

UNIVERSITAT
JAUME·I

UNIVERSIDAD JAUME I



**MÁSTER UNIVERSITARIO EN
DISEÑO Y FABRICACIÓN**

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE GARRAS MECÁNICAS

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

AUTOR: DANIEL CARDÍN CATALÁN

TUTORES: ANGEL P. DEL POBIL FERRÉ

MARTA C. MORA AGUILAR

CASTELLÓN, FEBRERO 2017

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	5
2.1. Hipótesis	7
2.2. Objetivos.....	7
3. METODOLOGÍA	9
3.1. Estado del arte	11
3.1.1. Síntesis de artículos científicos.....	11
3.1.2. Análisis de garras mecánicas comerciales	17
3.1.3. Conclusiones del estado del arte.....	22
3.2. Diseño de la garra mecánica	23
3.2.1. Objetivos y especificaciones.....	23
3.2.2. Diseño de alternativas	24
3.3. Construcción de prototipos	33
3.4. Prototipo final	36
3.4.1. Diseño 3D del prototipo final	36
3.4.2. Fabricación del prototipo final	39
3.5. Evaluación de la garra.....	40
3.5.1. Sistemas de agarre.....	40
3.5.2. Experimento a realizar	43
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
5. CONCLUSIONES	51
6. REFERENCIAS	55
7. PLANOS	59
8. ARTÍCULO	89



Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Kiva Systems	3
Ilustración 2. Almacén de Amazon.....	3
Ilustración 3. Garra en diseño virtual (izq.) y prototipo en 3D (der.)	11
Ilustración 4. Esquema simplificado de los dedos.....	12
Ilustración 5. Mecanismo del dedo	12
Ilustración 6. SDM Hand sobre un brazo robótico	13
Ilustración 7. Partes del dedo	13
Ilustración 8. Esquema simplificado de los dedos.....	13
Ilustración 9. Músculo neumático artificial	14
Ilustración 10. Movimientos del dedo	14
Ilustración 11. Robot blando.....	15
Ilustración 12. Tipos de actuadores	16
Ilustración 13. Asistente biónico para la manipulación	17
Ilustración 14. BionicANTs.....	17
Ilustración 15. SmartBird	17
Ilustración 16. FinGripper	17
Ilustración 17. Configuración 3 dedos del FinGripper	18
Ilustración 18. Configuraciones de la base del FinGripper	18
Ilustración 19. Barrett Hand	19
Ilustración 20. Ejes de movimiento de la Barrett Hand.....	19
Ilustración 21. Mecanismo de transmisión por par	19
Ilustración 22. Movimiento de los dedos en la Barret Hand.....	20
Ilustración 23. Movimiento de rotación de los dedos en la Barrett Hand	20
Ilustración 24. Garra Robotiq de 2 dedos.....	21
Ilustración 25. Garra Robotiq de tres dedos	21
Ilustración 26. Alternativa de dedo 1	27
Ilustración 27. Alternativa de dedo 2	27
Ilustración 28. Alternativa de dedo 3	28
Ilustración 29. Piezas de la alternativa 2.....	29
Ilustración 30. Render de la alternativa 2.....	29
Ilustración 31. Piezas de la alternativa 3.....	29
Ilustración 32. Render de la alternativa 3.....	29
Ilustración 33. Tapa de la base de 4 dedos	30
Ilustración 34. Soportes de la base de 4 dedos.....	30
Ilustración 35. Deslizadera de la base de 4 dedos	30
Ilustración 36. Unión con el brazo robótico de la base de 4 dedos	31
Ilustración 37. Base de 4 dedos	31
Ilustración 38. Tapa de la base de 3 dedos	32
Ilustración 39. MakerBot Replicator 2.....	33
Ilustración 40. Prototipo alternativa 2.....	33
Ilustración 41. Prototipo alternativa 3.....	34
Ilustración 42. Prototipo de las bases.....	34
Ilustración 43. Base de 4 dedos con la alternativa 2	34
Ilustración 44. Base de 3 dedos con la alternativa 3	34
Ilustración 45. Diseño final de la alternativa de dedo 2	36
Ilustración 46. Explosión de la alternativa de dedo 2	37
Ilustración 47. Diseño final de la alternativa de dedo 3	37
Ilustración 48. Base final de la garra	38
Ilustración 49. Tope de la base.....	38
Ilustración 50. Garra final (alternativa 2)	39
Ilustración 51. Garra final (alternativa 3)	39
Ilustración 52. Prototipo final	39
Ilustración 53. Ventosa de sujeción por vacío	40

Ilustración 54. Ventosa modular del catálogo de Festo	41
Ilustración 55. Sistema de agarre universal	41
Ilustración 56. Fases de agarre del universal	42
Ilustración 57. Agarres del universal	42
Ilustración 58. Objetos para la evaluación	43
Ilustración 59. Fases del experimento para varios objetos.....	44
Ilustración 60. Prototipo sistema de agarre universal.....	44
Ilustración 61. Universal cogiendo la pieza pequeña	47
Ilustración 62. Garra final con accionamiento.....	48
Ilustración 63. Combinación del sistema universal y la garra mecánica	49

Índice de tablas

Tabla 1. Listado de ideas.....	24
Tabla 2. Sistema de transmisión del movimiento	24
Tabla 3. Sistema de retorno de las falanges	25
Tabla 4. Método de adaptación de los dedos al objeto	25
Tabla 5. Motores	26
Tabla 6. Número de dedos	26
Tabla 7. Objetos para realizar la evaluación	43
Tabla 8. Eficacia de las garras	47

1. INTRODUCCIÓN



En el campo de la robótica, la aparición de nuevos materiales y métodos de fabricación ha facilitado que haya un gran avance en lo referente al diseño de sistemas de agarre para realizar tareas de agarre y manipulación de objetos [1]-[11]. La tarea básica de estos sistemas es, como se ha dicho antes, coger y manipular objetos. El agarre tiene que ser lo suficientemente robusto para que el objeto no resbale y falle, pero a su vez no debe ser tan fuerte que rompa o deteriore el objeto que se está cogiendo.

La presente propuesta de trabajo de fin de máster se encuadra en el problema de la automatización de la operación de recogida —o picking— de artículos en almacenes de empresas de venta online. Más concretamente, tomaremos como modelo la empresa Amazon.com, que aprovecha los últimos avances tecnológicos y recientemente ha incorporado los robots móviles de Kiva Systems (Ilustración 1) a sus almacenes evitando que sus empleados —o pickers— tengan que caminar muchas millas al día en sus almacenes tradicionales (Ilustración 2). Aun así, la recogida de artículos de los estantes por un robot sigue siendo un reto difícil en entornos no estructurados. En la actualidad, se puede afirmar que el picking dista mucho de ser un proceso automatizado comercialmente viable.



Ilustración 1. Kiva Systems



Ilustración 2. Almacén de Amazon

Se trata, pues, de que un sistema con un brazo robótico seleccione visualmente, entre los objetos presentes en un estante de inventario, aquellos que forman parte de un pedido, los coja y los deposite en una cesta para su posterior empaquetado y envío al cliente.

En concreto el trabajo se centrará en el diseño del sistema de agarre que utilizará el robot para realizar las operaciones de recogida y depósito de artículos en las estanterías de productos para diversos servicios.

La empresa Amazon propone el Amazon Robotic Challenge (ARC) [12]. Este concurso es de interés debido a que se centra en pruebas donde hay que manipular objetos. Consta de tres fases. En la primera hay que transportar objetos de una estantería a una serie de cajas, en la siguiente hay que realizar la operación contraria, y la última prueba consiste en combinar las dos anteriores de manera consecutiva. El equipo ganador es el que consiga mover el número máximo de objetos en el mínimo tiempo.

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS



2.1. Hipótesis

La hipótesis de este trabajo de investigación es: “Diseño de garras mecánicas que puedan tener un alto porcentaje de éxito a la hora de coger diferentes objetos”.

Esta hipótesis se contrastará mediante una serie de experimentos donde, una vez se hayan diseñado varias alternativas de garras mecánicas, se compararán con otros métodos de agarre cogiendo varios objetos. Con esto se conseguirá calcular su índice de éxito y se podrán comparar con el resto de sistemas disponibles.

2.2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es conseguir el diseño y posterior selección de la mejor garra, o una combinación de ellas, elaborando el agarre más idóneo posible para una serie de objetos desconocidos.

Para lograr este objetivo se seguirán una serie de pasos. Estos nos ayudarán a la hora de realizar el diseño y de evaluarlo para constatar si hay rango de mejoras o si en futuras investigaciones se podría seguir tratando el tema.

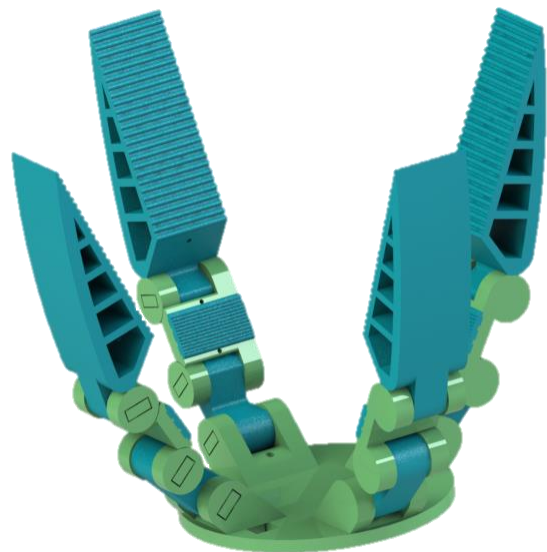
Los pasos son:

- Realizar un estado del arte para observar cómo está el tema en la actualidad.
- Estipular especificaciones de diseño para servir de guía principal.
- Realizar bocetos para conseguir una idea conceptual de la garra.
- Modelar en un software 3D las ideas de los bocetos.
- Fabricar los modelos de forma física.
- Realizar experimentos para comprobar su efectividad.

Otros objetivos secundarios serían:

1. Diseñar y fabricar varios prototipos de sistemas de agarre, con los cuales se puedan realizar pruebas para coger diversos objetos.
2. Evaluar el tipo de objetos que se pueden manipular con cada garra. Con este objetivo conseguiremos en un futuro poder colocar varios sistemas en un robot y que este pueda seleccionar el óptimo dependiendo del objeto a agarrar.
3. Realizar una comparativa entre garras, señalando sus características y factores relevantes. Para conocer sus puntos fuertes y débiles y mejorarlos en futuras investigaciones.

3. METODOLOGÍA



En la parte de metodologías se expondrán todos los recursos que se han utilizado para conseguir el diseño de la garra mecánica y su posterior evaluación.

Primero se estudiará cuál es el estado de la investigación en lo que se refiere a garras, seguidamente se realizará el proceso de diseño de la garra mecánica y finalmente se describirán los experimentos a realizar.

3.1. Estado del arte

En el estado del arte se revisa la situación del tema a investigar en la actualidad.

Para realizar el estado del arte se consultarán dos fuentes de información distintas, los artículos científicos relacionados con el tema y los modelos que existen actualmente en el mercado de garras robóticas.

La razón de consultar varios tipos de fuentes en lugar de centrarnos en una sola es la diversidad que hay actualmente tanto en el mercado como en las investigaciones. Por lo cual, centrarnos solamente en un campo dejando el otro sin investigar significaría desterrar opciones igualmente válidas.

3.1.1. Síntesis de artículos científicos

De todos los artículos científicos consultados, relacionados con el ámbito de las garras robóticas se han escogido aquellos que puedan tener relevancia con nuestro proyecto y resumido las publicaciones escogidas junto con la razón de su elección y algunas características de las mismas.

Para organizar los artículos y poder realizar una mejor síntesis se utilizará el software Mendeley, esta aplicación permite gestionar y compartir referencias bibliográficas y documentos de investigación, encontrar nuevas referencias, documentos y colaborar en línea.

K. Telegenov et al.

El artículo [13] presenta el diseño de una garra mecánica de 3 dedos actuada desde un único motor. La garra ha sido diseñada para ser impresa en 3D y posteriormente se han subido tanto los archivos como el programa que utiliza en internet para que cualquier investigador pueda fabricarla y realizar experimentos con ella. En la Ilustración 3 se puede observar tanto la mano elaborada mediante un software de diseño en 3D y como la posterior impresión del mismo prototipo gracias a la ayuda de una máquina de impresión 3D.



Ilustración 3. Garra en diseño virtual (izq.) y prototipo en 3D (der.)

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE GARRAS MECÁNICAS

Para el diseño del dedo se sigue el esquema representado en la Ilustración 4. Esta configuración consigue que el dedo este subactuado, lo que quiere decir tiene 2 grados de libertad (gdl), uno de ellos activado por un motor y otro con un elemento pasivo (muelle). El motor es el que proporciona el movimiento principal de flexión/extensión de los dedos mientras que el muelle proporciona un movimiento secundario de adaptación al objeto a agarrar.

Cuando se acciona el movimiento de flexión de los dedos estos se mueven como un único sólido, gracias a la fuerza del muelle, hasta que la primera falange entra en contacto con un objeto, entonces el motor sigue transmitiendo momento venciendo la fuerza del muelle y la siguiente falange empieza a moverse hasta realizar un agarre completo.

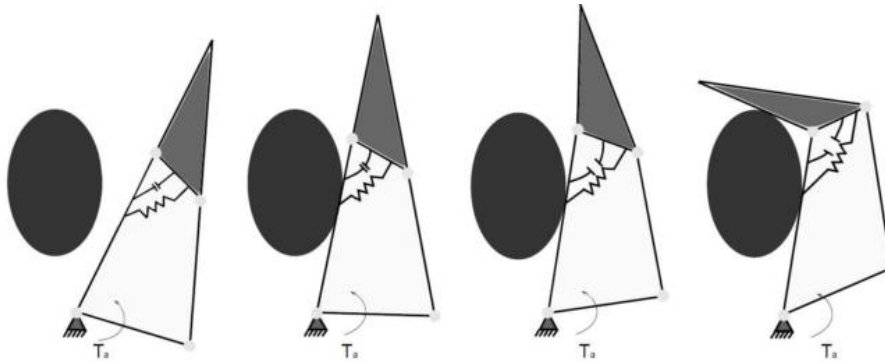


Ilustración 4. Esquema simplificado de los dedos

Este artículo resulta interesante debido al diseño de dedo que en él se expone, ya que con un motor se consiguen mover 2 GDLs. Esto deriva en que son necesarios menos motores u otros métodos de actuación para controlar los dedos. Consiguiendo aligerar notablemente el peso de la mano al retirar motores.

Otra característica es que el movimiento de los 4 dedos esta accionado solamente por un único servomotor, para ello utiliza un tornillo sinfín y varios engranajes. Estos se pueden ajustar para variar la velocidad angular y el momento transmitido por los dedos. El mecanismo reduce el peso de la mano ya que solo es necesario un motor para realizar el movimiento de los dedos. El mecanismo puede observarse en la Ilustración 5 para uno de los dedos.

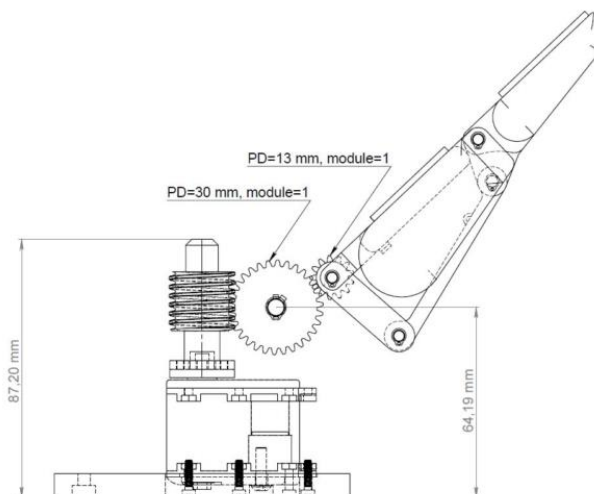


Ilustración 5. Mecanismo del dedo

A. M. Dollar et al.

En el siguiente artículo [14] se describe la SDM Hand, una garra mecánica de 4 dedos. Los dedos están actuados desde un único servomotor. La transmisión del movimiento desde el actuador hasta los dedos se realiza mediante tendones, que permiten actuar sobre varios GDL con un mismo actuador, generando un dedo subactuado.

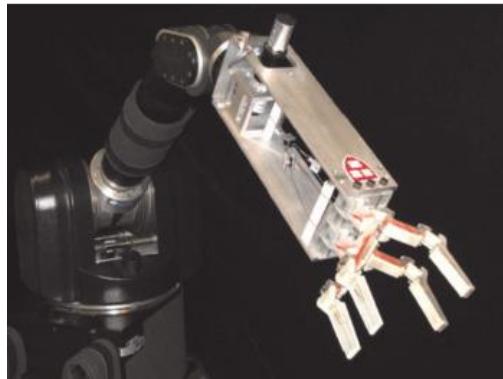


Ilustración 6. SDM Hand sobre un brazo robótico

El termino SDM procede de ‘Shape Deposition Manufacturing’. Método de fabricación en el cual las piezas se fabrican y ensamblan simultáneamente [15].

Los dedos tienen varias falanges hechas de un material más rígido y resistente, que será el encargado de resistir los esfuerzos que se derivan del agarre. Cada una de las falanges tiene en su palma una capa de un material más blando y con mayor rugosidad, encargado de adaptarse al objeto y evitar deslizamientos y caídas debidas a falta de rozamiento. Entre las falanges hay unas piezas de unión, fabricadas de un material viscoelástico, que proporciona la movilidad de los dedos y una fuerza pasiva que consigue que los dedos vuelvan a su posición de extensión cuando no se aplican fuerzas externas.

En la Ilustración 7 se pueden apreciar las partes de un dedo y en la Ilustración 8 el esquema mecánico simplificado de los dedos.

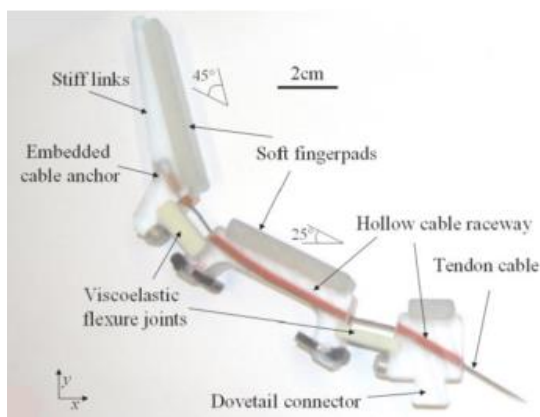


Ilustración 7. Partes del dedo

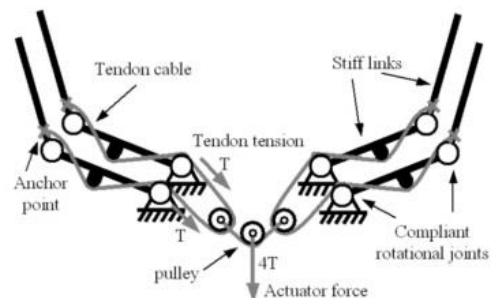


Ilustración 8. Esquema simplificado de los dedos

Este artículo resulta interesante debido al hecho de que con una sola actuación se puede conseguir el movimiento de los cuatro dedos. También gracias a la configuración de los dedos y los métodos de transmisión la garra es adaptable y no necesita un control de posición o fuerza muy rigurosos. Esta garra puede conseguir agarrar una gran variedad de objetos de diferentes formas y tamaños, lo que resulta muy interesante de cara al diseño final.

T. Nuchkrua et al.

En el siguiente artículo [16] se estudia el uso de músculos neumáticos artificiales (MNA) para la activación de los dedos de una garra mecánica. Los MNA son una manera ligera y manejable de simular el comportamiento de los músculos humanos. Como se puede ver en la Ilustración 9, los MNA consisten en un material flexible que se deforma con la entrada de aire o un fluido a presión, incrementando su volumen lo que reduce su longitud y genera una fuerza en la dirección de la contracción.



Ilustración 9. Músculo neumático artificial

Para comprobar funcionamiento del MNA se diseña un dedo que tiene tres falanges, igual que el dedo humano. Para activarlo se utilizan dos MNAs unidos a cables que proporcionan dos grados de libertad al dedo, los movimientos son el de la rotación de la base del dedo y el de flexión/extensión de las falanges.

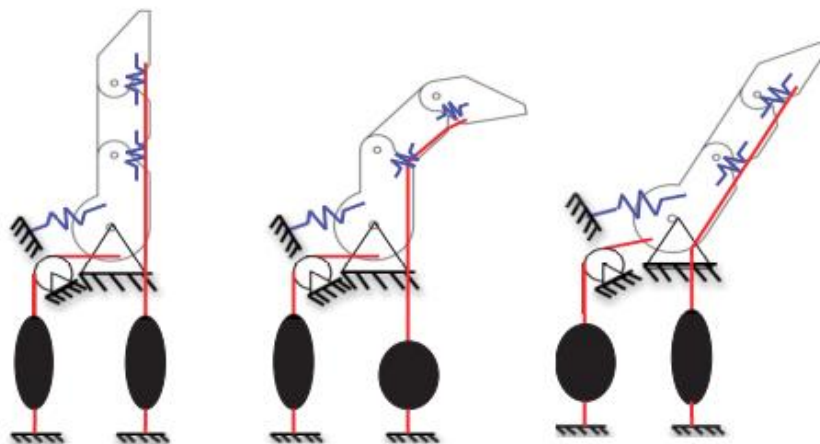


Ilustración 10. Movimientos del dedo

En la Ilustración 10 se muestra como varía la posición del dedo dependiendo de si activamos un MNA o el otro. Con resortes se consigue que el dedo vuelva a su posición de reposo o inicial.

La razón por la cual se ha escogido este artículo es la utilización de los músculos neumáticos artificiales como método de activación del movimiento, ya que en la mayoría de garras mecánicas se utilizan motores eléctricos de varios tipos. Con los MNA se introduce un método poco convencional de activación mediante aire o fluido a presión.

D. Rus et al.

Este artículo [17] no trata sobre el diseño de garras robóticas específicamente. Sino que explica el diseño de 'soft robots', robots blandos haciendo una traducción literal al español. Este término engloba a los robots que están contruidos con materiales con un módulo de Young entre 10^4 y 10^9 Pa, mientras que los robots convencionales de materiales tales como hierro o acero están sobre el orden de 10^9 y 10^{12} Pa.

La construcción de robots con materiales inspirados en sistemas biológicos o blandos consigue simplificar tareas como el agarre en comparación con los robots rígidos, además proporciona un mayor potencial en la interacción con humanos.

Los robots blandos son capaces de soportar deformaciones continuas, suelen estar contruidos mediante cuerpos modulares de segmentos de caucho o un material similar, también existen otros hechos con materiales de diferente rigidez dependiendo de la función o movimiento que se les quiera dar. En la Ilustración 11 se puede observar un ejemplo de robot blando.

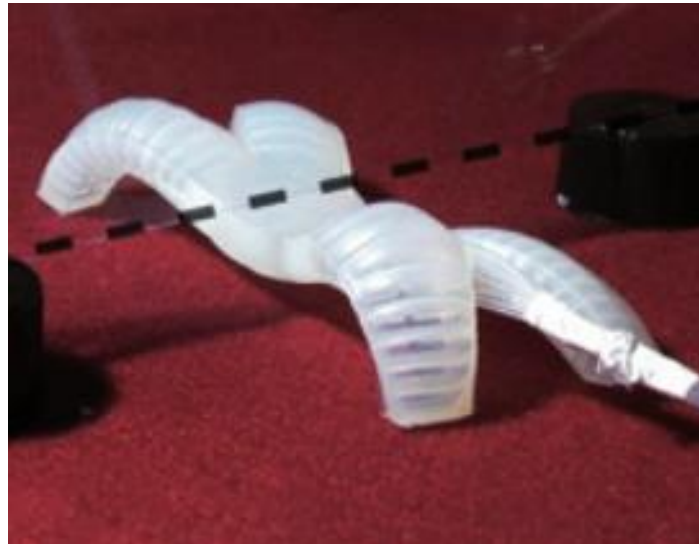


Ilustración 11. Robot blando

En el caso de los actuadores de este tipo de robots suelen ser:

1. Tendones de longitud variable, en forma de cables o actuadores con memoria de forma.
2. Actuadores neumáticos, usados para inflar cavidades de materiales blandos y causar deformaciones.
3. Actuadores de fluido elastomérico. Estos se componen de capas de elastómeros sintéticos que se activan a través de la expansión de canales incrustados mediante fluidos a presión, como agua o aire. Estos actúan de una manera similar a los músculos.

En la Ilustración 12, se pueden observar los diferentes tipos de actuadores que se han explicado anteriormente.

Los robots blandos cuentan con la característica de que pueden tener un control menos preciso, debido a que su diseño y sus materiales los hacen altamente adaptables y pueden llegar a corregir los problemas de un control más pobre de manera pasiva.

En general este artículo es interesante por los diversos factores que se han explicado, pero en especial porque presenta una nueva manera de diseñar robots y nuevos materiales que no son los utilizados frecuentemente, así como la manera en la que los componentes robóticos son actuados.

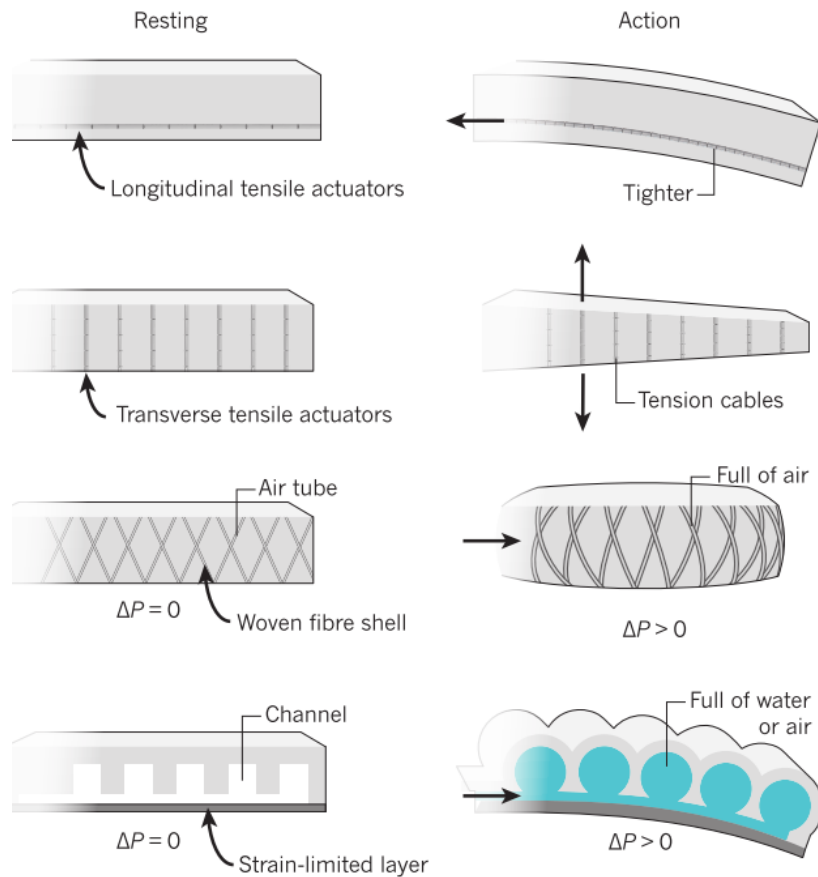


Ilustración 12. Tipos de actuadores

Conclusiones de los artículos científicos

Se han resumido los aspectos más importantes de los artículos considerados de mayor relevancia a la hora de realizar el diseño de la garra que se desarrollará en el proyecto. De las publicaciones se pueden extraer muchos datos interesantes, pero para el trabajo se tendrán en cuenta sobre todo los siguientes:

- Diseño de falanges adaptables que puedan agarrar una gran variedad de objetos.
- Utilización de materiales blandos que mejoren las propiedades de la garra.
- Reducción de los motores que actúen sobre los dedos o sustitución por otros sistemas de actuación, tanto mecánicos como neumáticos.
- Diseñar el sistema de transmisión para que con una sola actuación se consigan mover más de un grado de libertad, ya sea ayudado con resortes o con la elasticidad del mismo material de fabricación.

3.1.2. Análisis de garras mecánicas comerciales

En la actualidad no solo existen garras mecánicas en el ámbito académico, sino que algunos de los avances se centran en el mundo industrial y las compañías privadas. Por eso también hay que estudiar y tener en cuenta las garras que generan las empresas.

Festo FinGripper

Festo [18] es una empresa que se encarga de proveer elementos de automatización, especialmente en el ámbito de la neumática e hidráulica. Posee un departamento de investigación para el diseño de nuevos aparatos de inspiración biológica, entre sus aportaciones destacan el asistente biónico para la manipulación (Ilustración 13), las BionicANTs (Ilustración 14) y el SmartBird (Ilustración 15)

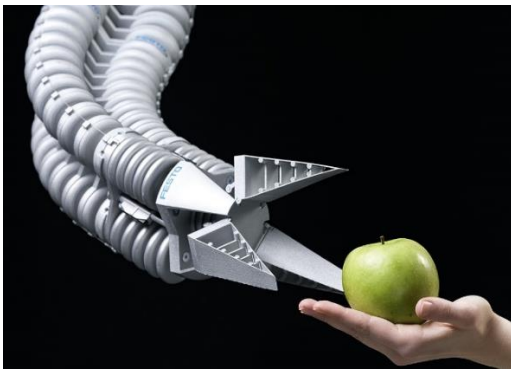


Ilustración 13. Asistente biónico para la manipulación



Ilustración 14. BionicANTs



Ilustración 15. SmartBird

Una de sus aportaciones de mayor interés de cara al proyecto es una garra mecánica basada en las aletas de un pez, que es básicamente un dedo triangular con varios nervios fabricado con un material elástico que permite la adaptación del dedo a la forma del objeto a agarrar, en la Ilustración 16 se puede observar el diseño del dedo de la garra de Festo.



Ilustración 16. FinGripper

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE GARRAS MECÁNICAS

Estos dedos son extremadamente versátiles ya que con un diseño sencillo se consigue un dedo que puede coger la mayoría de objetos, este dedo también es más ligero que los que se encuentran en el mercado.

Además del diseño de los dedos también es importante el diseño de la base. En la base pueden acoplarse de 3 a 6 dedos, aunque la configuración más habitual es la que lleva tres dedos como la que se ve en la Ilustración 17.



Ilustración 17. Configuración 3 dedos del FinGripper

Dos de las bases de los dedos pueden moverse para cambiar la posición de estos y pueden variar de una posición circular a una de oposición de 2 dedos a 1, tal y como se puede apreciar en la Ilustración 18.

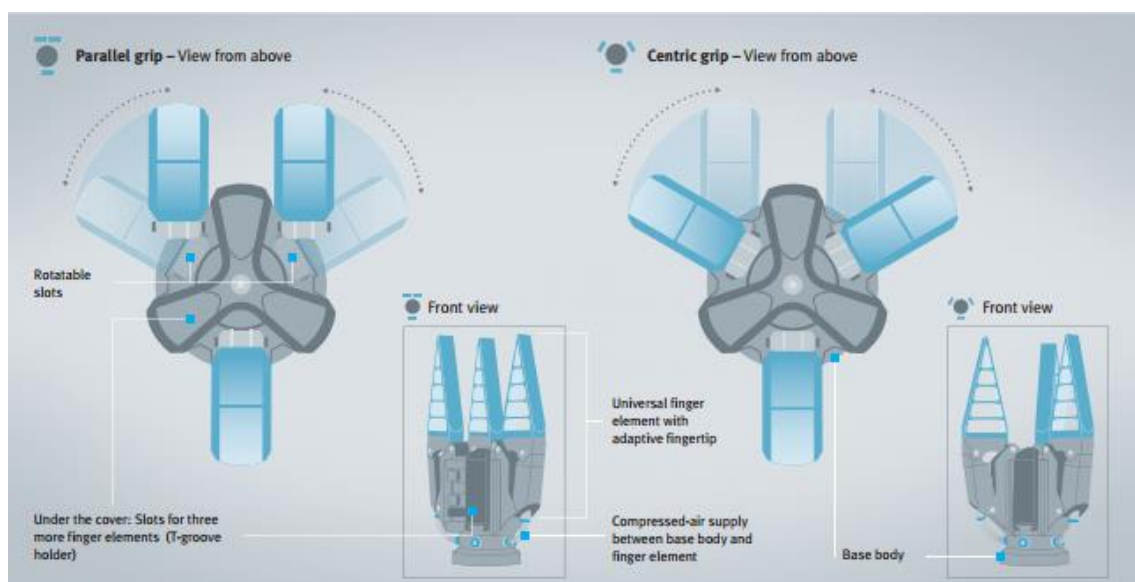


Ilustración 18. Configuraciones de la base del FinGripper

La razón por la que se ha investigado esta garra es tanto por el diseño y la apropiada elección de los materiales de los dedos como por el diseño de la base, ya que se consigue que se puedan coger una gran cantidad de objetos con un diseño sencillo.

Barrett Hand

La BarrettHand o mano de Barrett es una garra mecánica diseñada por Barrett Industries [19]. Es una mano programable de 3 dedos, cada uno de los cuales cuenta con su propio motor para poder manipularlo libremente.



Ilustración 19. Barrett Hand

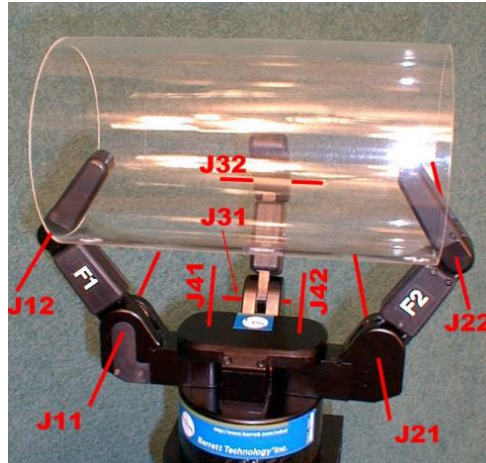


Ilustración 20. Ejes de movimiento de la Barrett Hand

La garra tiene ocho ejes de rotación de los dedos, que pueden apreciarse en la Ilustración 20. Los ejes J_{11} , J_{21} , J_{31} y (J_{41} y J_{42}) se controlan mediante un motor dedicado a ello, mientras que los ejes J_{41} y J_{42} comparten el mismo motor. Los ejes J_{12} , J_{22} y J_{32} no poseen motor, si no que están subactuados mediante un mecanismo. Los motores que controlan la mano son servomotores de corriente continua sin escobillas. El peso total de la garra es de 1.18kg.

Para medir el estado de la mano y del agarre, la mano cuenta con siete sensores que recogen señales en forma de un vector de contacto, situados uno en cada falange y el último en la base. Los dedos poseen un mecanismo de transmisión, que es el que proporciona el movimiento de las falanges. En la base de los dedos hay un mecanismo como el de la Ilustración 21, que se encarga de transmitir el movimiento entre las falanges.

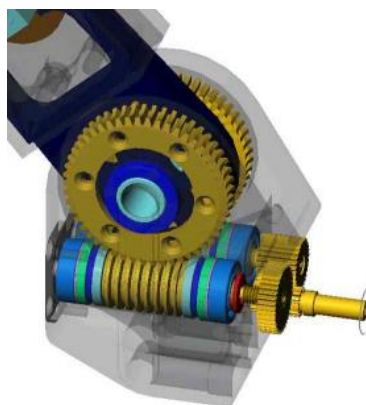


Ilustración 21. Mecanismo de transmisión por par

El mecanismo funciona con un muelle de compresión, que primero mueve la primera falange hasta que esta hace contacto con el objeto y llega a un par límite, entonces el mecanismo bloquea el desplazamiento de la primera falange y suelta el de la segunda hasta que esta también consigue el agarre, tal y como se aprecia en la Ilustración 22.

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE GARRAS MECÁNICAS

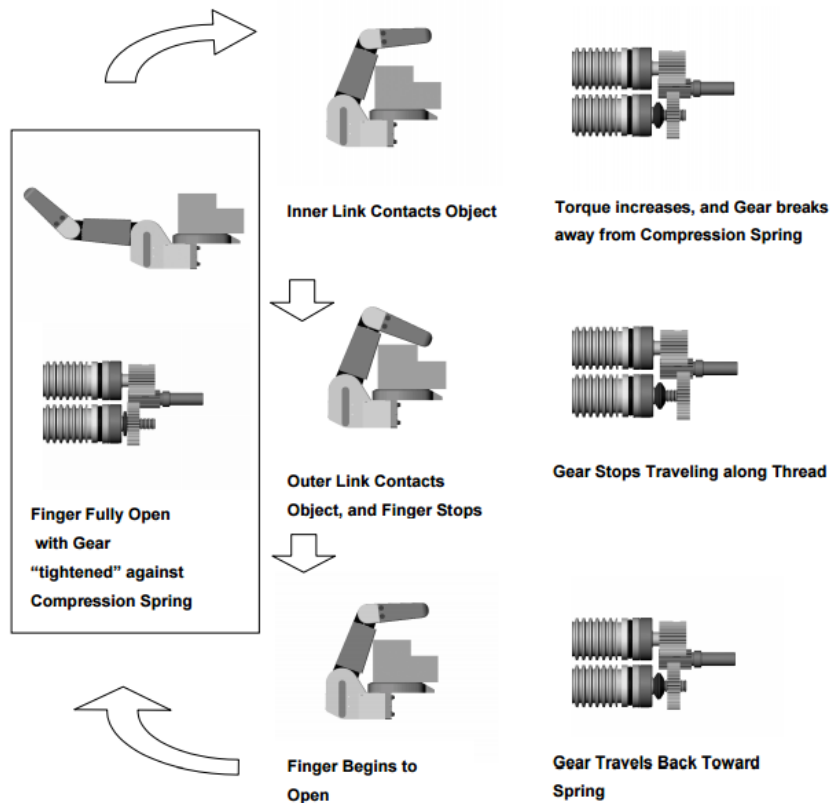


Ilustración 22. Movimiento de los dedos en la Barret Hand

La mano también posee una base que proporciona a dos de los dedos un movimiento de 180° alrededor de la misma, pudiendo así la mano desplazar estos dedos en casi la totalidad de la misma, dando pie a una mayor cantidad de agarres a realizar y una mayor diversidad de objetos que es capaz de manipular. En la Ilustración 23 se puede ver el movimiento de los dedos alrededor de la base.

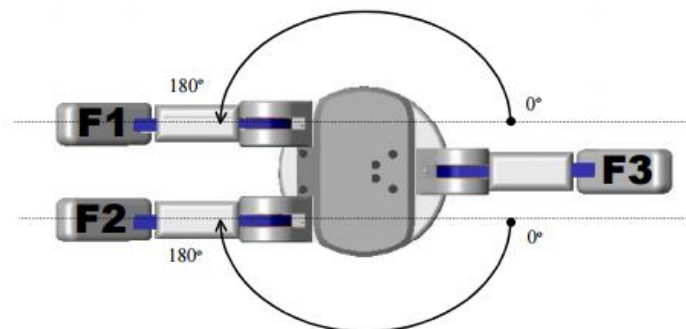


Ilustración 23. Movimiento de rotación de los dedos en la Barrett Hand

Esta mano se ha elegido sobre todo gracias a su gran versatilidad, tanto a la hora de agarrar un objeto gracias al movimiento adaptable de las falanges como el amplio desplazamiento angular que poseen los dedos con respecto a la base, lo que consigue que esta mano sea de gran utilidad a la hora de recopilar datos para un futuro diseño

Adaptative Robot Gripper

La empresa Robotiq [20] ha creado un par de garras, que poseen dedos con transmisión mecánica que permite un agarre adaptable dependiendo del objeto. Ambas manos pueden controlarse de tres maneras, mediante fuerza, velocidad o posición.

Garra de dos dedos

La garra de dos dedos que ha diseñado con dos falanges y un mecanismo de apoyo que permite que se realice un agarre adaptable al objeto. Tienen dos modelos el 85 y el 140, lo cual indica el diámetro máximo del objeto que puede agarrar.



Ilustración 24. Garra Robotiq de 2 dedos

Garra de tres dedos

Esta garra posee un aspecto más parecido a una mano, el mecanismo de apoyo que había en el modelo de dos dedos se ha hecho más pequeño. Lo que le da un mejor aspecto. Además se le ha añadido un grado de libertad extra, ya que ahora en el lado en que hay dos dedos, las bases de estos se pueden mover para poder agarrar objetos con mayor versatilidad, se puede mover de 0 a 16 grados



Ilustración 25. Garra Robotiq de tres dedos

La razón de la elección de estas manos es el sistema de mecanismos de apoyo que poseen para poder realizar el movimiento de agarre. De manera que se adapte a la forma del objeto. Así como también la base de la mano de 3 dedos, la cual consigue un grado de libertad extra para dos dedos en forma de rotación de la base de los mismos, lo que le da mayor versatilidad y movilidad.

Conclusiones de las garras comerciales

Se han estudiado varias garras mecánicas disponibles actualmente en el mercado, de ellas se han resumido los aspectos que se han considerado relevantes para el diseño futuro de nuestra garra mecánica. En general se han visto algunos aspectos comunes a todas las manos, que se tendrán en cuenta a la hora del diseño de la garra y que se indican a continuación.

- Diseño de la base o del mecanismo de las falanges de tal manera que pueda agarrar diversos objetos.
- Utilización de materiales ligeros que hagan menos pesada la mano.
- Diseño de la base que consiga dotar a los dedos de un grado de libertad extra de rotación alrededor de la misma.

Como punto en contra de las garras mecánicas es que estas poseen un elevado precio de compra, situándose en el rango de los 1000€.

3.1.3. Conclusiones del estado del arte

En los puntos anteriores se han visto las garras mecánicas tanto en el ámbito académico como en el profesional.

De la información expuesta se puede concluir que hoy en día existen una gran diversidad de garras robóticas, la mayoría, ya sea del ámbito de investigación o del comercial, intentan que su mano cumpla algunos requisitos. Estos son:

- Diseño de falanges subactuadas o con algún mecanismo que consiga mover dos grados de libertad con un solo actuador.
- Utilización de nuevos materiales o materiales elásticos que, además de aligerar el peso, consiguen algún efecto gracias a sus propiedades mecánicas.
- Conseguir, ya sea gracias al diseño o a los materiales utilizados, aligerar el peso de la garra para conseguir coger objetos de mayor peso.

3.2. Diseño de la garra mecánica

En este punto se expondrán los pasos que se han seguido para realizar el diseño y posterior fabricación de la garra. Este prototipo se utilizará para realizar pruebas para evaluar el comportamiento y la eficiencia de la garra.

3.2.1. Objetivos y especificaciones

Para que el diseño sea aceptable y válido este debe cumplir una serie de especificaciones de diseño, estas se irán desarrollando a continuación.

Objetivos

Los objetivos son los puntos que debe cumplir el diseño, estos se dividen en, restricción (R) si son de obligado cumplimiento, optimizables (O) si poseen un rango de mejora o deseo (D) si es un objetivo que no es necesario cumplir pero ayudaría.

1. Ligero (O)
2. Sencillo (O)
3. Económico (R)
4. Versátil (R)
5. Estético (D)
6. Veloz (O)
7. Eficaz (O)
8. Imprimible en 3D (R)

Especificaciones

De los objetivos se extraen las especificaciones de diseño, las cuales guiarán el proceso de creación de la garra mecánica.

- E1. Ligero(O)
 - a. Que pese lo mínimo posible, como máximo 1 kg.
- E2. Sencillo (O)
 - a. Que sea lo más fácil de fabricar
- E3. Económico (R)
 - a. El precio de los materiales debe ser menor de 800 €.
- E4. Versátil (R)
 - a. Debe tener como mínimo 3 dedos y como máximo 5 dedos.
 - b. Deben poder realizar varios tipos de agarre, como mínimo 2 diferentes.
- E5. Estético (D)
 - a. Debe ser lo más agradable posible a la vista, en un rango de 0-10.
- E6. Veloz (O)
 - a. El agarre debe ser lo más rápido posible, no debe tardar más de 2s en pasar de la posición de máxima extensión a la de mínima extensión.
- E7. Eficaz (O)
 - a. Cuando se realicen pruebas se debe conseguir que un 80% de los agarres sean exitosos.
- E8. Imprimible en 3D (R)
 - a. Las piezas, excepto los componentes electrónicos, deben de ser imprimibles con la ayuda de una impresora 3D.

3.2.2. Diseño de alternativas

En este punto se exploran diversas opciones para el diseño de la garra desde un punto de vista conceptual, para escoger la mejor entre ellas y desarrollarla posteriormente.

Listado de ideas

En la Tabla 1 se exponen algunas funciones de la garra mecánica y diversos elementos que podrían llevar a cabo dichas funciones.

Tabla 1. Listado de ideas

<i>Listado de ideas</i>	<i>Posibles soluciones</i>		
<i>Sistema de transmisión del movimiento</i>	Mecanismo	Tendón	
<i>Sistema de retorno de las falanges</i>	Mecanismo	Material elástico	Resorte
<i>Método adaptación de los dedos al objeto</i>	Mecanismo	Diseño y material del dedo	
<i>Motor de activación</i>	Servomotor	Motor Corriente Continua(CC)	Motor Paso a Paso (PAP)
<i>Motor de rotación de los dedos</i>	Servomotor	Motor CC	Motor PAP
<i>Número de dedos</i>	3	4	5

Ahora se expondrán las ideas una a una y se elegirá una mediante métodos cualitativos de elección de alternativas, específicamente el método DATUM.

Sistema de transmisión del movimiento

El sistema de transmisión del movimiento es el que se encarga de transmitir el movimiento del motor a las falanges de los dedos para que realicen el agarre.

Se evaluarán la ventaja mecánica de ambos métodos, la estética y la complejidad que representa el diseñar una transmisión mediante mecanismo o tendón.

Tabla 2. Sistema de transmisión del movimiento

<i>Posibles soluciones</i>	Ventaja mecánica	Estética	Complejidad	Total
<i>Mecanismo</i>	0	0	0	0
<i>Tendón</i>	0	+1	+1	2

En la Tabla 2 se evalúan las variables. En la ventaja mecánica empatan debido a que el tendón posee mayor ventaja mecánica para objetos pequeños, mientras que el mecanismo para objetos grandes [21]. En la estética es mejor el tendón, ya que al no requerir elementos extra no daña el diseño de la garra. En la complejidad también es mejor el tendón debido a que es más sencillo diseñar un sistema con tendón a un sistema con mecanismo.

El sistema elegido es el tendón.

Sistema de retorno de las falanges

El sistema de retorno de las falanges es el que se encarga de que las falanges vuelvan a la posición inicial una vez realizado el agarre.

Se evaluará la fuerza que se tiene que vencer por el motor de ambos métodos, la estética y la complejidad de diseño.

Tabla 3. Sistema de retorno de las falanges

<i>Posibles soluciones</i>	Fuerza a vencer	Estética	Complejidad	Total
<i>Mecanismo</i>	0	0	0	0
<i>Resorte</i>	-1	0	+1	0
<i>Material elástico</i>	-1	+1	+1	1

En la Tabla 3 se evalúan las variables. En la fuerza a vencer gana el mecanismo, ya que en el material elástico y en el resorte el motor tiene que vencer una fuerza de oposición generada por el propio material al deformarse, esta fuerza es la que luego hace volver a la posición inicial al dedo. En lo que se refiere a la estética el material elástico puede incluirse en el mismo diseño de la falange, lo que no empeora el diseño como el resorte o el mecanismo. En referencia a la complejidad, la colocación de un resorte o la utilización de un material elástico no suponen un cálculo adicional al proceso de diseño, como sí lo es el mecanismo.

El sistema elegido es el material elástico, aunque se tendrán en cuenta las otras opciones al no haber tanta separación de puntuación.

Método de adaptación de los dedos al objeto

El método de adaptación de los dedos es el que se encarga de que las falanges realicen un agarre adaptable sin para ello necesitar un sistema de actuación adicional.

Las variables que se evalúan son el contacto que las falanges realizan con el objeto, la estética del dedo y la complejidad del diseño

Tabla 4. Método de adaptación de los dedos al objeto

<i>Posibles soluciones</i>	Contacto	Estética	Complejidad	Total
<i>Mecanismo</i>	0	0	0	0
<i>Material / Diseño</i>	+1	+1	0	2

En la Tabla 4 se evalúan las variables. En el contacto gana el material, ya que un elemento deformable consigue abarcar mayor cantidad de superficie del objeto que un mecanismo, donde la parte que hace contacto es menor. En la estética, como en los casos anteriores al no añadir un mecanismo adicional es mejor la otra opción. Y en la complejidad ambos son igual de complejos al tener que diseñar tanto el mecanismo como la forma del dedo.

El sistema elegido es el material y diseño de las falanges.

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE GARRAS MECÁNICAS

Motores

Ambos motores, tanto el de actuación, que es el que se encarga del movimiento de los dedos, como el que se encargará del posible movimiento de rotación de los dedos serán del mismo tipo.

Las variables a evaluar serán la potencia/par que es capaz de suministrar, el peso/tamaño y la complejidad de controlar a la hora de realizar el programa de control.

Tabla 5. Motores

Posibles soluciones	Potencia	Peso/tamaño	Complejidad	Total
<i>Servomotor</i>	0	0	0	0
<i>Motor CC</i>	-1	+1	-1	-1
<i>Motor PAP</i>	+1	-1	-1	-1

En la Tabla 5 se evalúan las variables. En la potencia suministrada es mejor el motor PAP, en el peso/tamaño el motor de CC y en la complejidad a la hora de programar el servomotor, ya que ofrece una mayor cantidad de tipos de control (posición, velocidad, par) que el resto, sin requerir elementos extra.

El motor elegido es el servomotor, aunque se tendrán en cuenta las otras opciones al no haber excesiva diferencia de puntuación.

Número de dedos

El número de dedos también se evaluará, entre 3 y 5, para estar dentro de las especificaciones

Las variables a evaluar serán la versatilidad, el peso, y la complejidad de controlar los dedos.

Tabla 6. Número de dedos

Posibles soluciones	Versatilidad	Peso	Complejidad	Total
<i>3 dedos</i>	-1	+1	+1	1
<i>4 dedos</i>	0	0	0	0
<i>5 dedos</i>	+1	-1	-1	-1

En la Tabla 6 se evalúan las variables. En la versatilidad es mejor cuantos más dedos se tengan y el caso del peso y la complejidad del control es mejor cuantos menos dedos se tengan.

El número de dedos elegidos son 3, aunque se tendrán en cuenta las otras opciones al no haber mucha diferencia de puntuación.

Bocetos de alternativas de dedo

En el siguiente punto se mostrarán algunos bocetos de posibles alternativas para el diseño de los dedos de la garra mecánica. Para todas las alternativas se utilizará el mismo código de colores para describir los materiales. El color gris será el tendón metálico, el verde las piezas rígidas, el azul las piezas flexibles o elásticas y de color morado la representación simplificada de las bases.

Alternativa de dedo 1

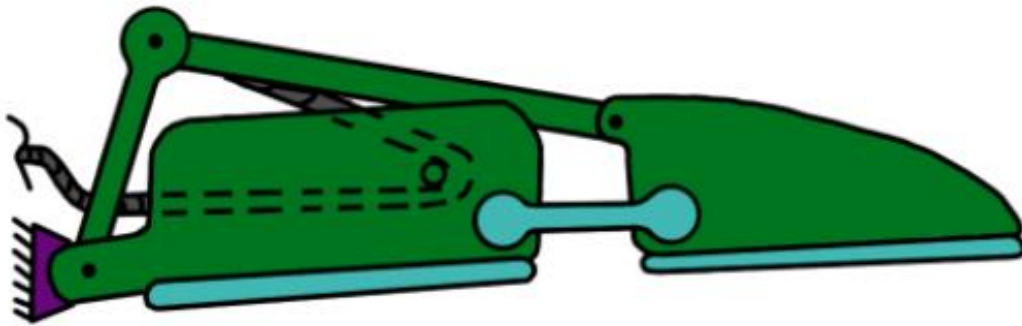


Ilustración 26. Alternativa de dedo 1

En la Ilustración 26 se puede ver el boceto para la alternativa 1 (A1) del diseño del dedo de la garra mecánica, que consta de dos falanges. La segunda falange está subactuada gracias a un mecanismo externo, como el visto en [13], que consigue que al principio el dedo se mueva como una única pieza y al haber contacto de la primera falange con el objeto se mueva sólo la segunda falange. Gracias a la pieza de material elástico que hay entre las falanges puede volver a la posición inicial.

Alternativa de dedo 2

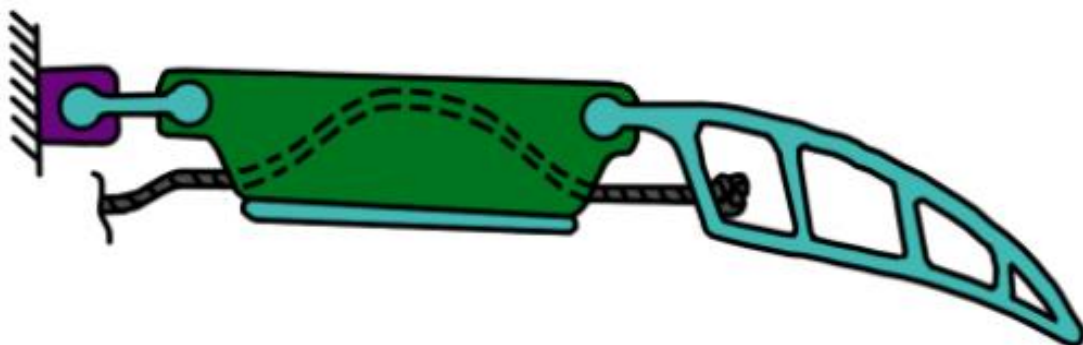


Ilustración 27. Alternativa de dedo 2

En la Ilustración 27 se puede ver el boceto de la segunda alternativa (A2) para el diseño del dedo. Este dedo tiene dos falanges, una de ellas fabricada en material rígido para darle mayor estabilidad al dedo y otra de material flexible con diseño FinRay Effect para que la mano goce de mayor adaptabilidad. Para volver a la posición inicial igual que la alternativa anterior se ayuda de la elasticidad del material.

Alternativa de dedo 3

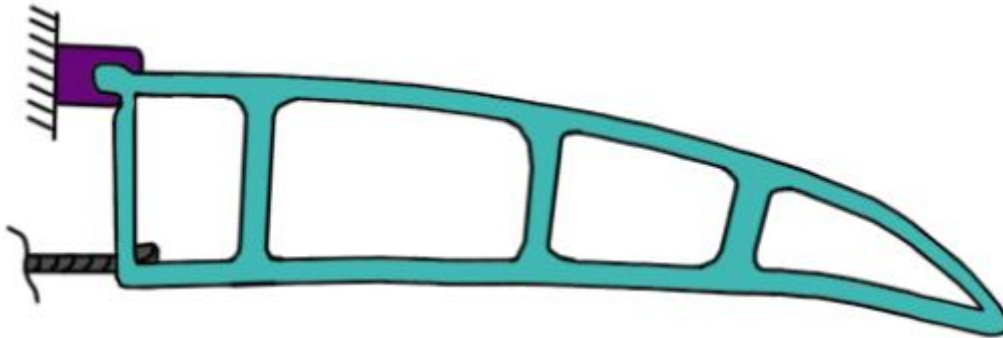


Ilustración 28. Alternativa de dedo 3

En la Ilustración 28 se puede observar la tercera y última de las alternativas de dedo (A3) para la garra mecánica. Esta es una única falange completamente fabricada en un material elástico y basada en el diseño FinRay Effect. Este dedo al ser fabricado en su totalidad de material elástico es altamente adaptable al objeto y la más sencilla de fabricar. Para volver a su estado inicial se basa en la resiliencia del material.

Evaluación de los bocetos

Para saber cuál de los diseños conceptuales de dedos se utilizaran en un futuro se hará servir el método cuantitativo de selección multicriterio.

Ponderación de especificaciones

El primer paso consiste puntuar las especificaciones optimizables que se han explicado en el punto anterior (E1, E2, E7 y E8) en cada uno de los objetos, que servirán para valorar los bocetos. La ponderación se realizará mediante el método cualitativo de suma de ordenadas.

En este método se elabora una matriz con los diseños y las especificaciones en filas y columnas. El procedimiento a seguir consiste en, para cada especificación, ordenar las alternativas de diseño según lo bien que puntúa la especificación, de manera que la alternativa que mejor cumple es la 1a, la siguiente la 2a y así sucesivamente. Esto se hace consultando la tabla de puntuaciones.

Al completar la matriz, se calcula la suma de los ordinales para cada alternativa, siendo aquella con menor valor en la suma, la mejor.

	A1	A2	A3
E1	3	2	1
E2	3	2	1
E7	3	1	2
E8	3	1	2
SUMA	12	6	6

Las puntuaciones para E7 y E8 se basan en un valor subjetivo. En el cual se estima la posible puntuación teniendo en cuenta la experiencia con este tipo de sistemas.

Tanto la alternativa 2 como la 3 están empatadas en primer lugar, así que se continuará con el diseño de ambas y se harán pruebas posteriores para determinar cuál es la mejor. La alternativa 1 se descarta debido a su puntuación.

Diseño en preliminar de las alternativas

Para poder realizar pruebas con la mano primero se deberán fabricar unos prototipos, y para ello hay que realizar diseños en 3D mediante el software SolidWorks®.

En los siguientes puntos se enseñarán los modelos 3D que se han diseñado para cada una de las alternativas propuestas. En las imágenes se mantiene el código de colores que se utilizaba en el punto anterior.

Alternativa de dedo 2

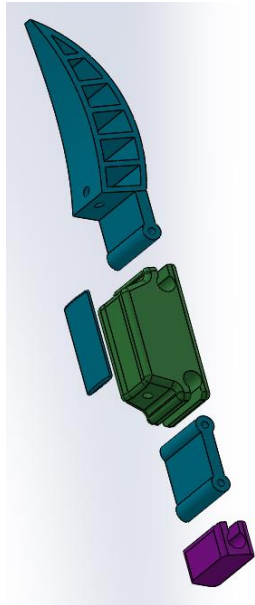


Ilustración 29. Piezas de la alternativa 2



Ilustración 30. Render de la alternativa 2

Alternativa de dedo 3

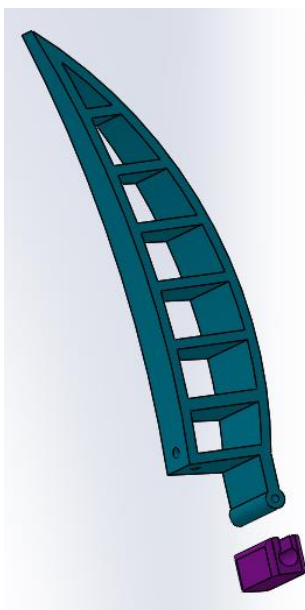


Ilustración 31. Piezas de la alternativa 3



Ilustración 32. Render de la alternativa 3

Diseño preliminar de la base

Base para 4 dedos

El siguiente paso es el diseño de la base donde irán colocados los dedos. Esta base servirá tanto de apoyo para los dedos y unión con el brazo robótico como para accionar el movimiento de flexión/extensión y rotación de los dedos.

La base realizará un movimiento de rotación de los dedos alrededor de la misma como el visto en la mano de Barrett, debido a que es el que menos elementos necesita y el más sencillo de diseñar, dos de las especificaciones más importantes en el diseño de la mano.

La garra contará con cuatro dedos, dos de ellos fijos a cada lado de la mano y los otros dos rotarán alrededor de la base de manera simétrica, uno enfrente del otro, así el movimiento de rotación puede hacerse solo con un servomotor.

La tapa de la base contiene un par de acoples enfrentados en los extremos de la misma, en los cuales se albergan dos dedos que estarán fijos en la misma. También posee unos huecos en la misma para que se puedan colocar dos soportes (Ilustración 34) para los otros dos dedos y la deslizadera que controlará el movimiento de los mismos. En la Ilustración 33 se puede observar el aspecto final de la tapa.

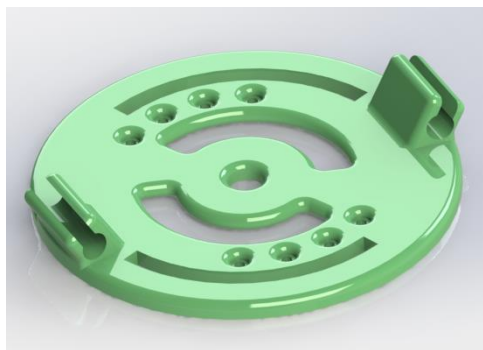


Ilustración 33. Tapa de la base de 4 dedos

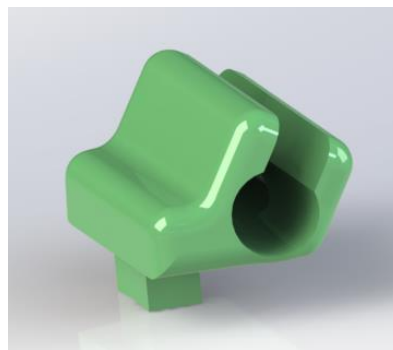


Ilustración 34. Soportes de la base de 4 dedos

Para realizar el movimiento de rotación de los dedos con respecto a la base se modela una deslizadera que irá unida a un servomotor y a su vez a los soportes móviles de los dedos que son capaces de oponerse. El diseño final de la deslizadera queda como se puede ver en la Ilustración 35.



Ilustración 35. Deslizadera de la base de 4 dedos

La base se ha diseñado para poder acoplarse en el brazo del robot y a su vez poder acoplar en ella tanto el motor que acciona los cables como el que mueve la deslizadera. También se han hecho unos pilares que la unen con la tapa a través de unos tornillos. La Ilustración 36 muestra el diseño de la base.

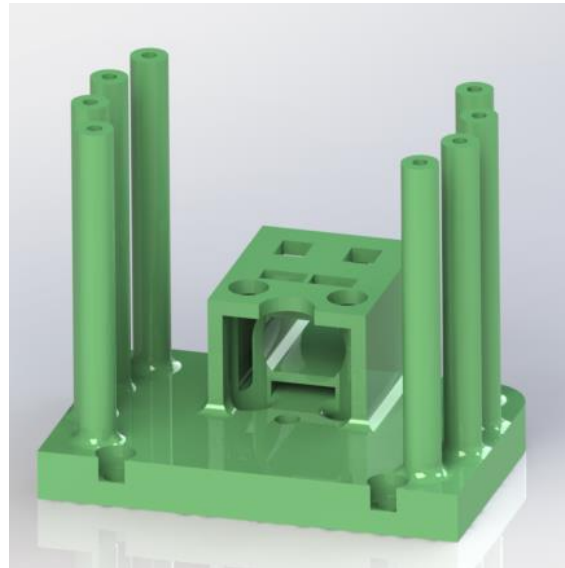


Ilustración 36. Unión con el brazo robótico de la base de 4 dedos

El último paso es ensamblar todas las piezas para formar la base de 4 dedos con 2 de ellos móviles, como se aprecia en la Ilustración 37.

En el ensamblaje también se incluye el diseño de ambos motores. Un servomotor en caso del movimiento de rotación y un motor CC para el del movimiento de los dedos.



Ilustración 37. Base de 4 dedos

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE GARRAS MECÁNICAS

Base para 3 dedos

Como alternativa a la base para 4 dedos se diseña una más sencilla pensada solo para albergar 3 dedos. La alternativa consiste en una tapa donde se colocaran los dedos de manera similar a la vista anteriormente.

La tapa será de un diámetro menor y no contará con el movimiento de rotación de los dedos. Esto es porque se presenta como una alternativa más sencilla. Como consecuencia no harán falta piezas como los soportes, la deslizadera o el servomotor que la acciona.

Así pues, la tapa consiste en una pieza circular con unos apoyos para los dedos y unos agujeros para poder pasar los cables de accionamiento, tal y como se aprecia en la Ilustración 38.

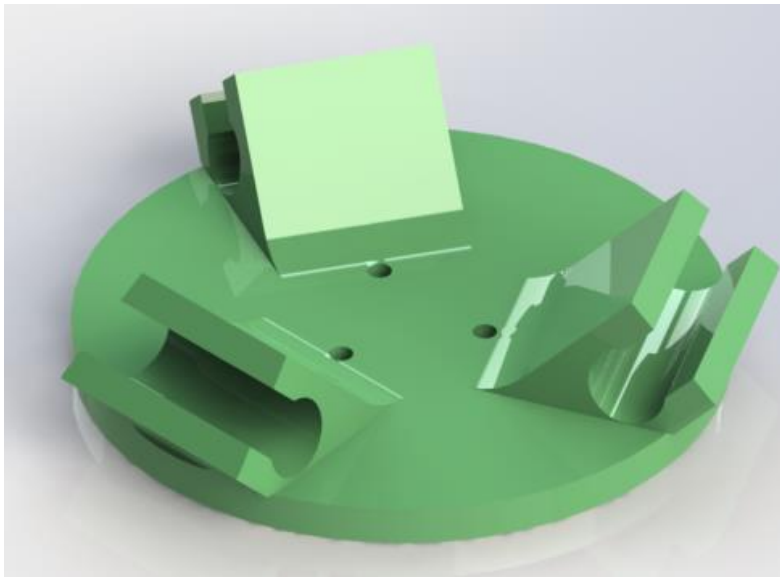


Ilustración 38. Tapa de la base de 3 dedos

Para esta alternativa no se diseña la unión con el brazo robótico, ya que se evaluará de manera preliminar sólo con la tapa y si se observa que se comporta mejor que la otra base se diseñará más a fondo una unión con el robot.

3.3. Construcción de prototipos

El siguiente paso es la construcción de un prototipo físico de la garra mecánica para hacer pruebas. Para ello se utilizarán los diseños que se han hecho anteriormente y se pasarán a formato .stl para poder ser impresos en una impresora 3D.

La impresora que se utilizará es una MakerBot Replicator 2 [22], como la que se puede ver en la Ilustración 39.

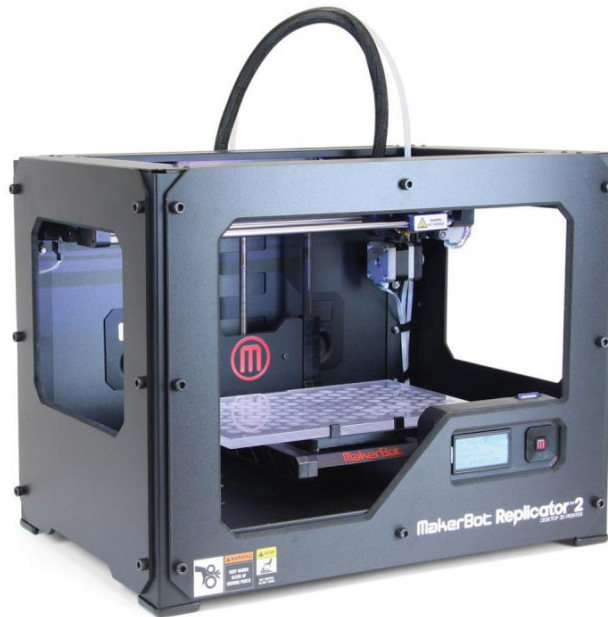


Ilustración 39. MakerBot Replicator 2

Una vez impresas las piezas de los dedos se procede a ensamblarlas para montar cada una de las alternativas de dedo.

Las piezas de la alternativa 2 pueden verse en la Ilustración 40. La de color negro está impresa con PLA, material rígido, y las blancas con FilaFlex, un material elástico.

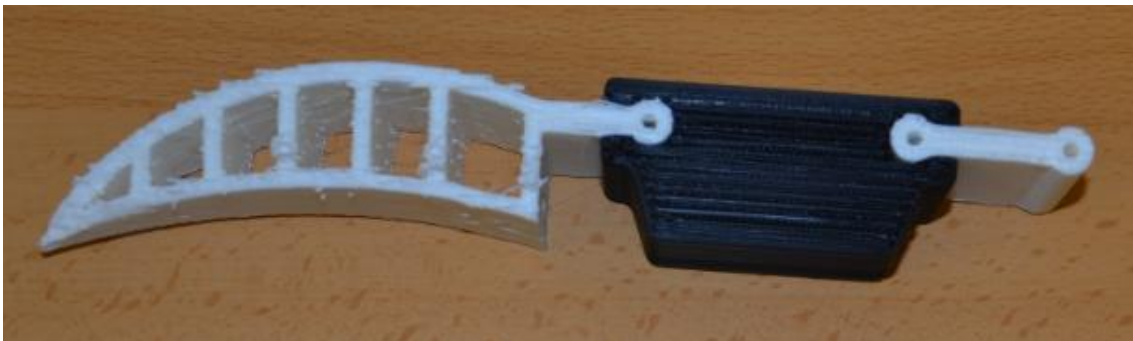


Ilustración 40. Prototipo alternativa 2

La alternativa 3 es una única pieza que va directamente a la base y al imprimirla queda como se puede observar en la Ilustración 41.

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE GARRAS MECÁNICAS

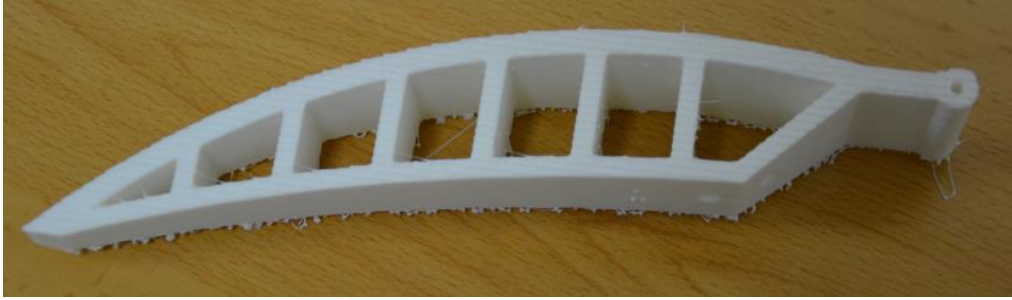


Ilustración 41. Prototipo alternativa 3

Una vez impresos los dedos se imprimen las tapas de la base para realizar algunas pruebas y comprobar que el diseño sea estable y proporcione un buen agarre. Se realizan tres variantes, la base para 4 dedos en la configuración de oposición y en la circular y la base para 3 dedos. En la Ilustración 42 se pueden observar los prototipos de las tres bases.



Ilustración 42. Prototipo de las bases

Una vez se tienen todas las piezas impresas se procede al ensamblaje de las mismas para formar las garras. Para realizar la evaluación del diseño preliminar de la garra se montan dos variantes con los dedos y las bases de las que se dispone. En la Ilustración 43 se puede ver una imagen del prototipo de base con cuatro dedos montando en ella los dedos de la alternativa 2 y en la Ilustración 44 se observa la configuración formada por la base para 3 dedos y los dedos de la alternativa 3.



Ilustración 43. Base de 4 dedos con la alternativa 2

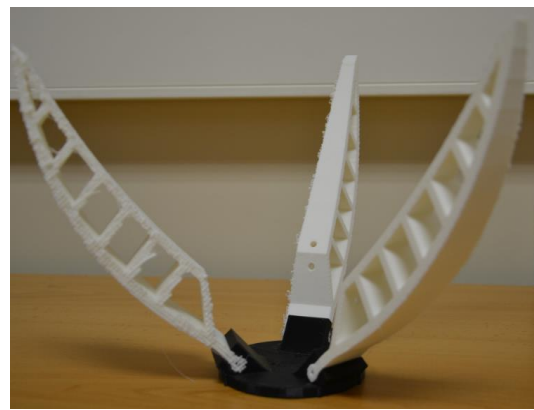


Ilustración 44. Base de 3 dedos con la alternativa 3

Estos prototipos se analizan para comprobar su comportamiento a la hora de realizar agarres. Para ello se pasa un hilo de pescar para realizar la función de cable o tendón de accionamiento por los agujeros que poseen las piezas de la garra mecánica. Y con la ayuda de una arandela se ata en el agujero que hay en los dedos.

Realizando diversos agarres a objetos se puede observar que hay algunos problemas tanto en el diseño como en la fabricación de las garras mecánicas, estos factores se exponen a continuación:

- Las partes flexibles de la mano se deforman en dirección lateral, en lugar de realizar el movimiento de flexión/extensión.
- Los objetos a agarrar se resbalan cuando tienen contacto con las piezas rígidas, hay poco rozamiento.
- El peso que pueden coger antes de deformarse en la dirección opuesta al agarre es muy limitado, menor del esperado.
- La base de 4 dedos contiene demasiadas piezas y el montaje resulta dificultoso y crea mucho rozamiento entre ellas por lo que se necesita mayor potencia del motor para realizar el movimiento.
- La pieza de unión de las falanges en la alternativa 2 es demasiado fina, lo que causa movimientos en el dedo diferentes a los que eran previstos.

A la vista de estos fallos en el siguiente punto se desarrollará una modificación para realizar el diseño final de ambas alternativas. En lo que se refiere a la base, al ser la base de 4 dedos demasiado compleja y tener un excesivo de peso innecesario se propondrá la alternativa de 3 dedos sin necesidad de que estos tengan un movimiento extra al de flexión/extensión.

3.4. Prototipo final

En este punto se expone tanto el proceso de rediseño como el de la nueva fabricación del prototipo final de la garra mecánica. Se tendrán en cuenta los errores de la versión anterior y se solucionarán para darle una mayor efectividad

3.4.1. Diseño 3D del prototipo final

El primer paso es el diseño en 3D de la alternativa final, empezando por mejorar ambas alternativas de dedo y siguiendo por una base más sencilla y ligera. Todo ello con el mismo software de diseño con el que se había realizado el diseño anterior, SolidWorks®.

Alternativa de dedo 2

Para la alternativa de dedo 2 u opción rígida, debido a la presencia de piezas fabricadas con un plástico no flexible (PLA en nuestro caso), se rediseña teniendo en cuenta los factores que hacían que la opción tuviera un funcionamiento negativo en los puntos anteriores.

El rediseño se ha realizado observando los factores que hicieron que el diseño preliminar fallara. Los dos más importantes son sobretodo que las piezas flexibles se doblan en dirección lateral cuando no deberían hacerlo y que las piezas se resbalan de la garra cuando realiza el agarre.

Para solucionar ambos problemas se realiza el diseño que se puede ver en la Ilustración 45.

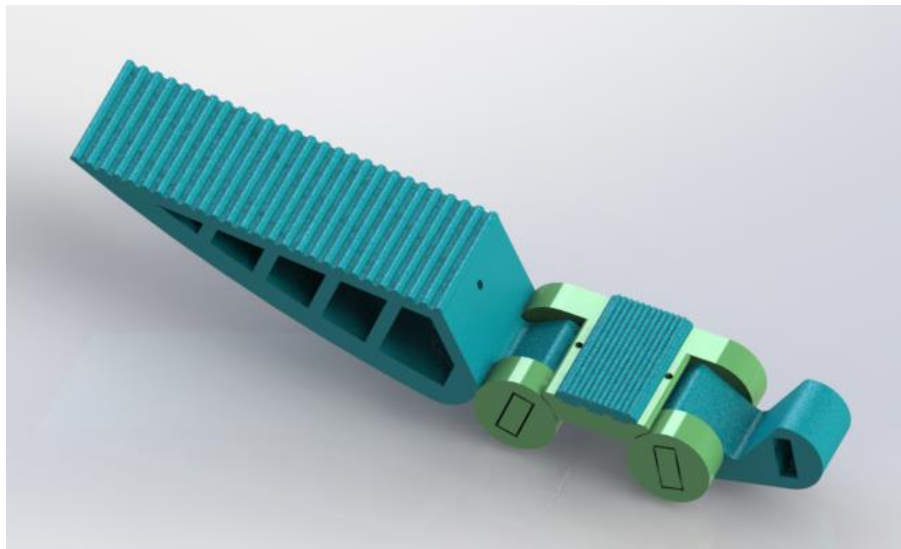


Ilustración 45. Diseño final de la alternativa de dedo 2

Con este diseño se consigue solucionar el problema del desplazamiento lateral de las piezas flexibles gracias a que las piezas rígidas abrazan el lateral de las uniones entre partes realizadas por elementos flexibles. También se solventa el problema del deslizamiento de los objetos agarrados gracias al nuevo diseño de las superficies de contacto.

En la Ilustración 46 se observa una vista en explosión del ensamblaje para ver mejor las piezas que lo componen.

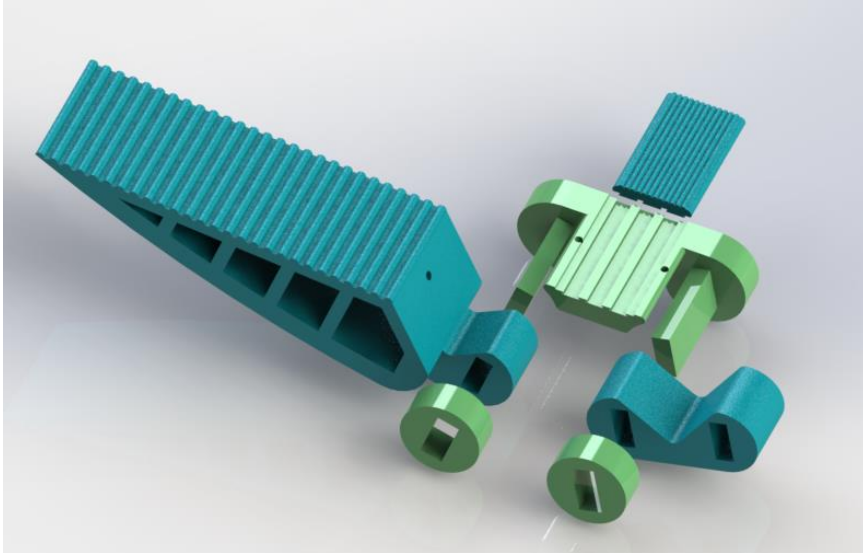


Ilustración 46. Explosión de la alternativa de dedo 2

Alternativa de dedo 3

En la alternativa de dedo 3 u opción flexible, al ser una única pieza realizada con material flexible no se añaden piezas de material rígido para evitar su desplazamiento lateral, si no que se cambia el diseño de la falange en sí.

La nueva falange rediseñada cuenta con una única pieza de material flexible la cual está dividida en dos subfalanges. Estas poseen un diseño similar al anterior, con el FinRay Effect y van directamente unidas a la base.

Al estar divididas se da prioridad al movimiento de flexión/extensión, el cual requiere menos fuerza para ser ejecutado, que el movimiento de torsión. También en la unión con la base se realizará el mismo tipo de unión que el visto en las falanges de la alternativa 2, restringiendo más el movimiento de torsión.

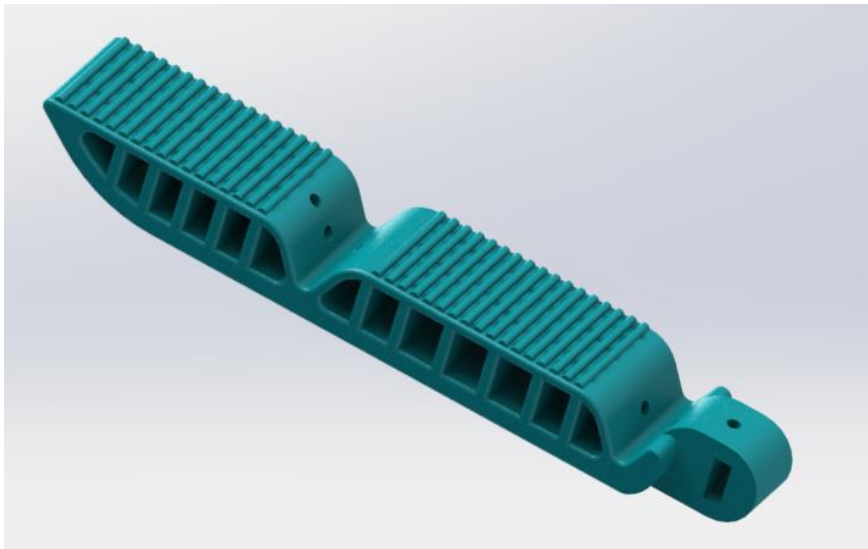


Ilustración 47. Diseño final de la alternativa de dedo 3

Base

Para la etapa final en un principio se ha decidido diseñar solamente la tapa donde irán colocados los dedos, en cuanto se realicen las pruebas de comparación de alternativas se acabará de diseñar la base con el resto de componentes.

Se diseñará una base para 4 dedos, ya que en las pruebas hechas con la garra anterior se ha visto que se necesita oposición entre dedos para que las fuerzas de agarre sean opuestas y no generen momentos en el objeto que desestabilice el agarre.

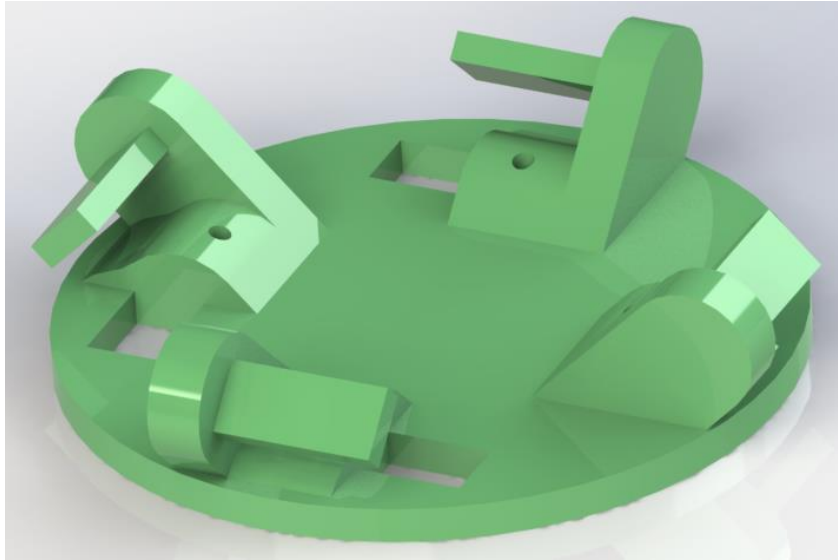


Ilustración 48. Base final de la garra

En la Ilustración 48 se puede observar el diseño final de la base, ésta tiene unos acoples para enganchar los dedos en ellos. En el otro lado se colocará un tope similar al que posee la alternativa 2 de dedo, que se expone en la Ilustración 49.

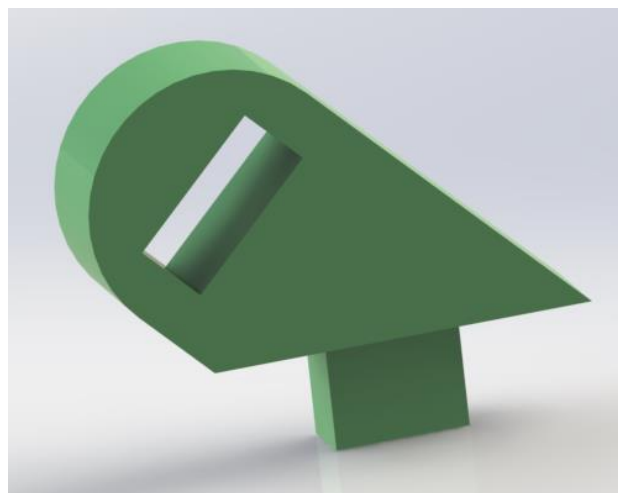


Ilustración 49. Tope de la base

Ensamblaje final

Una vez diseñadas todas las piezas se procede al ensamblaje final de las mismas para formar la garra final.

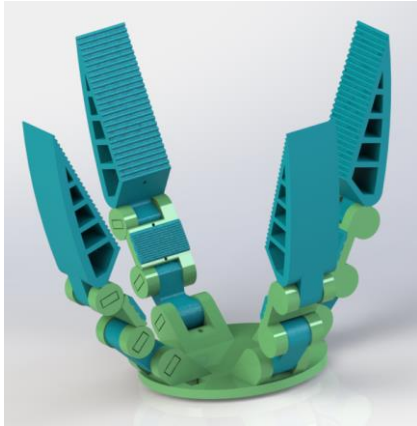


Ilustración 50. Garra final (alternativa 2)

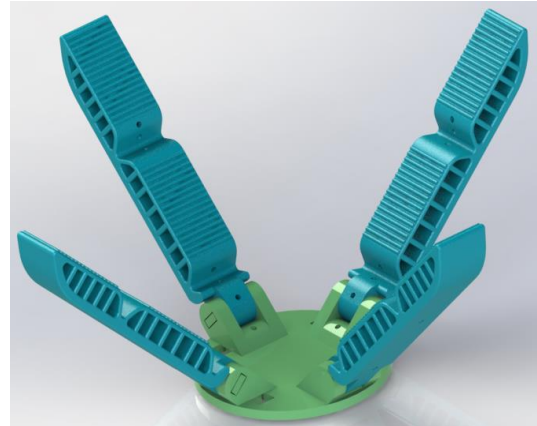


Ilustración 51. Garra final (alternativa 3)

En la Ilustración 50 se presenta la garra con la alternativa de dedo 2 y en la Ilustración 51 con la alternativa de dedo 3.

3.4.2. Fabricación del prototipo final

Al igual que en el diseño preliminar de la garra, en este diseño final también se fabrica, mediante impresión 3D, un modelo para hacer pruebas de evaluación de la misma. En un principio se harán pruebas con la alternativa de dedo 2.

Debido a problemas con la impresora 3D no se han podido imprimir los dedos de la alternativa 3 y también a que se ha acabado el filamento de plástico flexible y hasta dentro de un tiempo no se podrá reponer.

En la Ilustración 52 se observa el prototipo fabricado de la garra final. Para hacer de tendones se utilizará hilo de pescar.

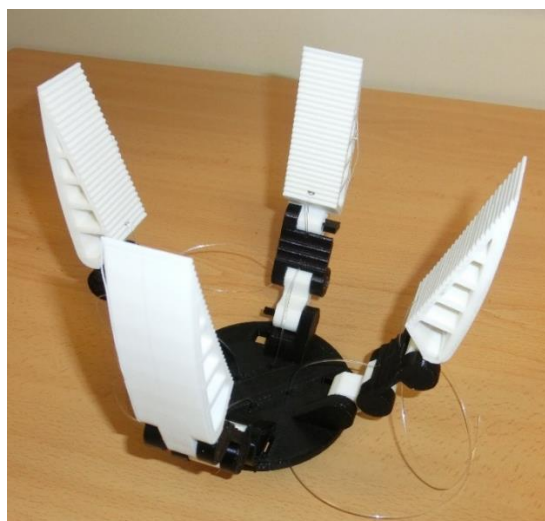


Ilustración 52. Prototipo final

3.5. Evaluación de la garra

En este punto se evaluará el funcionamiento y la eficiencia de la garra mecánica realizando varios experimentos y comparándola con otros tipos de sistemas de agarre.

3.5.1. Sistemas de agarre

En los siguientes puntos se explicarán los sistemas de agarre que se utilizarán para comparar con la garra mecánica que se ha diseñado y fabricado en los apartados anteriores.

Ventosa

La ventosa (Ilustración 53) es un sistema bastante sencillo, es un objeto que utiliza la presión negativa del fluido del aire o agua para adherirse a las superficies no porosas.

La cara de la ventosa que entra en contacto con el objeto tiene una superficie curva. Cuando el centro de la ventosa se presiona contra una superficie plana y no porosa, el volumen del espacio entre la ventosa y la superficie plana se reduce, lo que causa que el líquido entre ésta y la superficie sea expulsado más allá del borde de la copa circular, creando una presión negativa en la ventosa, lo que hace que el objeto y la ventosa se queden unidos. Para crear más presión se realiza un vacío en la ventosa, esto implica una mayor presión negativa entre el objeto y la ventosa, lo que proporciona mayor fuerza de agarre.

Para calcular la fuerza de una ventosa, se utiliza la fórmula:

$$F = A \cdot P$$

Donde F es la fuerza, A el área y P la presión.

Esto se deriva de la definición de presión, que es:

$$P = \frac{F}{A}$$



Ilustración 53. Ventosa de sujeción por vacío

Las ventosas se componen de varios elementos (Ilustración 54) que son intercambiables entre sí o modulares. Esta solución modular crea muchas alternativas a la hora de elegir la ventosa idónea para nuestras necesidades, lo que es una ventaja ya que gracias a ello se consigue una gran variedad de ventosas disponibles.

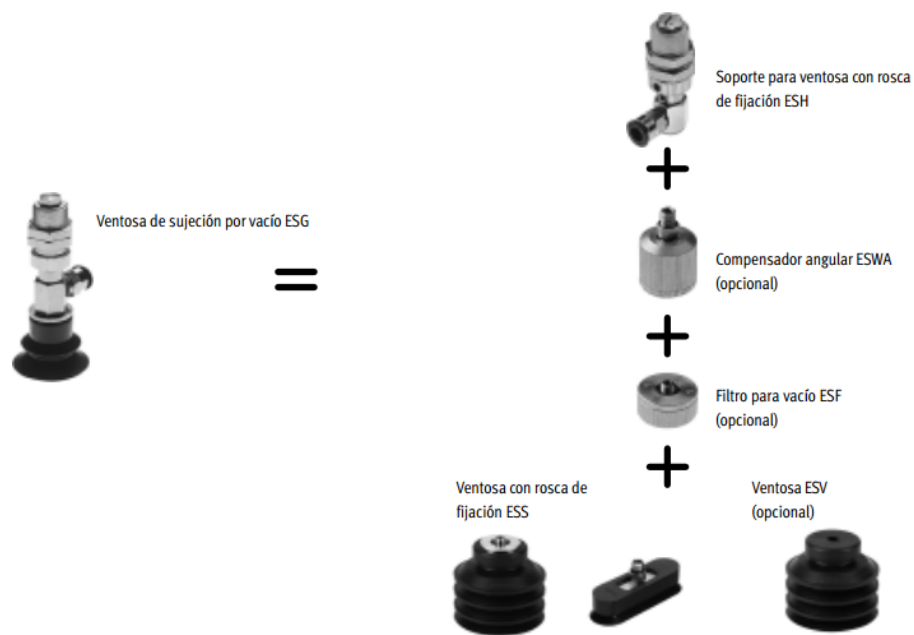


Ilustración 54. Ventosa modular del catálogo de Festo

Las ventosas han sido la opción más utilizada por los equipos participantes en el Amazon Picking Challenge, siendo los equipos que las utilizaban ganadores en los certámenes disputados en 2015 y 2016, seguramente debido a que pueden agarrar una gran variedad de objetos y el tiempo de actuación de estas es mucho menor que el del resto de sistemas.

Universal

El sistema de agarre universal o de interferencia de partículas es un sistema de agarre novedoso y muy versátil, consiste básicamente en una bolsa esférica de un elastómero no poroso rellena de una materia granular. Hay diversos artículos que revisan las cualidades y el diseño de este tipo de sistema de agarre [23][24][1].

Este sistema de agarre tiene muchos grados de libertad, los cuales están actuados de manera pasiva debido al contacto que se genera con la ayuda del único elemento activo que poseen, una bomba de vacío o un compresor unido a un tubo de Venturi, ambos con la misma función: generar el vacío dentro de la bolsa rellena de material. Al final de la bolsa hay un filtro que se ocupa de que el material granulado no pase al tubo de aspiración y que solo pase el aire que está entre sus partículas. En la Ilustración 55 se puede observar el sistema y su relleno, en este caso café molido.



Ilustración 55. Sistema de agarre universal

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE GARRAS MECÁNICAS

El funcionamiento de esta herramienta es muy sencillo y se puede apreciar en la Ilustración 56. Primero el sistema universal desciende hacia el objeto en su estado pasivo y deformable hasta rodearlo y adaptarse a su forma, luego se activa la bomba de vacío o el compresor, lo que elimina el aire que hay entre las partículas creando una fricción o interferencia entre las mismas resultando un estado activo en el cual la bolsa actúa como un objeto rígido con la forma del objeto a agarrar y esto causa que el objeto pueda ser manipulado. Una vez realizada la tarea, el compresor/bomba de vacío se apaga permitiendo que el aire pueda volver a entrar en la bolsa y consiguiendo que se deshaga el agarre debido al propio peso del objeto.

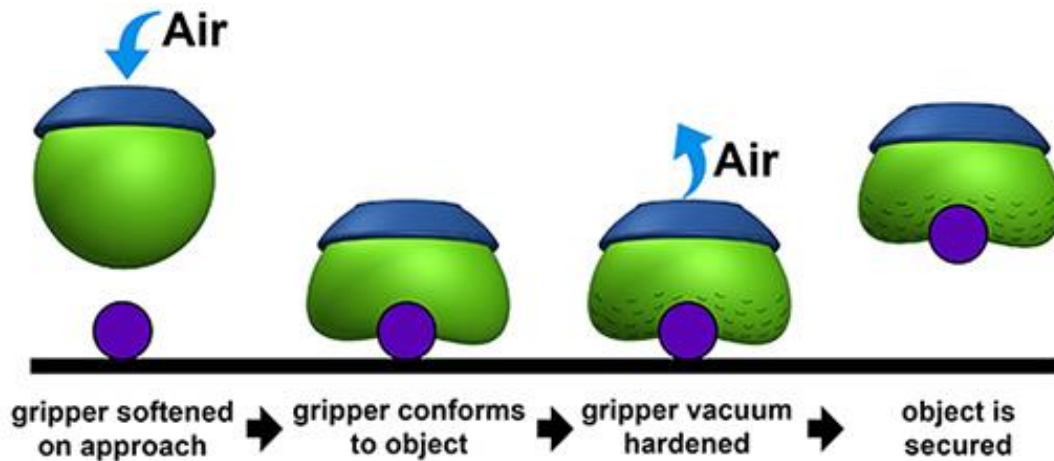


Ilustración 56. Fases de agarre del universal

La ventaja que ofrece este modelo es la capacidad de agarrar una gran cantidad de objetos con formas irregulares, como se puede observar en la Ilustración 57, que la ventosa no es capaz de coger debido a que necesita una superficie plana y no porosa para realizar el agarre, mientras que el sistema de agarre universal necesita todo lo contrario, un objeto irregular para poder hacer el agarre no pudiendo agarrar objetos planos. Se podría decir que son sistemas de agarre que se complementan el uno al otro.

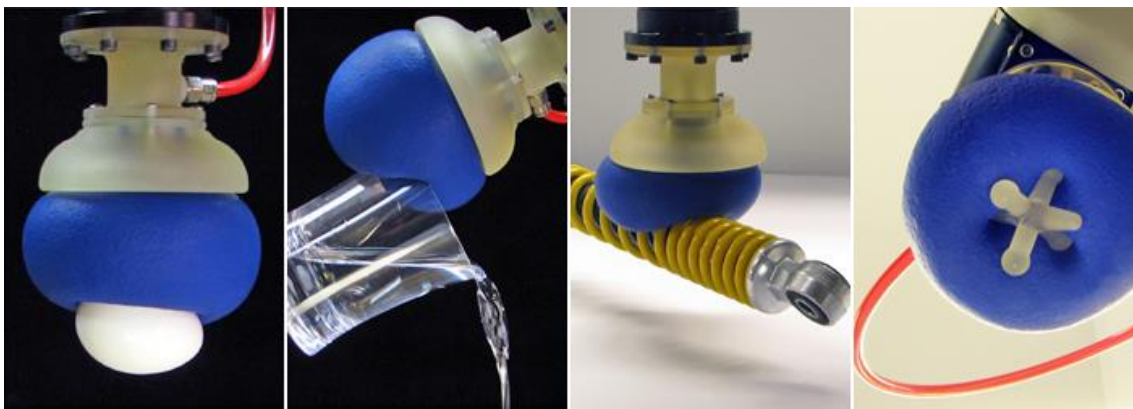


Ilustración 57. Agarres del universal

3.5.2. Experimento a realizar

El experimento a realizar es una acción sencilla. Habrá una serie de objetos, que se muestran en la Ilustración 58, éstos son algunos de los utilizados en el Amazon Robotic Challenge del año 2015. Las distintas pruebas consisten en coger dichos objetos y moverlos de las estanterías a una caja o viceversa. Al haber gran variedad, se podrán analizar todos los sistemas de agarre.



Ilustración 58. Objetos para la evaluación

En la Tabla 7 se nombran los objetos de la ilustración anterior y muestra el código o abreviatura que se le da al objeto junto a una descripción breve del mismo.

Tabla 7. Objetos para realizar la evaluación

Objeto	Descripción
PLAPIZ	Portalápices negro con textura de rejilla.
VASOS	Conjunto de vasos de plástico de colores.
ROTU	Rotulador permanente negro.
PIEZA	Pieza perteneciente a la garra mecánica, el tope de la base.
SHARPIE	Conjunto de rotuladores de colores de la marca Sharpie.
GAFAS	Gafas de laboratorio en envoltorio.
PLUG	Caja de protectores infantiles para enchufes.
PELOTA	Pelota verde de gomaespuma.
RANA	Juguete para perros con forma de rana.
DEST	Caja de destornilladores de pequeño tamaño.

La prueba que se desarrollará para cada uno de los sistemas consiste en manualmente acercar la garra desde arriba del objeto, realizar la sujeción, transportar el objeto hasta un recipiente y soltarlo hasta que caiga en su interior sin necesidad de realizar una fuerza sobre el objeto.

La prueba se considerará satisfactoria en el caso de que se consiga realizar todos los pasos de manera correcta, y se considerará incorrecta en el caso de fallar o que se considere fallida en cualquiera de los pasos antes descritos.

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE GARRAS MECÁNICAS

Esta prueba simula el acercamiento del brazo del robot, al que se le acopla una garra, desde la parte superior del objeto. El objeto se encuentra en una estantería y debe ser transportado a un cajón, por eso se realiza la parte de transporte y depósito.



Ilustración 59. Fases del experimento para varios objetos

En la Ilustración 59 se observan los tres primeros pasos de la prueba. Los 5 que hay son:

1. Posicionamiento de la garra encima del objeto.
2. Activación de la garra, en caso de la garra mecánica se tirara de los hilos de pescar para realizar el agarre y en caso del universal se encenderá la aspiradora.
3. Levantamiento del objeto.
4. Movimiento a otra posición distinta de la original.
5. Liberación del objeto.

La prueba se considerará exitosa si se cumplen todos los pasos mencionados anteriormente. Para cada objeto se realizarán 5 ensayos por garra y se analizará cuál es la más eficaz. Las pruebas se harán de forma y activación manual, esto supone que el programa de movimiento y posicionamiento del robot sea exacto.

Como sistema de agarre universal se utilizará un prototipo que consiste en un globo relleno de café molido. Éste está ensamblado a una aspiradora para realizar el vacío con una tela en medio para hacer de filtro. El proceso de construcción esta explicado en [25] y queda como se contempla en la Ilustración 60.

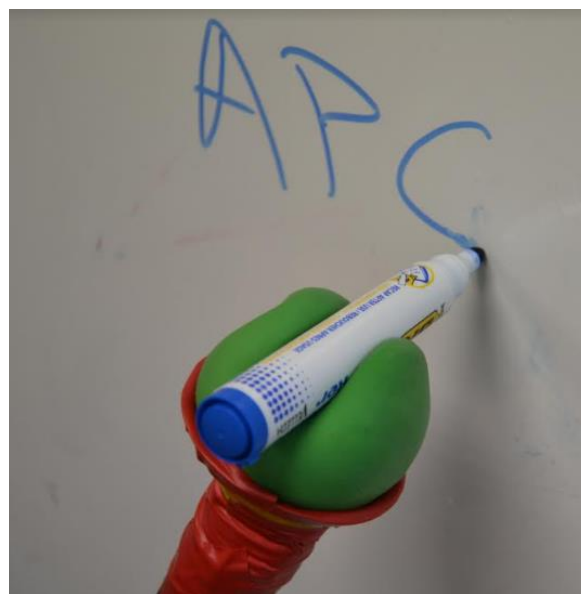
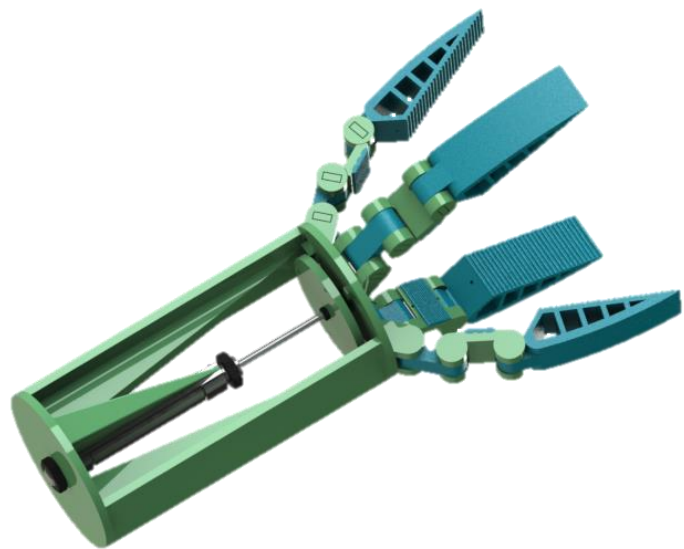


Ilustración 60. Prototipo sistema de agarre universal

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Se han realizado los experimentos que se han explicado en el punto anterior y se han obtenido los siguientes resultados, resumidos en la Tabla 8 en versión de porcentaje de éxito de agarres.

Al no poseer una ventosa para poder realizar los experimentos de agarre se supondrá que la ventosa realiza un agarre perfecto mientras exista una superficie plana accesible para poder engancharse.

Tabla 8. Eficacia de las garras

Objeto	Garra mecánica	Universal	Ventosa
PLAPIZ	100%	0%	0%
VASOS	80%	0%	100%
ROTU	0%	100%	0%
PIEZA	0%	100%	0%
SHARPIE	100%	0%	100%
GAFAS	100%	0%	100%
PLUG	100%	0%	100%
PELOTA	100%	0%	0%
RANA	100%	0%	100%
DEST	80%	0%	100%

Como se puede ver en la tabla los resultados son buenos para la garra mecánica, la cual consigue buenos resultados para la mayoría de objetos, ya que exceptuando los objetos más pequeños tiene puntuaciones sobre el 80%-100% de efectividad en el agarre.

Como se puede comprobar el sistema de agarre universal posee un 100% de efectividad para los objetos pequeños e irregulares que la garra no es capaz de coger, como se observa en la Ilustración 61.

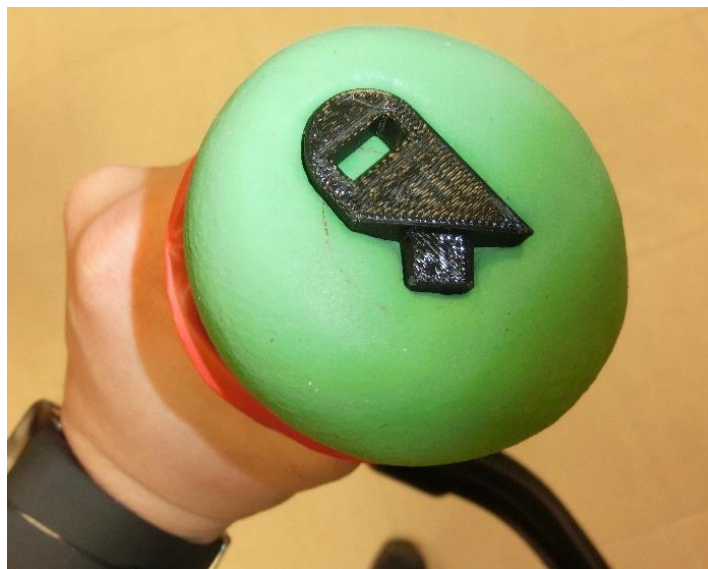


Ilustración 61. Universal cogiendo la pieza pequeña

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE GARRAS MECÁNICAS

A continuación se describen los factores relevantes, así como la clase de objetos que puede coger cada sistema

- Garra mecánica: Esta garra posee una combinación de materiales tanto elásticos como rígidos, que permite que el agarre se adapte al objeto que se desea manipular. Puede coger un amplio rango de objetos, mientras estos tengan el tamaño suficiente para que la mano pueda abarcarlos bien. Los objetos más pequeños presentan dificultades.
- Sistema de agarre universal: Este sistema posee la ventaja de su gran adaptabilidad, pudiendo adaptarse a la forma del objeto a agarrar, de manera rápida e inmediata. Puede coger objetos irregulares y objetos pequeños entre otros, mientras exista una zona donde pueda mantener el agarre del objeto, presenta dificultades en los objetos con caras planas donde no puede abarcar una irregularidad.
- Ventosa: Forma de sujeción de objetos más utilizada en el ámbito industrial gracias a su gran rapidez de accionamiento y la fuerza que puede aplicar al agarre. Solo puede coger objetos que presenten superficies planas lo suficientemente grandes para que el área de la ventosa sea cubierta por completo y no haya porosidades donde se libere el vacío formado entre la ventosa y el objeto de agarre.

En la Ilustración 62 se muestra un posible método de accionamiento mediante un pistón neumático. El pistón va unido a una base a la cual se atan los tendones, cuando se retrae realiza el movimiento de flexión de los dedos y cuando se extiende deja que el material elástico de los dedos los devuelva a su posición inicial.

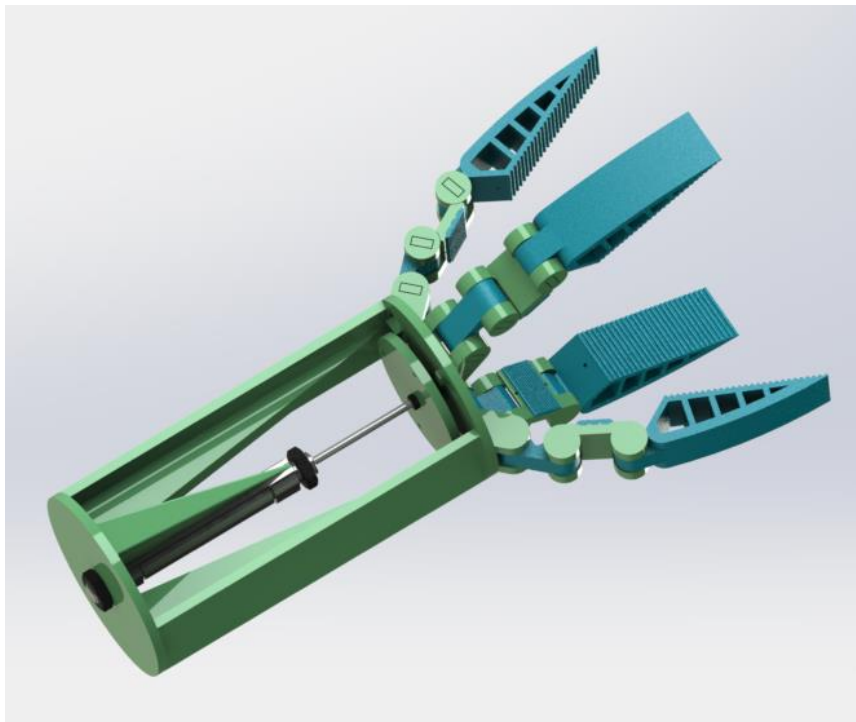


Ilustración 62. Garra final con accionamiento

Viendo que el sistema de universal de agarre y la garra diseñada se complementan a la hora de realizar agarres se puede tener en alta consideración el diseño de una nueva garra mecánica que combine ambos sistemas en uno solo para conseguir la máxima eficiencia en el agarre. Este sistema se presenta como alternativa a los sistemas presentados, se compone de una combinación de la garra mecánica con el sistema universal. Este tema puede estar presente en investigaciones futuras, debido a que ambos métodos de agarre se complementan muy bien.



Ilustración 63. Combinación del sistema universal y la garra mecánica

En la Ilustración 63 se puede observar una versión previa de la posible combinación de ambos.

Esta alternativa combina la posibilidad de que solo actúe el sistema universal, gracias a que la posición inicial de los dedos está por detrás de la parte adaptable del sistema universal, con la posibilidad de accionar los dedos para coger objetos más grandes. También se pueden juntar ambas opciones y hacer un agarre combinado, primero cogiendo con el sistema universal y asegurando el agarre con los dedos mecánicos

5. CONCLUSIONES



En este trabajo de final de máster se ha expuesto el diseño de una garra mecánica para el agarre de objetos en estanterías, cumpliendo así el objetivo principal del mismo. Para poder realizar el diseño, previamente se ha tenido que realizar un estudio del estado del arte con la finalidad de conocer cómo se encuentra la investigación sobre garras mecánicas en la actualidad.

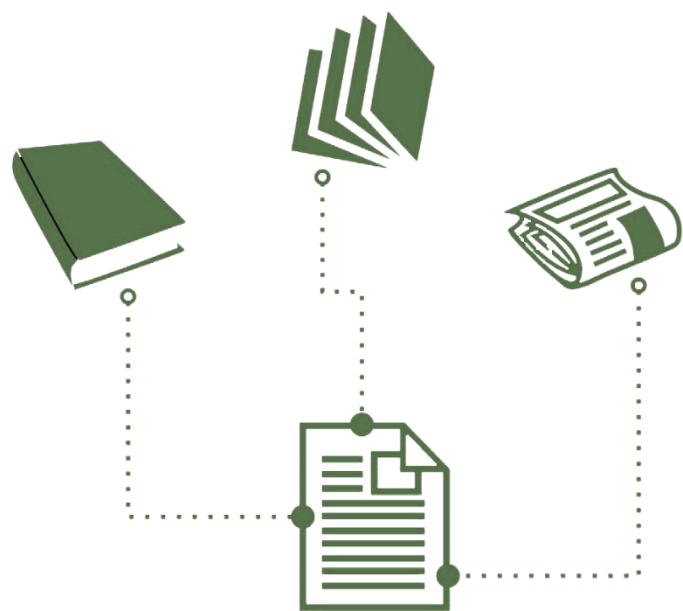
La garra presenta un diseño robusto. Este diseño ha sido posible gracias a varios diseños preliminares y pruebas con varios prototipos preliminares previos para ver los fallos que poseen y así poder solucionarlos al realizar el rediseño. El diseño de la garra también permite la rápida construcción de prototipos mediante impresión 3D, lo que ha reducido visiblemente el tiempo de evaluación preliminar de la garra y el diseño de la alternativa final. Por lo tanto, tanto con los prototipos preliminares como con los finales se ha conseguido cumplir el objetivo secundario de diseñar varios prototipos de garras mecánicas.

Una vez construido el prototipo se ha realizado un experimento con él y el sistema de agarre por interferencia de partículas o también denominado universal. Con ambos prototipos se realizan una serie de agarres y transporte de objetos. Al final se observa qué clase de objetos se pueden coger con cada tipo de sistema de agarre, tal y como se explica en el punto anterior. Con esto se soluciona el segundo objetivo secundario, que es el de evaluar el tipo de objetos que se pueden manipular con cada garra.

El último objetivo secundario también se consigue vistas las reflexiones del punto anterior. Se aprecia que la garra diseñada posee como punto fuerte su adaptabilidad a objetos grandes y con cierta regularidad, mientras que el sistema de agarre universal consigue buenos resultados en objetos pequeños y con irregularidades. Como ambos son complementarios al combinarse resulta un sistema combinado donde una garra cubre los puntos débiles de la otra. Pero esta combinación sigue teniendo un punto débil, sigue sin poder agarrar objetos con grandes superficies planas. Aquí es donde entra en juego la ventosa, haciéndose cargo de este tipo de objetos, mientras que tiene fallos en objetos muy pequeños o con superficies irregulares. Así que como propuesta final se sugiere que el robot posea dos brazos donde se puedan colocar ambas alternativas, o un brazo que pueda alternar entre ellas.

Como punto final queda concluir que estos experimentos se han realizado con prototipos con poco desarrollo. Estos sistemas de agarre tienen un amplio rango de mejora, por este motivo se seguirá tratando en futuras investigaciones para conseguir que el sistema final sea lo más efectivo posible.

6. REFERENCIAS

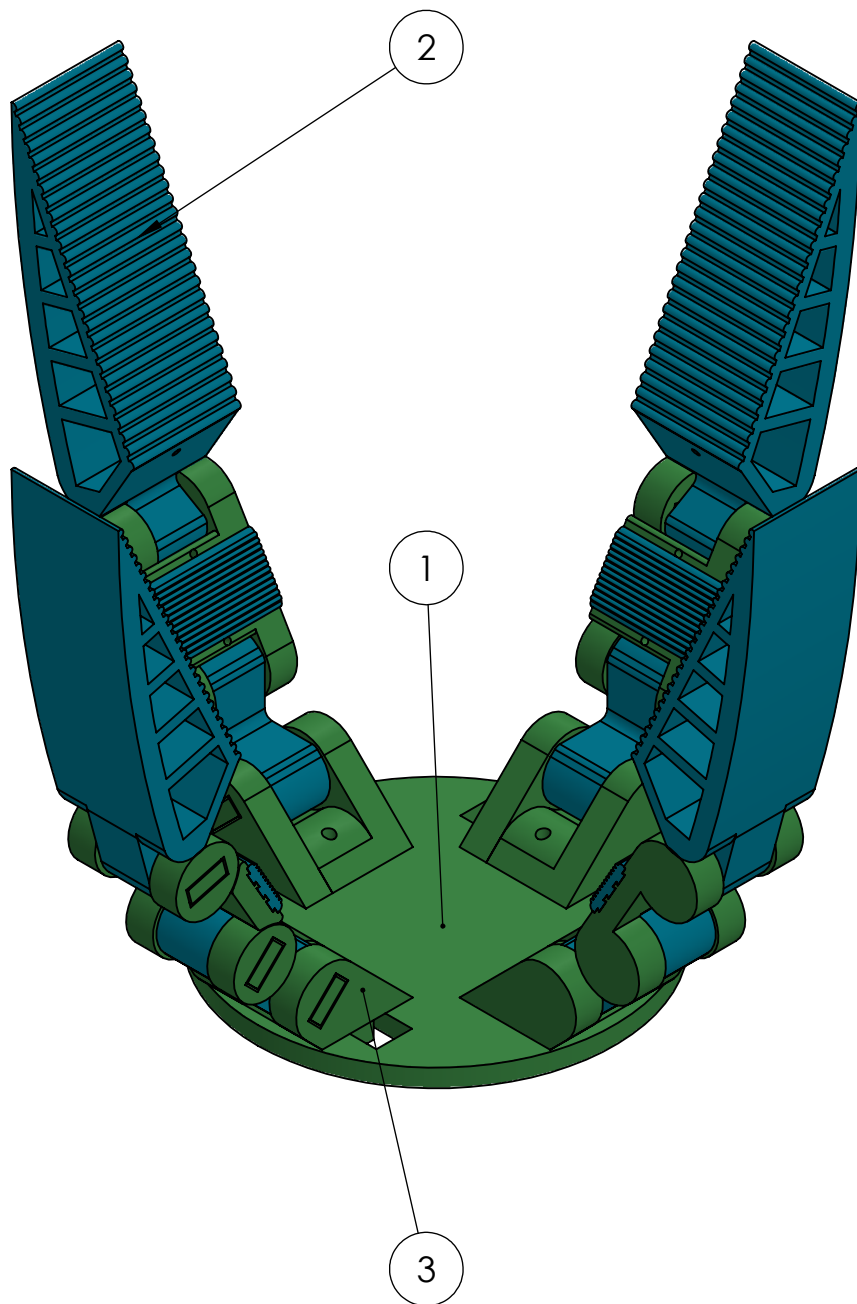


- [1] J. Amend, N. Cheng, S. Fakhouri, and B. Culley, "Soft Robotics Commercialization: Jamming Grippers from Research to Product," *Soft Robot.*, vol. 0, no. 0, p. soro.2016.0021, 2016.
- [2] M. Bolboe and I. Staretu, "Antropomorphic gripper with two symmetrical fingers, designed for industrial robots," *23rd Int. Conf. Robot. Alpe-Adria-Danube Reg. IEEE RAAD 2014 - Conf. Proc.*, 2015.
- [3] N. Chavan-Dafle, M. T. Mason, H. Staab, G. Rossano, and A. Rodriguez, "A two-phase gripper to reorient and grasp," *IEEE Int. Conf. Autom. Sci. Eng.*, vol. 2015-October, pp. 1249-1255, 2015.
- [4] R. Datta, S. Pradhan, and B. Bhattacharya, "Analysis and Design Optimization of a Robotic Gripper Using Multiobjective Genetic Algorithm," vol. 46, no. 1, pp. 16-26, 2016.
- [5] G. Endo and N. Otomo, "Development of a food handling gripper considering an appetizing presentation," *Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, vol. 2016-June, pp. 4901-4906, 2016.
- [6] G. Franchi, A. Ten Pas, R. Platt, and S. Panzieri, "The Baxter Easyhand: A robot hand that costs \$150 US in parts," *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, vol. 2015-December, pp. 2917-2922, 2015.
- [7] M. Goldfarb and N. Celanovic, "A flexure-based gripper for small-scale manipulation," *Robotica*, vol. 17, no. 2, p. S026357479900096X, 1999.
- [8] N. Karnati, B. A. Kent, and E. D. Engeberg, "Bioinspired sinusoidal finger joint synergies for a dexterous robotic hand to screw and unscrew objects with different diameters," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 18, no. 2, pp. 612-623, Apr. 2013.
- [9] J. M. Romano, K. Hsiao, G. Niemeyer, S. Chitta, and K. J. Kuchenbecker, "Human-inspired robotic grasp control with tactile sensing," *IEEE Trans. Robot.*, vol. 27, no. 6, pp. 1067-1079, Dec. 2011.
- [10] M. Salerno, K. Zhang, A. Menciassi, and J. S. Dai, "A Novel 4-DOF Origami Grasper With an SMA-Actuation System for Minimally Invasive Surgery," *IEEE Trans. Robot.*, vol. 32, no. 3, pp. 484-498, 2016.
- [11] K. Yamaguchi, Y. Hirata, and K. Kosuge, "Development of robot hand with suction mechanism for robust and dexterous grasping," *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, pp. 5500-5505, 2013.
- [12] <https://www.amazonrobotics.com/#/pickingchallenge>, "24 de enero de 2017." .
- [13] K. Telegenov, Y. Tlegenov, and A. Shintemirov, "A low-cost open-source 3-D-printed three-finger gripper platform for research and educational purposes," *IEEE Access*, vol. 3, pp. 638-647, 2015.
- [14] A. M. Dollar and R. D. Howe, "The Highly Adaptive SDM Hand: Design and Performance Evaluation," *Int. J. Rob. Res.*, vol. 29, no. 5, pp. 585-597, Apr. 2010.
- [15] L. E. Weiss *et al.*, "Shape deposition manufacturing of heterogeneous structures," *J. Manuf. Syst.*, vol. 16, no. 4, pp. 239-248, Jan. 1997.
- [16] T. Nuchkrua, T. Leephakpreeda, and T. Mekarporn, "Development of robot hand with Pneumatic Artificial Muscle for rehabilitation application," *Nano/Molecular Med. Eng. (NANOMED)*, *2013 IEEE 7th Int. Conf.*, pp. 55-58, 2013.
- [17] D. Rus and M. T. Tolley, "Design, fabrication and control of soft robots," *Nature*, vol. 521, pp. 467-475, 2015.
- [18] www.festo.es, "15 de diciembre de 2016." .
- [19] www.barrett.com, "15 de diciembre de 2016." .

- [20] robotiq.com, “15 de diciembre de 2016.” .
- [21] Á. Pérez-González and F. J. A. de la Esperanza, “Comparing performance of two prosthetic finger designs: tendon driven and linkage driven,” *22nd Congress of the European Society of Biomechanics, July 10 - 13, 2016, Lyon, France, 2016.*
- [22] www.makebot.com/replicator, “17 de diciembre de 2016.” .
- [23] E. Brown *et al.*, “Universal robotic gripper based on the jamming of granular material,” *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 107, no. 44, pp. 18809-18814, 2010.
- [24] J. R. Amend, S. Member, E. Brown, N. Rodenberg, and H. M. Jaeger, “A positive pressure universal gripper based on the jamming of Granular Material,” vol. 28, no. 2, pp. 341-350, 2012.
- [25] <https://goo.gl/maV3FQ>, “18 de enero de 2017.”

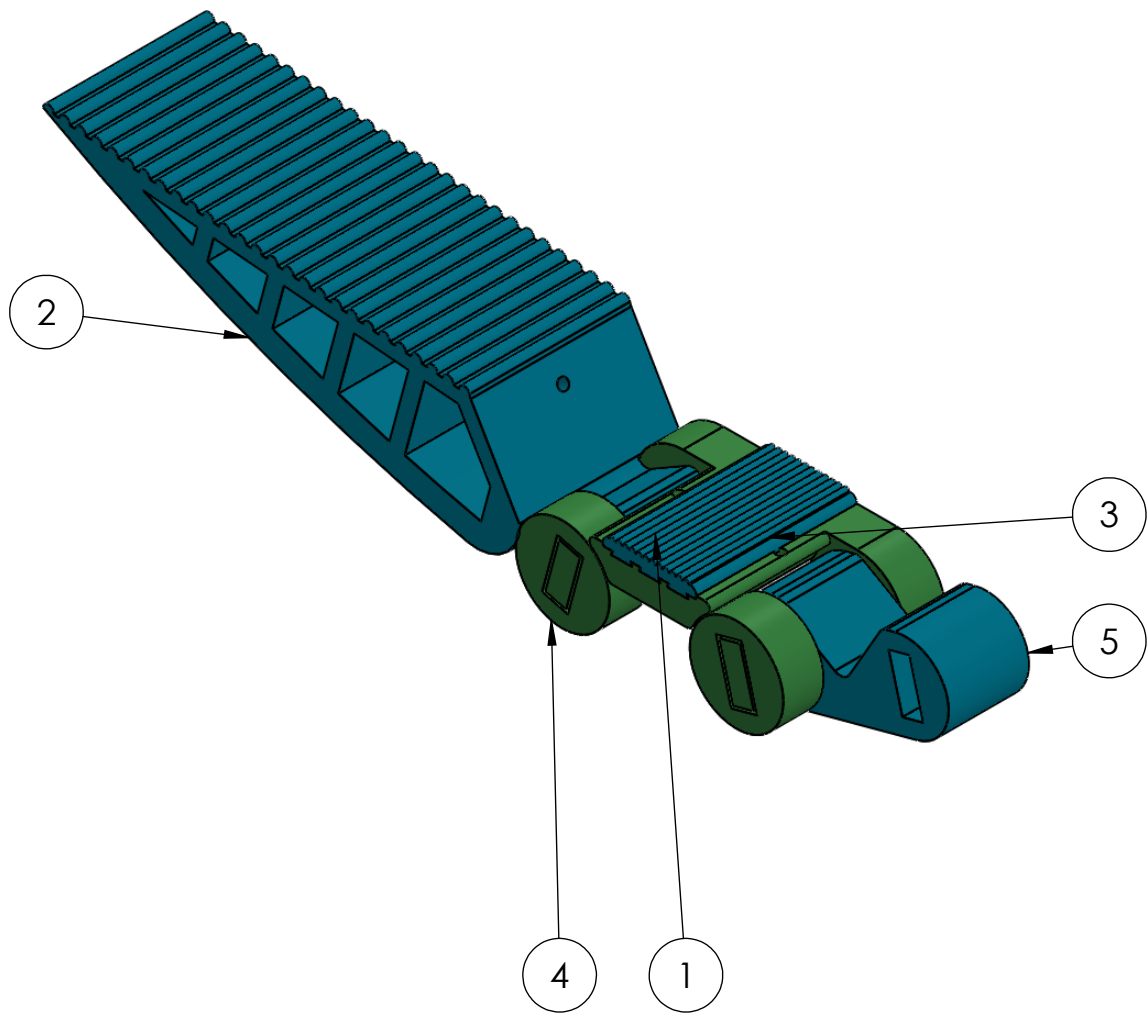
7. PLANOS





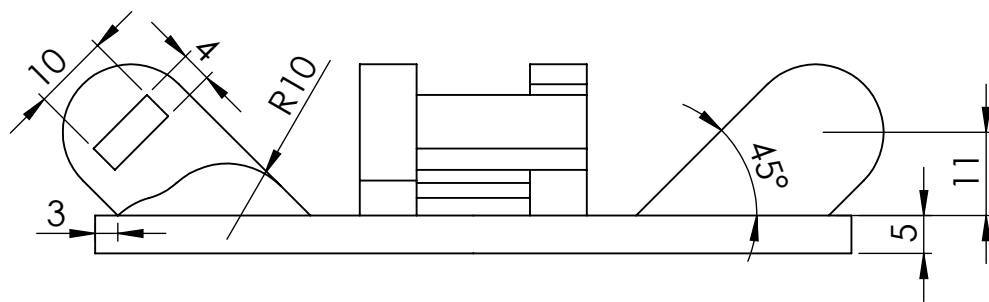
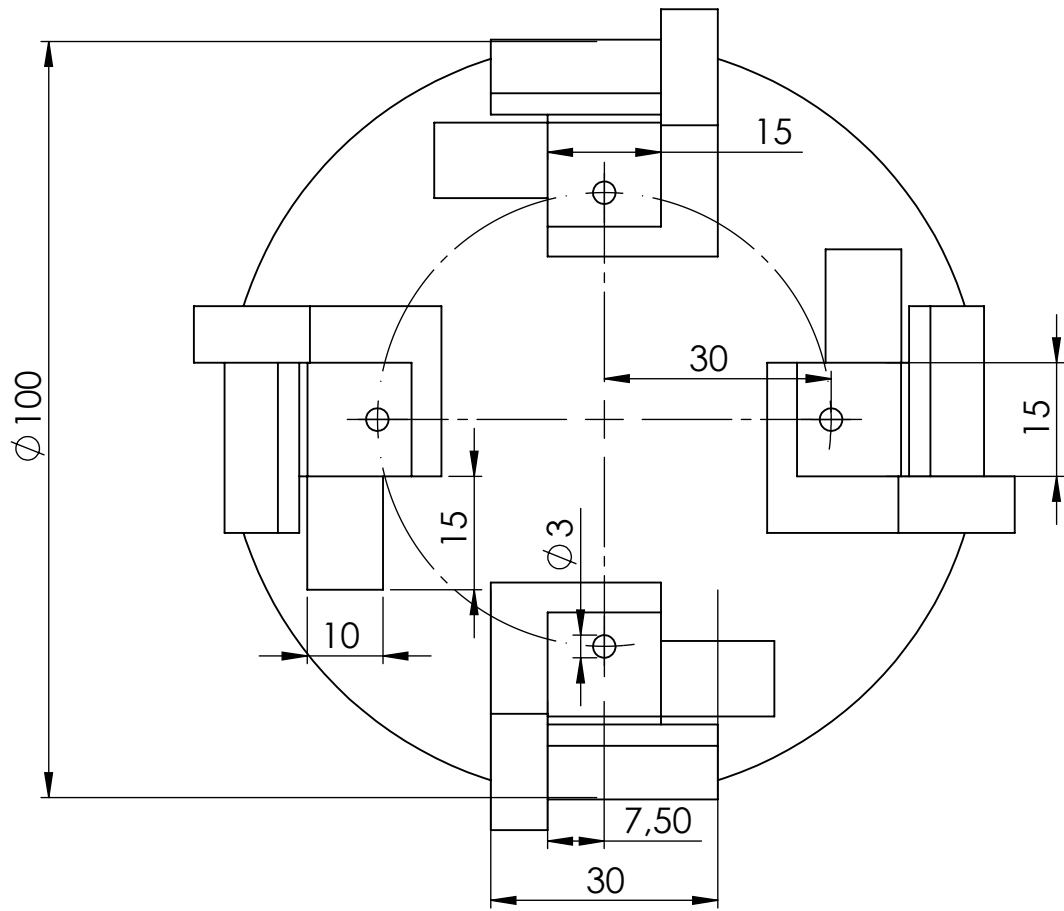
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	Base Normal Rig/CANTIDAD
1	GF - Tapa	1
2	GF - Dedo	4
3	GF - Tope Base	4

DIBUJ.	D.Cardin	11/01/2016	TÍTULO:	Garra Mecánica
CALID.	+0.1mm	+1°	N.º DE DIBUJO	
MATERIAL:			Garra Final	
PESO:			ESCALA:2:3	A4
			HOJA 1 DE 1	

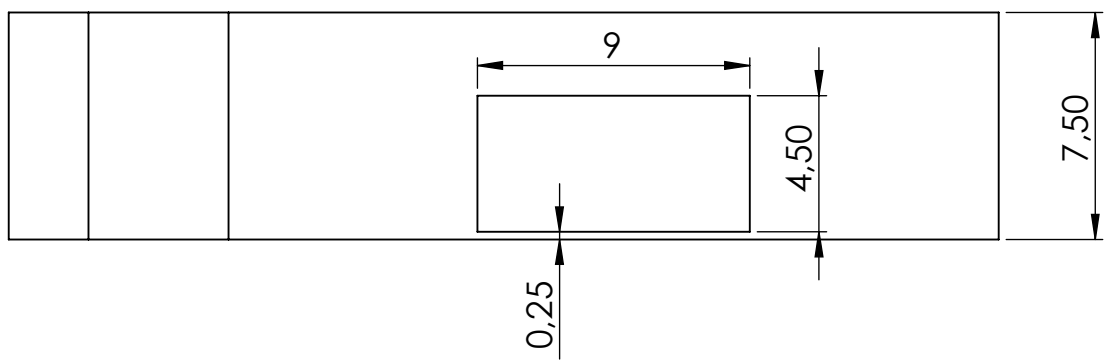
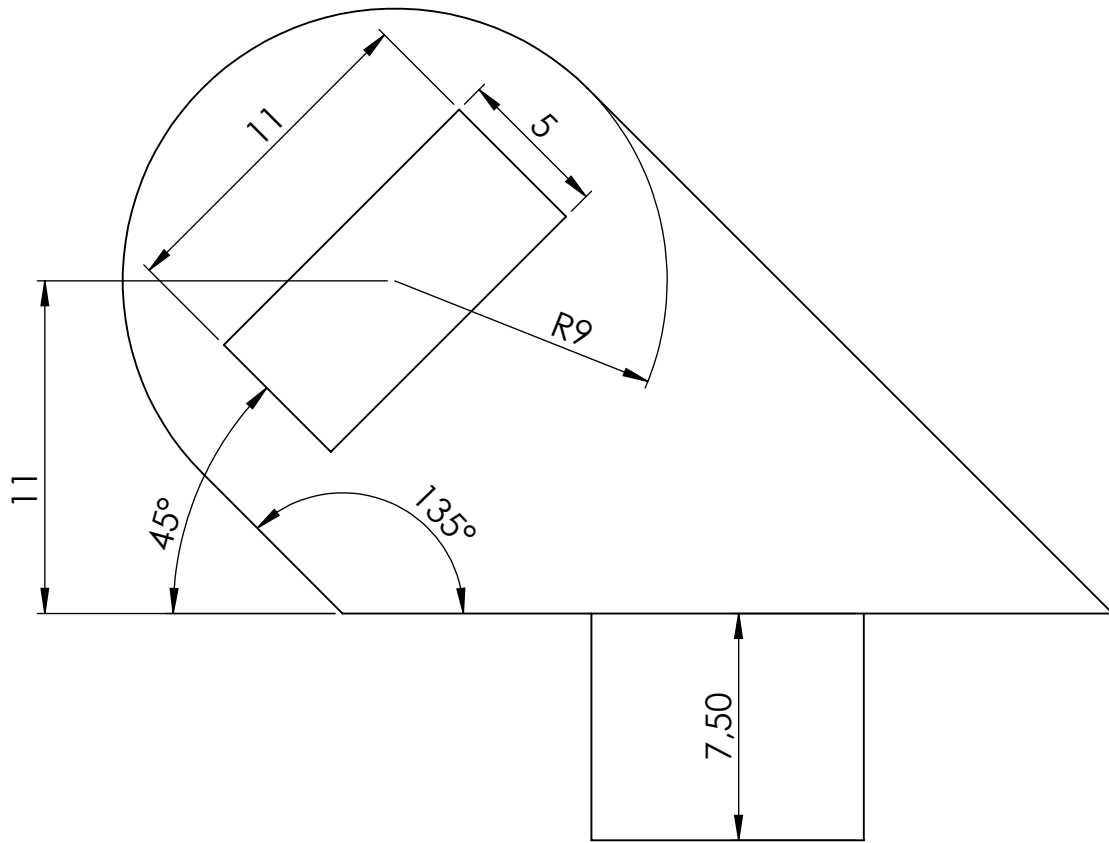


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	GF - Falange Proximal	1
2	GF - Falange Distal	1
3	GF - Almohadilla	1
4	GF - Tope	2
5	GF - Union	1

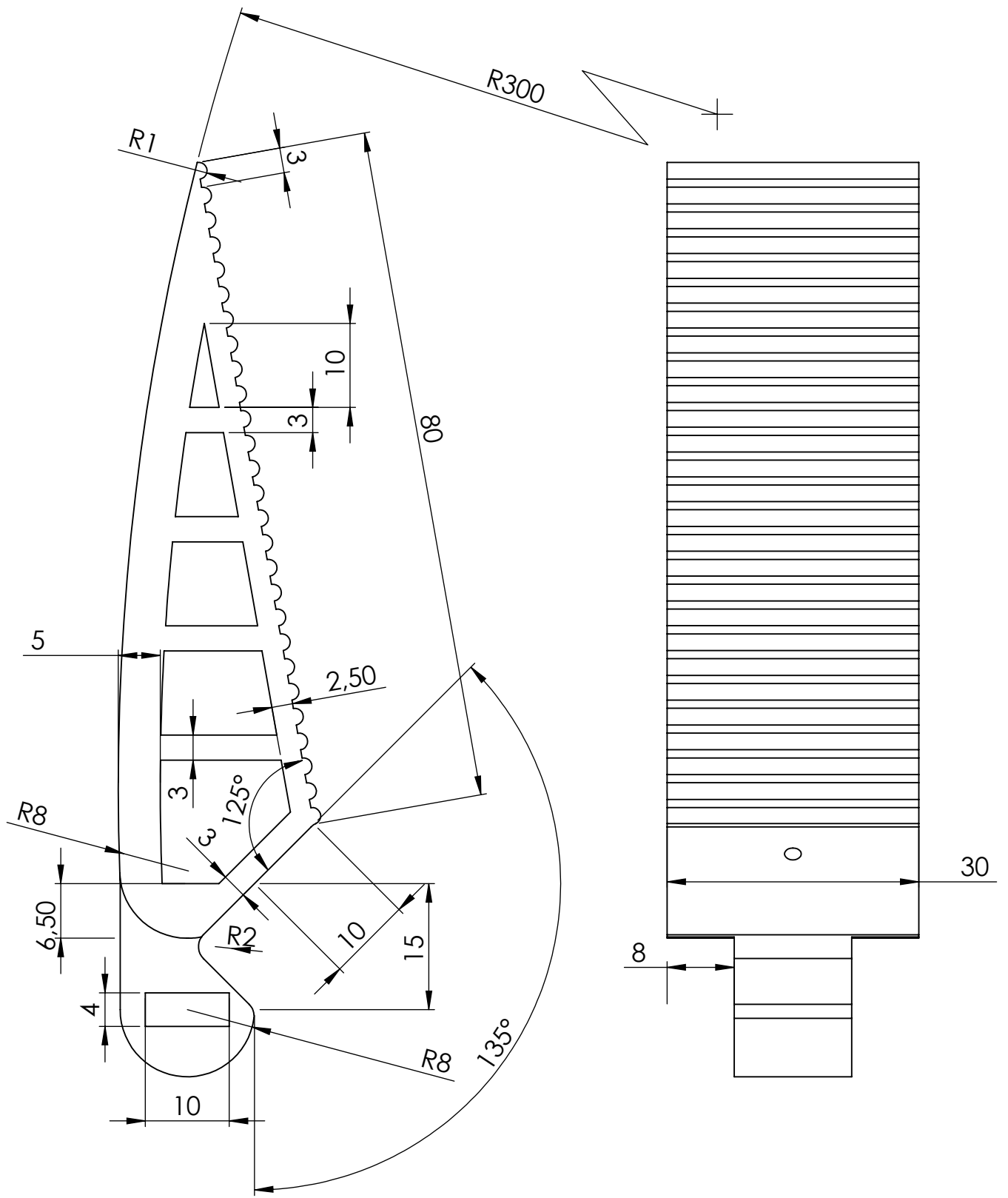
DIBUJ.	D.Cardin	11/01/2016	TÍTULO:	Garra Mecánica	
CALID.	+0.1mm	+1°	N.º DE DIBUJO		
MATERIAL:			A4		
PESO:					



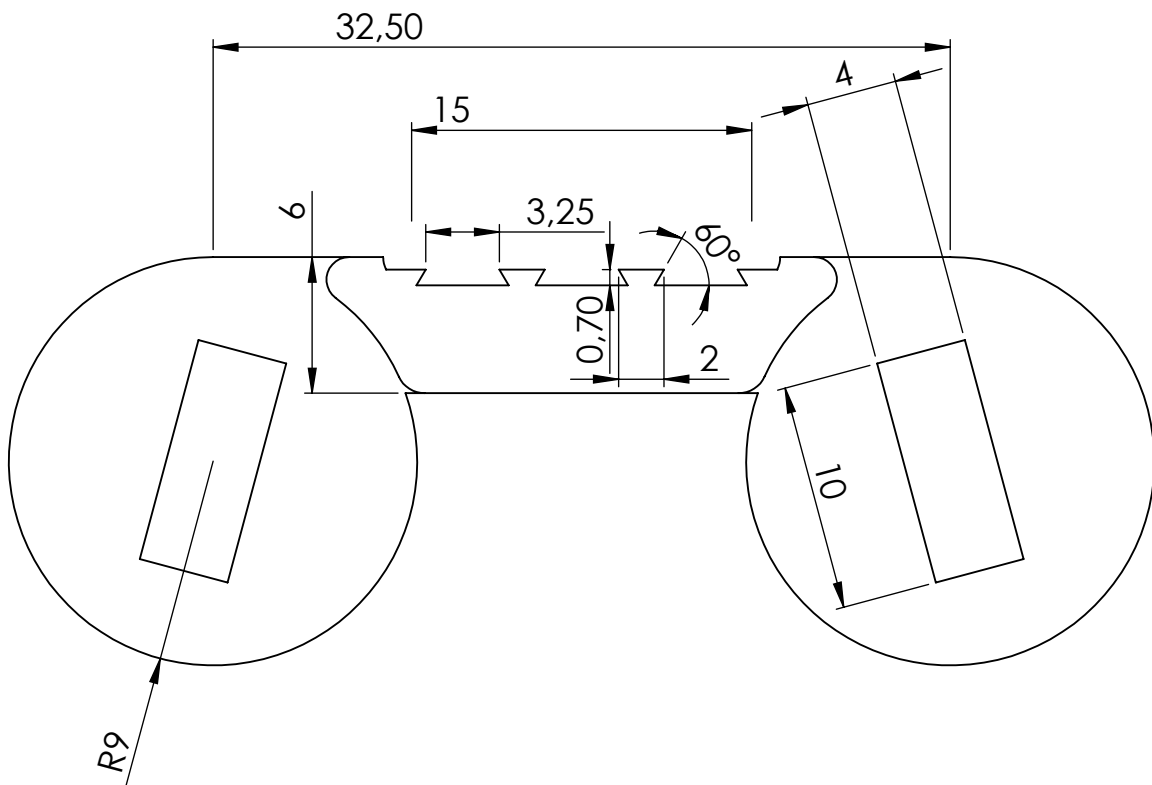
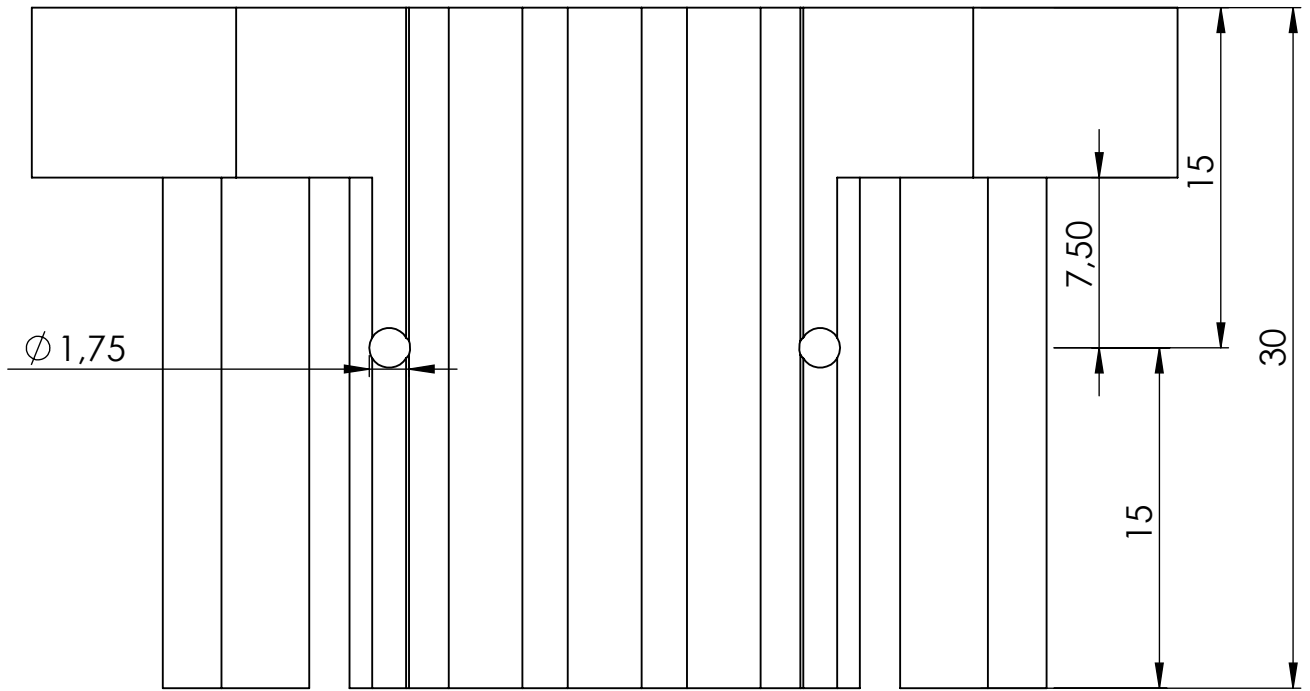
DIBUJ.	D.Cardin	11/01/2016	TÍTULO:	Garra Mecánica	
CALID.	+0.1mm	+1°	N.º DE DIBUJO	GF - Tapa	
MATERIAL:			A4		
PLA			ESCALA:1:1		HOJA 1 DE 1
PESO:					



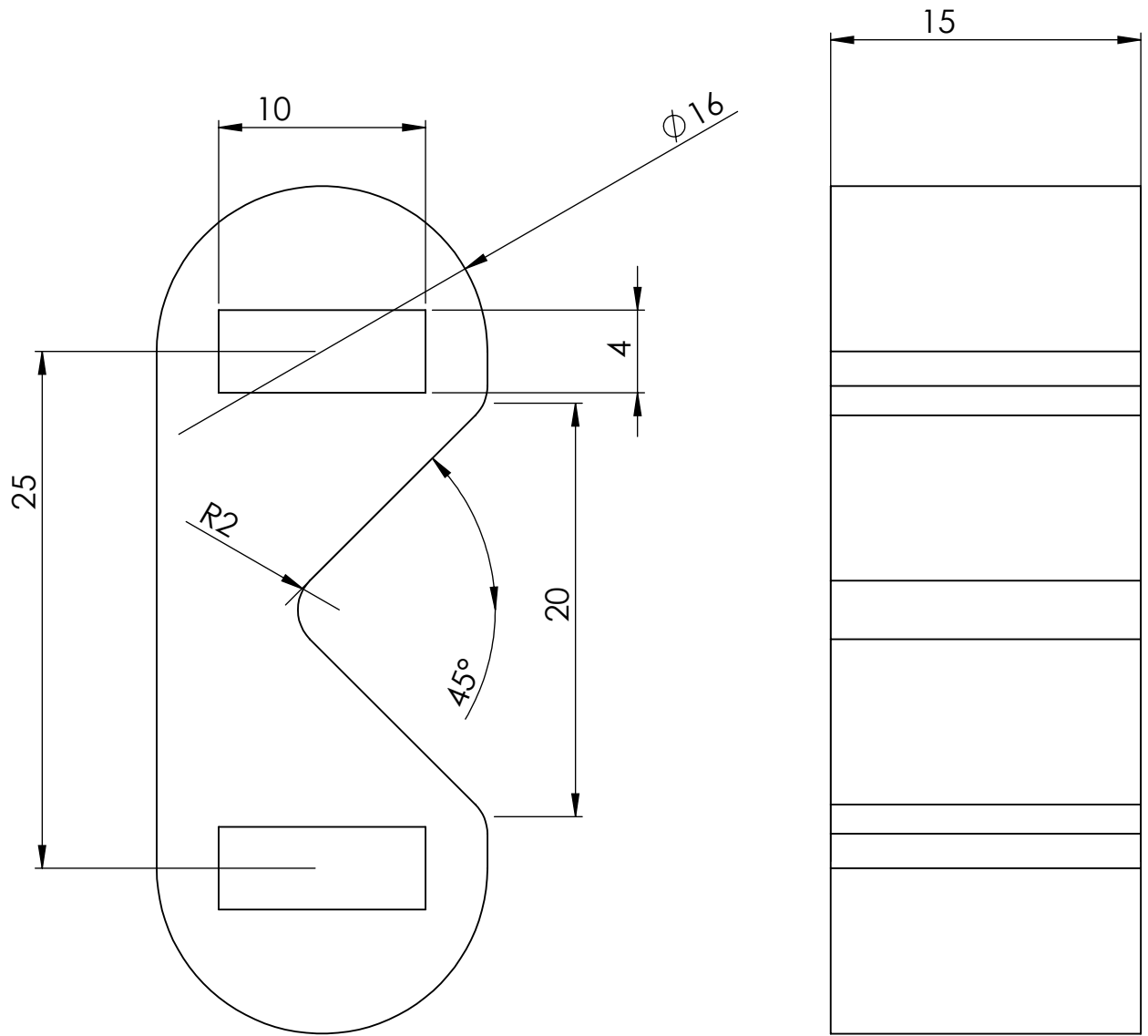
DIBUJ.	D.Cardin	11/01/2016	TÍTULO:	Garra Mecánica	
CALID.	+0.1mm	+1°	N.º DE DIBUJO	GF - Tope Base	
MATERIAL:	PLA		ESCALA:4:1	HOJA 1 DE 1	A4
PESO:					



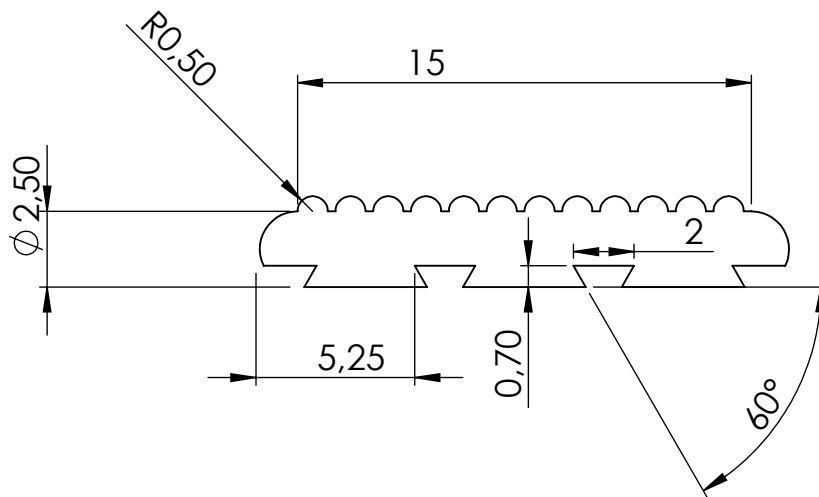
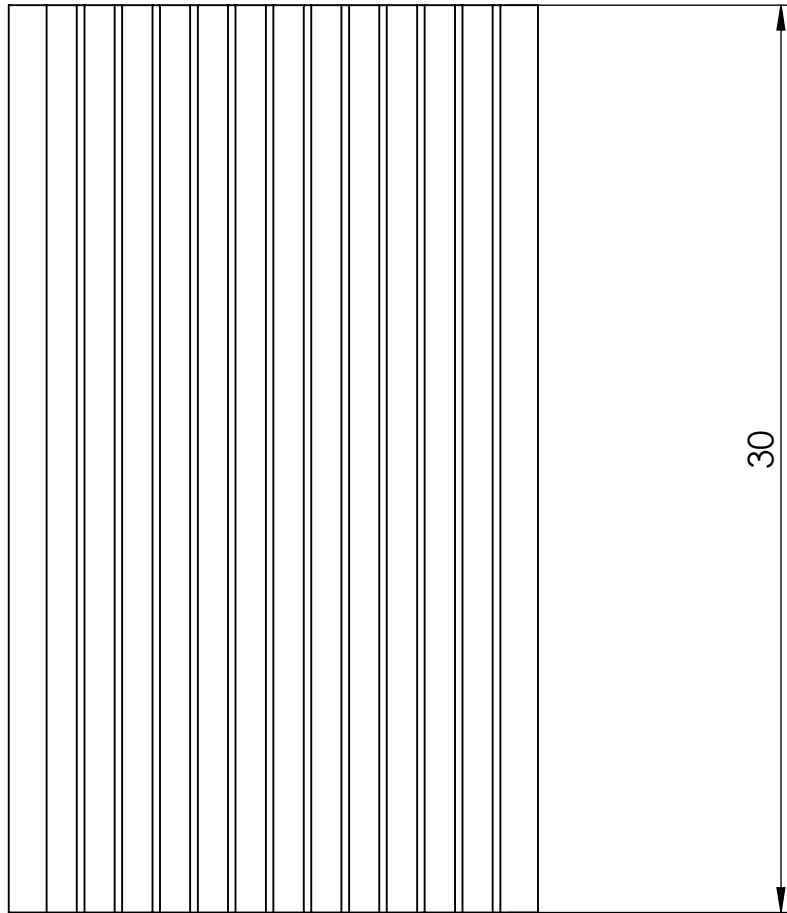
DIBUJ.	D.Cardin	11/01/2016	TÍTULO:	Garra Mecánica	
CALID.	+0.1mm	+1°	N.º DE DIBUJO	GF - Falange Distal	
MATERIAL:	FilaFlex		ESCALA:3:2	HOJA 1 DE 1	A4
PESO:					



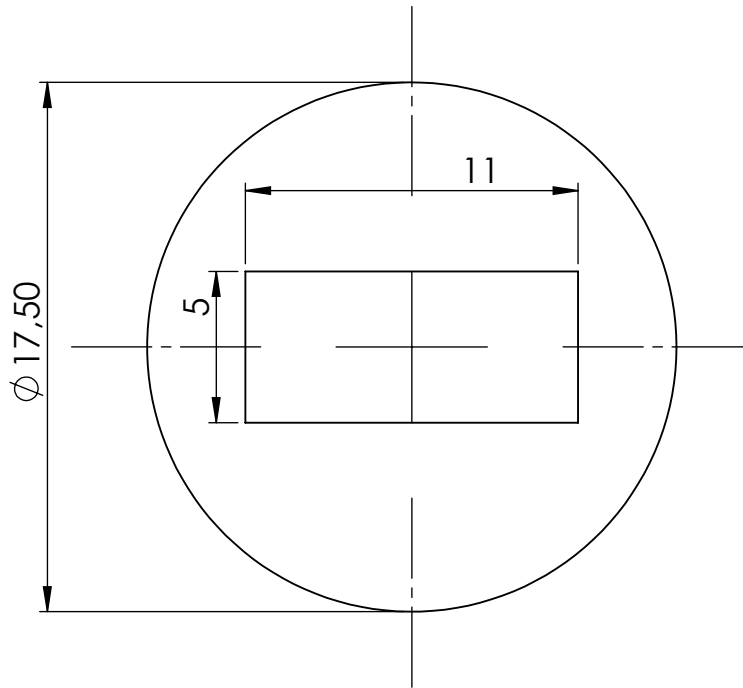
DIBUJ.	D.Cardin	11/01/2016	TÍTULO:	Garra Mecánica	
CALID.	+0.1mm	+1°	N.º DE DIBUJO	GF - Falange Pr.	A4
MATERIAL:			PESO:		
PLA			ESCALA:3:1		
			HOJA 1 DE 1		



DIBUJ.	D.Cardin	11/01/2016	TÍTULO:	Garra Mecánica	
CALID.	+0.1mm	+1°	N.º DE DIBUJO	GF - Union	
MATERIAL:			A4		
FilaFlex			ESCALA:3:1		HOJA 1 DE 1
PESO:					



DIBUJ.	D.Cardin	11/01/2016	TÍTULO:	Garra Mecánica	
CALID.	+0.1mm	+1°	N.º DE DIBUJO	GF - Almohadilla	A4
MATERIAL:	FilaFlex		ESCALA:4:1	HOJA 1 DE 1	
PESO:					



DIBUJ.	D.Cardin	11/01/2016	TÍTULO:	Garra Mecánica	
CALID.	+0.1mm	+1°	N.º DE DIBUJO	GF - Tope	A4
MATERIAL:	PLA		ESCALA:4:1	HOJA 1 DE 1	
PESO:					

8. ARTÍCULO



DESIGN AND EVALUATION OF A GRIPPER

Daniel Cardin-Catalan

ABSTRACT

A new mechanical gripper design is presented. The gripper shows a robust design which has been possible thanks to various preliminary designs to see the error that they have. The gripper is made to be 3D printed, a manufacturing technique that helps making fast prototypes at a low cost. Once we have the final prototype to test its efficacy we do some test with it and a homemade universal gripper. The test is a simply picking and releasing task, where both grippers have to grasp ten different objects, move them to another place and release them. Finally we describe the kind of objects that the grippers can grab and how can the designed gripper can be actuated and combined with a universal gripper.

INTRODUCTION

Grippers nowadays have a wide range of shapes, materials and systems of actuation depending on the task that they are going to develop [1]-[11]. The main task of the grippers is to grasp and manipulate the highest variety of objects. The grasp need to be strong enough to prevent the object from sliding down and fall, but not too strong because it can damage the object while grasping.

With the appearance of new materials and new manufacturing methods few years ago the design of robotic grippers for grasping and manipulation have improved and new kind of grippers have been shown by diverse authors.

One author design [12] a 3-finger hand with underactuated fingers, they get the movement thanks to a mechanism and a worm gear attached to a servo actuator. All the pieces that compose the hand are open-source and can be downloaded to be 3D printed. This design is interesting because it introduces a mechanism able to get 2 degrees of freedom (DOF) with only one actuation system.

Other author work [13] makes a hand design with a different way of manufacturing, the Shape Deposition Manufacturing (SDM). With this method they were able to create a hand with elastic materials. The 4-fingered hand can grasp objects even if the controller has large positioning errors.

The hand is tendon actuated and can return to his original form thanks to the elastic proprieties of the material.

Apart from hand designs in some works researchers also looks for ways of activation for the fingers. In [14] the author develop a way to manipulate a 2 DOF finger with two Pneumatic Artificial Muscle (PMA). The PMA generates a movement more similar to the human grasp than other kind of methods and it is an average solution in case of flexibility and performance.

OBJECTIVE

The main objective of this work is the design and subsequent selection of the best gripper, or a combination of them, to get the most suitable grip for a series of unknown objects.

Other secondary objectives would be:

1. Design and manufacture several prototypes of gripping systems, with which tests can be carried out to pick up various objects.
2. Evaluate the type of objects that can be manipulated with each claw. With this objective we will be able in the future to be able to place several systems in a robot and that this one can select the optimum depending on the object to be grasped.
3. Perform a comparison between claws, indicating their characteristics and relevant factors. To know their strengths and weaknesses and improve them in future research

GRIPPER DESIGN

Preliminary design

The gripper design is made to accomplish a series of specifications. The most important of them are that the gripper must be light, simple, 3D-printable, cheap and efficient.

Based on these specifications some of the characteristics of the gripper are chosen. The chosen ones are that the transmission system must be tendon driven, the underactuation of the finger and the return to the initial position must be provided by using elastic materials and it has to have between 3 and 5 fingers.

Given the specifications a preliminary design is made with a 3D modelling software. To have different design alternatives two finger designs are modelled, both can be seen at Illustration 1.

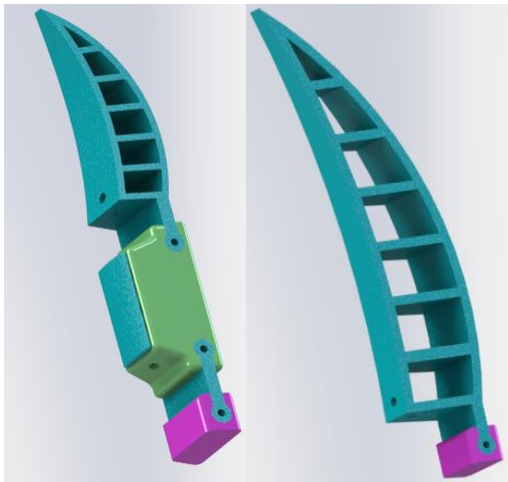


Illustration 1. Finger designs

To test them a prototype is fabricated using a 3D printer, the first prototypes can be seen at Illustration 2.

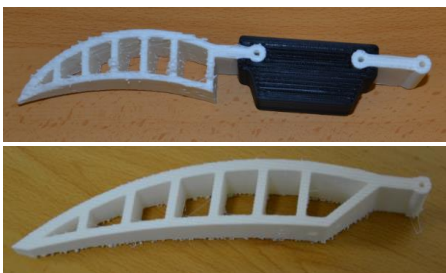


Illustration 2. Finger prototypes

While doing some testing with the finger prototypes some defects of design and manufacturing are discovered. The flexible parts have deformations in the lateral directions of the finger instead of how they are supposed to move, the objects fell off from the gripper due to the lack of friction in the fingers, the union piece between the phalanges in the first alternative of finger is too thick and it causes unexpected movements of the finger.

Final design

To solve the problems a new version for both finger alternatives are designed. In the new design the lateral deformation is solved by putting some lateral rigid parts in the proximal phalanx of the finger in the first alternative and by dividing the finger in two pseudo-phalanges in the other alternative. The result is seen in Illustration 3.

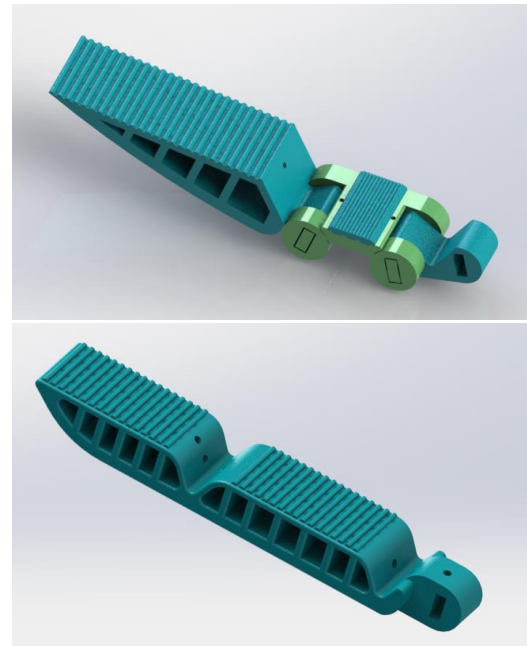


Illustration 3. Final design

To hold all the fingers and let them do all the gripping movement a base is designed to assure that the fingers stay in an opposition way while the gripping is taking course so the object receives 2 opposed and equal forces that do not generate internal torques in the grasped object, so it will not rotate and fell of the gripper. The Illustration 4 shows final assembly with the base and the fingers for the first alternative of finger design.

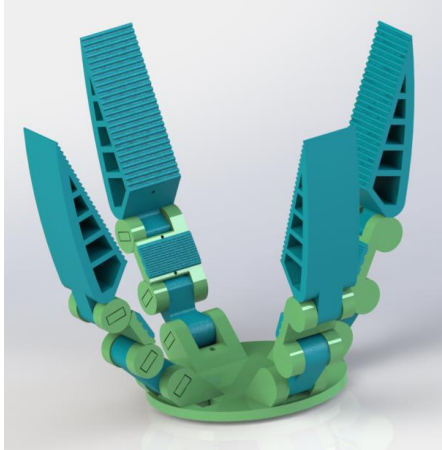


Illustration 4. Final assembly

Once the final design is made, it follows the same process as the preliminary designs, so a new 3D-printed prototype of the final version is made. The prototype can be seen at Illustration 5.

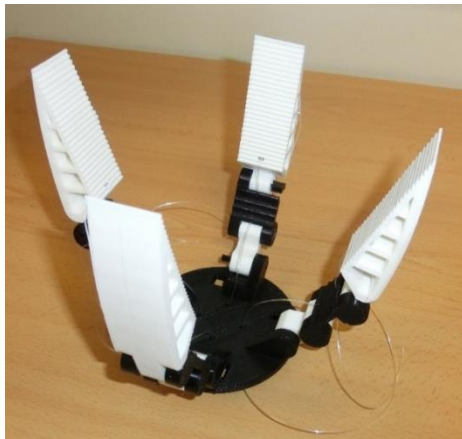


Illustration 5. Prototype of the final version

GRIPPER EVALUATION

The gripper design is compared with a homemade universal gripper. The universal gripper is made following the instruction in [15], and the final result is shown in Illustration 6.

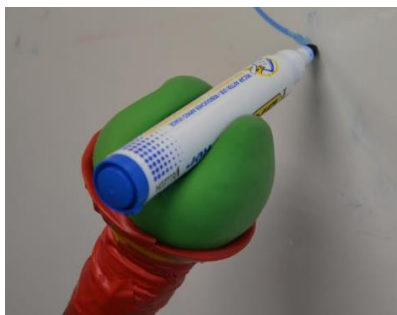


Illustration 6. Homemade universal griper

The universal gripper is a new gripping system, which consists basically of a spherical plastic bag filled with granular material, usually ground coffee or similar. The universal gripper works when the void is made inside between the particles friction is generated and the gripper acts as a rigid object and makes a grasp [16][17].

The test consists of grasping a set of objects and moving them to another location.

The objects are shown at Illustration 7, and described at Table 1.



Illustration 7. Set of objects

Object	Description
PHOLD	Pencil holder
COLOUR	Colour plastic glasses
ROTU	Black marker pen
PART	Gripper small part
SHARPIE	Sharpie markers
LAB	Lab security glasses
PLUG	Box of plug protectors
BALL	Green sponge ball
TOY	Dog toy
SCRW	Screwdrivers box

Table 1. Object description

The trial simulates the gasping of an object and the posterior transportation to another place. In Illustration 8 is shown the way that a grasp is made using the gripper. The grasp is done manually with fishing line as a tendon.



Illustration 8. Manual grasp

RESULTS

The test have five parts, if all the parts are completed with success the test will be treat as a success too.

1. Hand positioning above the object
2. Object grasping
3. Object lifting
4. Object transportation to another position
5. Object release

Object	Designed	Universal
PHOLD	100%	0%
COLOUR	80%	0%
ROTU	0%	100%
PART	0%	100%
SHARPIE	100%	0%
LAB	100%	0%
PLUG	100%	0%
BALL	100%	0%
TOY	100%	0%
SCRW	80%	0%

Table 2. Results

The results are shown in the Table 2, in where it can be seen that the designed gripper have a great performance in terms the majority of object, around 80%-100%, except for the littlest objects.

Moreover the universal gripper prototype has a 100% efficiency with the small objects, as it can be seen at Illustration 9.



Illustration 9. Universal gripper grasping PART

In the Illustration 10 an actuation method is shown, in this case with a pneumatic cylinder. The cylinder is attached to a platform where the tendons are tied, so when the cylinder is activated the base pulls the tendons and they activate the movement of the fingers at the same time.

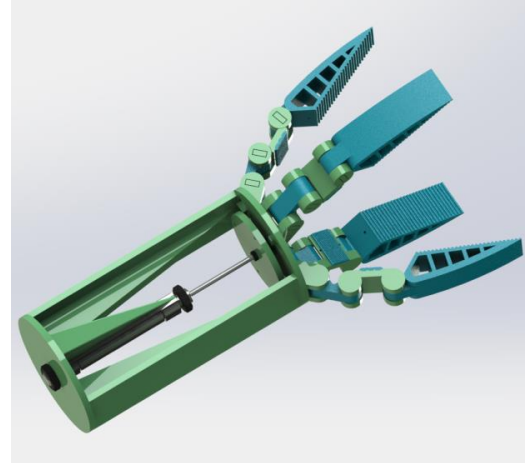


Illustration 10. Actuation by pneumatic cylinder

The next step is to describe the relevant characteristics as the class of object that can grasp both grippers:

- Designed gripper: This claw has a combination of both elastic and rigid materials, which allows the grip to adapt to the object to be manipulated. It can take a wide range of objects, as long as they are large enough for the hand to be able to grasp them well, smaller objects have difficulties
- Universal gripper: This system possesses the advantage of its great adaptability, being able to adapt to the shape of the object to catch quickly and immediately. You can pick up irregular objects and small objects among others, as long as there is an area where you can hold the object, it presents difficulties in objects with flat faces where it can not cover an irregularity.

Seeing that both systems complement each other it can be taken into consideration the design of a new mechanical claw that combines both systems in one to achieve maximum efficiency in grip. This system is presented as an alternative to the previous designs presented, it's a combination of the mechanical claw with the universal system.

This kind of combined gripper can be present in future research, because both methods of gripping complement each other very well.



Illustration 11. Combination of universal and designed gripper

This alternative combines the possibility of only acting the universal system, thanks to the initial position of the fingers, which are behind the adaptive part of the universal system, with the possibility of triggering the fingers to catch larger objects. You can also combine both options and make a combined grip, first catching with the universal system and ensuring the grip with the mechanical fingers.

CONCLUSIONS

The gripper features a sturdy design. This design has been possible thanks to several preliminary designs and tests with several preliminary prototypes to see the faults that they have and to be able to solve them when making the following design. The claw design also allows the rapid construction of prototypes through 3D printing, which has visibly reduced the preliminary evaluation time of the claw and the design of the final alternative.

Therefore, both the preliminary prototypes and the final prototypes have succeeded in achieving the secondary objective of designing several prototypes of mechanical grippers to test with them.

The last secondary objective is also obtained from the reflections of the previous point. It is appreciated that the claw designed has as its strong point its adaptability to large objects and with some regularity, while the universal grip system achieves good results in small objects and irregularities. As both are complementary when combined results a combined system where one claw covers the weak points of the other. But this combination still has a weak point, still unable to grasp objects with large flat surfaces. This is where the suction cup comes in, taking care of this type of objects, while it has faults in very small objects or with irregular surfaces. So as a final proposal it is suggested that the robot has two arms where both alternatives can be placed, or an arm that can alternate between them.

Finally it's concluded that the experiments have been carried out with prototypes with little development. These gripping systems have a wide range of improvement, which will continue to be addressed in future research to make the final system as effective as possible.

REFERENCES

- [1] J. Amend, N. Cheng, S. Fakhouri, and B. Culley, "Soft Robotics Commercialization: Jamming Grippers from Research to Product," *Soft Robotics*, 2016.
- [2] M. Bolboe and I. Staretu, "Antropomorphic gripper with two symmetrical fingers, designed for industrial robots," *23rd Int. Conf. Robot. Alpe-Adria-Danube Reg. IEEE RAAD 2014 - Conf. Proc.*, 2015.
- [3] N. Chavan-Dafle, M. T. Mason, H. Staab, G. Rossano, and A. Rodriguez, "A two-phase gripper to reorient and grasp," *IEEE Int. Conf. Autom. Sci. Eng.*, vol. 2015-October, pp. 1249-1255, 2015.
- [4] R. Datta, S. Pradhan, and B. Bhattacharya, "Analysis and Design Optimization of a Robotic Gripper Using Multiobjective Genetic Algorithm," vol. 46, no. 1, pp. 16-26, 2016.

- [5] G. Endo and N. Otomo, "Development of a food handling gripper considering an appetizing presentation," *Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, vol. 2016-June, pp. 4901-4906, 2016.
- [6] G. Franchi, A. Ten Pas, R. Platt, and S. Panzieri, "The Baxter Easyhand: A robot hand that costs \$150 US in parts," *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, vol. 2015-Decem, pp. 2917-2922, 2015.
- [7] M. Goldfarb and N. Celanovic, "A flexure-based gripper for small-scale manipulation," *Robotica*, vol. 17, no. 2, 1999.
- [8] N. Karnati, B. A. Kent, and E. D. Engeberg, "Bioinspired sinusoidal finger joint synergies for a dexterous robotic hand to screw and unscrew objects with different diameters," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 18, no. 2, pp. 612-623, Apr. 2013.
- [9] M. Salerno, K. Zhang, A. Menciassi, and J. S. Dai, "A Novel 4-DOF Origami Grasper With an SMA-Actuation System for Minimally Invasive Surgery," *IEEE Trans. Robot.*, vol. 32, no. 3, pp. 484-498, 2016.
- [10] J. M. Romano, K. Hsiao, G. Niemeyer, S. Chitta, and K. J. Kuchenbecker, "Human-inspired robotic grasp control with tactile sensing," *IEEE Trans. Robot.*, vol. 27, no. 6, pp. 1067-1079, Dec. 2011.
- [11] K. Yamaguchi, Y. Hirata, and K. Kosuge, "Development of robot hand with suction mechanism for robust and dexterous grasping," *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, pp. 5500-5505, 2013.
- [12] K. Telegenov, Y. Tlegenov, and A. Shintemirov, "A low-cost open-source 3-D-printed three-finger gripper platform for research and educational purposes," *IEEE Access*, vol. 3, pp. 638-647, 2015.
- [13] A. M. Dollar and R. D. Howe, "The Highly Adaptive SDM Hand: Design and Performance Evaluation," *Int. J. Rob. Res.*, vol. 29, no. 5, pp. 585-597, Apr. 2010.
- [14] T. Nuchkrua, T. Leephakpreeda, and T. Mekarporn, "Development of robot hand with Pneumatic Artificial Muscle for rehabilitation application," *Nano/Molecular Med. Eng. (NANOMED)*, 2013 *IEEE 7th Int. Conf.*, pp. 55-58, 2013.
- [15] <https://goo.gl/maV3FQ>, "18 de enero de 2017."
- [16] J. R. Amend, S. Member, E. Brown, N. Rodenberg, and H. M. Jaeger, "A positive pressure universal gripper based on the jamming of Granular Material," vol. 28, no. 2, pp. 341-350, 2012.
- [17] E. Brown *et al.*, "Universal robotic gripper based on the jamming of granular material," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 107, no. 44, pp. 18809-18814, 2010.