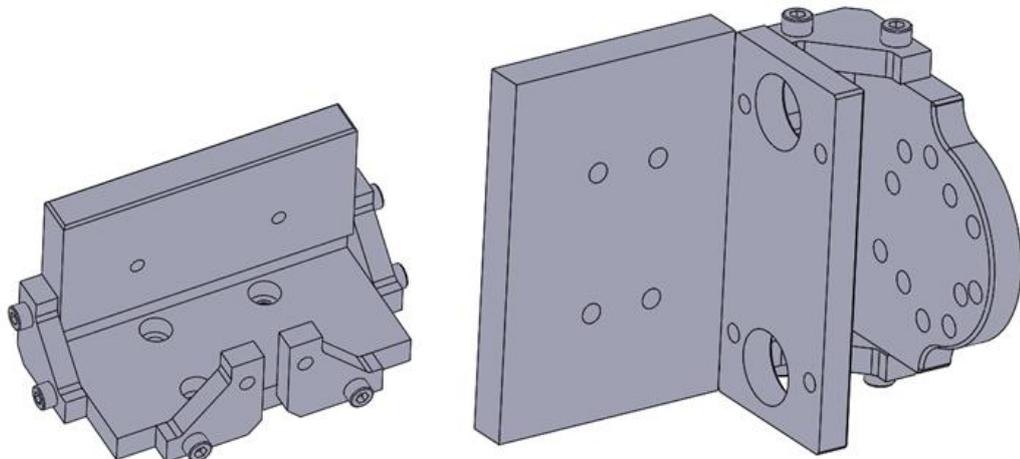


Figura 50: Detalle bridas mecanizadas y atornilladas.

Como se ha explicado anteriormente se dispone de una configuración de brida polivalente para los robots disponibles. En este caso se podrían disponer de bridas exclusivas para cada robot y montarlas en cada caso en el conjunto del sistema de agarre.

- Diseño nuevas tecnologías de fabricación aditiva:

En el diseño de los componentes con la mentalidad de diseño propia de la fabricación aditiva se realiza un cálculo de optimización inicial. Los modelos de partida son los considerados en un primer momento para la mecanización.

- Brida unión actuador-cilindro:

Se aplican las cargas máximas que pueden realizar los actuadores y se establecen las condiciones de contorno de las superficies de contacto y las fijaciones.

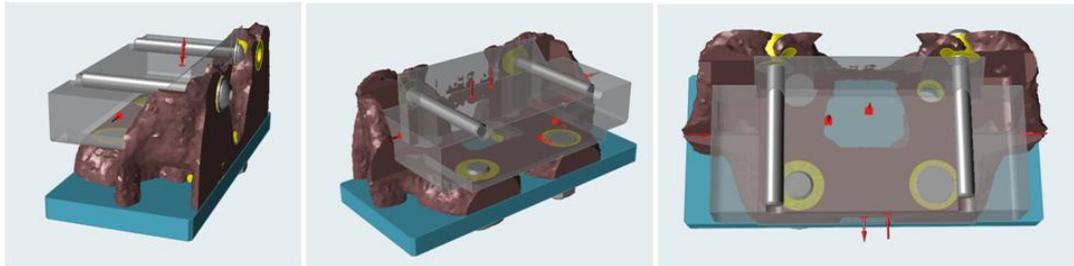


Figura 51: Optimización de la brida actuador-cilindro.

Después del rediseño se obtiene el modelo para fabricación aditiva. El modelo resultante tiene en cuenta criterios de montaje dejando material suficiente alrededor de los agujeros y garantizando superficies de apoyo de los elementos que se montan.

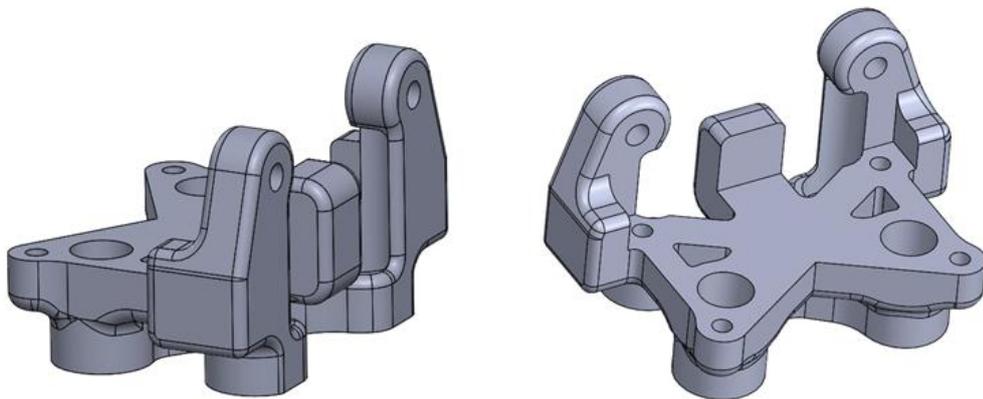


Figura 52: Rediseño brida actuador-cilindro para FA.

- Brida unión cilindro-robot:

Al igual que en el caso anterior se aplican las fuerzas correspondientes a los elementos montados y se restringe el modelo.

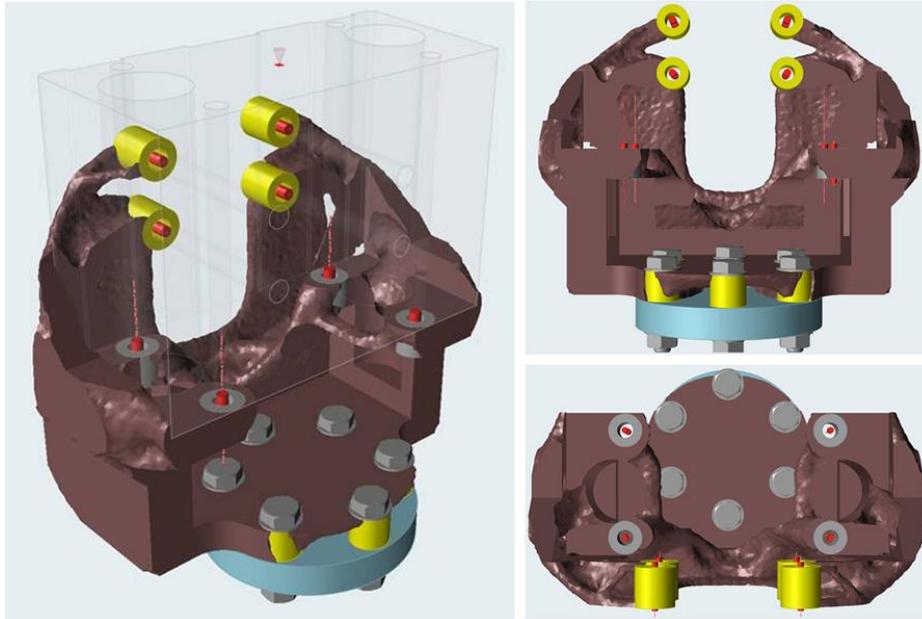


Figura 53: Optimización brida cilindro-robot.

Posteriormente se desarrolla el rediseño teniendo en cuenta las mismas consideraciones de diseño explicadas anteriormente.

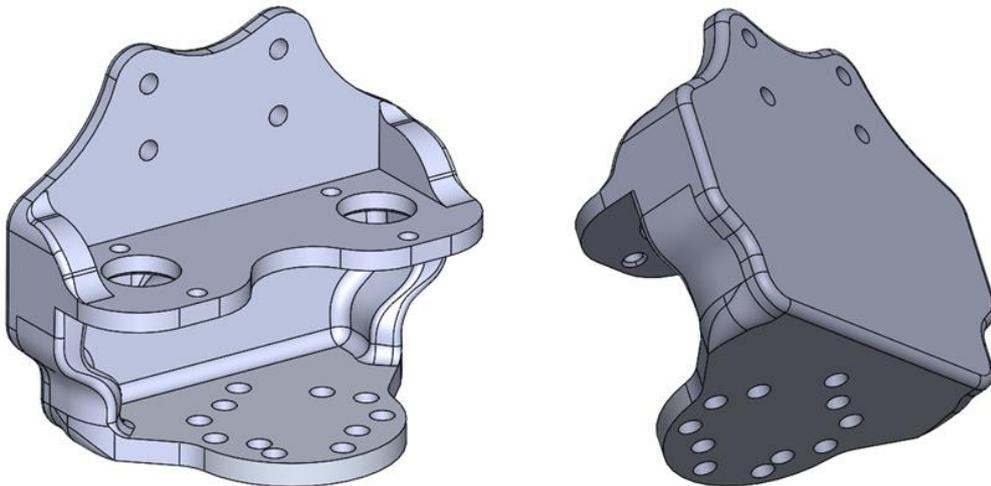


Figura 54: Rediseño brida cilindro-robot para FA.

### 3. Conclusiones

La realización del paquete de trabajo correspondiente al diseño de sistemas de agarre y extracción se recoge en el presente entregable dividido en las dos tareas descritas en el mismo.

En primer lugar el análisis de la metodología de extracción ha examinado los puntos de agarre y las maniobras que se realizan para completar la extracción de las suelas. Como exigencia de la tarea de diseño se han detallado las características a considerar para el proceso automatizado y se han cuantificado las cargas.

Dada la amplia variedad de modelos distintos de suela se han clasificado y determinado las características comunes y se han seleccionado los modelos viables para la extracción automática. Estos modelos son aquellos con geometrías de ahorros regulares rectangulares y con nervios que garantizan un buen agarre.

La tarea de diseño del mecanismo ha recogido todas las consideraciones de la tarea anterior junto con las exigencias correspondientes al sistema de brazo robótico.

Se han desarrollado los diseños del sistema de agarre para permitir la fabricación de prototipos con el objetivo de explorar distintos enfoques del agarre (unidireccional o bidireccional y de un punto de agarre o múltiples agarres).

Respecto al dibujo del dentado de las mordazas también se han generado distintos diseños (dentado trapezoidal, forma de pico, forma de sierra y púas alternadas).

Se han seleccionado los componentes para el cierre de las mordazas y la extracción, y se han desarrollado los elementos de ensamblaje. El diseño se ha realizado desde las ópticas de la fabricación tradicional y de las tecnologías de fabricación aditiva.

La integración con los sistemas robóticos de prueba se ha conseguido ajustando el diseño de la brida a todos los modelos de robot y permitiendo un sistema atornillado intercambiable.

En definitiva se han determinado los requerimientos de diseño para la extracción, se han diseñado distintas alternativas para la fabricación de prototipos y se han acometido los rediseños sugeridos por los paquetes de fabricación y validación.

## 4. Referencias y bibliografía

1. <http://www.semec.org.mx/archivos/congreso11/BIOM01.pdf>
2. <http://www.ibv.org/productos-y-servicios/servicios-tecnologicos/valoracion-biomecanica>
3. Bowen Ida Josefina, Mendoza de Sosa Dilcia. Valores de la fuerza de mano en adultos sanos, Bol Méd Post 2001; XVII(2)
4. <http://www.semec.org.mx/archivos/congreso11/BIOM01.pdf>
5. <https://es.slideshare.net/profesoraudp/palanca-1>
6. <https://www.festo.com/>
7. <https://www.smc.eu/>
8. <http://www.zimmer-group.de>
9. [https://schunk.com/es\\_es/pagina-web/](https://schunk.com/es_es/pagina-web/)