



Universidad Carlos III de Madrid

TRABAJO FIN DE GRADO

*Impresión ,Control y mejora de una mano
mecatrónica*

Autor: Vicente Villanueva Torres

Tutor: Alberto Valero Gómez

5 de mayo de 2012



Índice

1 – Resumen	pag. 1
2 – Introducción	pag. 2
3 – La mano humana	pag. 3
4 – Movimientos y posiciones de la mano humana	pag. 7
5 – Manos antropomórficas existentes	pag. 11
5.1 – Sheffield-Hand	pag. 11
5.2 – Tokyo Hand	pag. 12
5.3 – Elumotion-Hand (ELU-1 Hand)	pag. 13
5.4 – ELU- Hand	pag. 13
5.5 – Edinburgh Electric Hand	pag. 13
5.6 – RAPHaEL Air Powered Hand	pag. 14
5.7 – Gifu	pag. 14
5.8 – Ultralight Anthropomorphic Hand	pag. 15
5.9 – UB Hand	pag. 16
5.9.1 – UB Hand II	pag. 17
5.9.2 – UB Hand III	pag. 17
5.10 – Handle	pag. 19
6 – Manos Antropomórficas imprimibles	pag. 21
6.1 – Primera propuesta	pag. 22
6.2 – Segunda propuesta	pag. 23
6.3 – Tercera propuesta	pag. 24
6.4 – Cuarta propuesta	pag. 25
6.5 – Quinta propuesta	pag. 26
6.6 – Sexta propuesta	pag. 27



6.7 – Séptima propuesta	pag. 28
6.8 – Octava propuesta	pag. 29
6.9 – Novena propuesta	pag. 30
7 – Impresión de la mano seleccionada	pag. 31
8 – Montaje de la mano impresa	pag. 33
9 – Mejoras para la mano impresa montada	pag. 38
9.1 – Caso 1	pag. 38
9.2 – Caso 2	pag. 39
9.3 – Caso 3	pag. 39
9.4 – Caso 4	pag. 39
9.5 – Caso 5	pag. 40
9.6 – Caso 6	pag. 40
9.7 – Caso 7	pag. 40
10 – Sistemas y actuadores para implantar en la mano impresa	pag. 42
10.1 – Microcontrolador	pag. 42
10.2 – Placa controladora	pag. 43
10.3 – Actuadores	pag. 45
11 – Pruebas de movimiento	pag. 46
11.1 – Primera prueba	pag. 46
11.2 – Segunda prueba	pag. 49
11.3 – Tercera prueba	pag. 54
11.4 – Cuarta prueba	pag. 55
12 – Presupuesto	pag. 58
13 – Conclusiones finales y trabajos futuros	pag. 59
14 – Bibliografía	pag. 59



1 - Resumen

Este documento presenta:

- Un estudio de la mano humana.
- Un estudio de las manos antropomórficas existentes.
- Un estudio de las manos imprimibles por una impresora 3D.
- La implementación de una mano imprimible de 5 grados de libertad.
- La evaluación de la mano impresa.
- Mejoras de la mano impresa.
- Automatización de la mano impresa mediante actuadores (Servo-motores) controlados por un microcontrolador programado en Arduino.
- Diseño e implementación de una muñeca con dos grados de libertad para la mano impresa.

El propósito de este trabajo de fin de grado es poder tener una mano antropomórfica, imprimible y automatizada que se ajuste a los movimientos reales de una mano humana a un coste muy reducido que diste mucho de los precios actuales de las que existen.



2 - Introducción

El agarre de la mano humana posee una sorprendente flexibilidad e incomparable destreza, tal que ha llamado la atención de muchos investigadores. El estudio del agarre humano como modelo humano ha llevado a la construcción de innovadores pero costosos prototipos de manos antropomórficas, para ser utilizadas como partes funcionales de robots antropomórficos.

La mayoría de los prototipos disponibles tienen un control complejo y un alto costo.

Muchos trabajos han sido enfocados a la descripción, al modelado matemático o incluso a la simulación del proceso de prensión humana, con el objetivo de entender el proceso de manipulación de un objeto.

Los principales trabajos realizados hasta hoy tratan sobre diversas configuraciones de estructuras mecánicas y controles de diversos tipos que se comparan con las tareas que puede realizar una mano humana. Esto es, que cada proyecto determina las diversas posibilidades de manipulación y de estabilidad en función del número de dedos y de sus grados de libertad.

Actualmente, la concepción de las manos artificiales toma en cuenta los resultados adquiridos de la investigación y permite encontrar estructuras relativamente simples, capaces de tomar y de manipular ciertos objetos con una relativa destreza.

Este proyecto trata el diseño de un prototipo de mano y muñeca articuladas con 7 grados de libertad, económico y de funcionamiento sencillo, que tiene un tamaño igual que la extremidad media de un varón adulto. Caracterización y validación experimental se han desarrollado con manos humanas y con el prototipo que sido construido como resultado del estudio del agarre humano.



3 - La mano humana

Es una maravillosa herramienta, capaz de ejecutar innumerables acciones gracias a su función principal: la presión, la cual Aristóteles definía como: *“El conjunto de movimientos efectuados por la mano con la intención de coger o agarrar un objeto. Es una función delicada, precisa, pero muy potente. Todos los elementos anatómicos del miembro superior concluyen a asegurar a la presión a su máximo de perfección y de potencia, es el instrumento de los instrumentos”*.

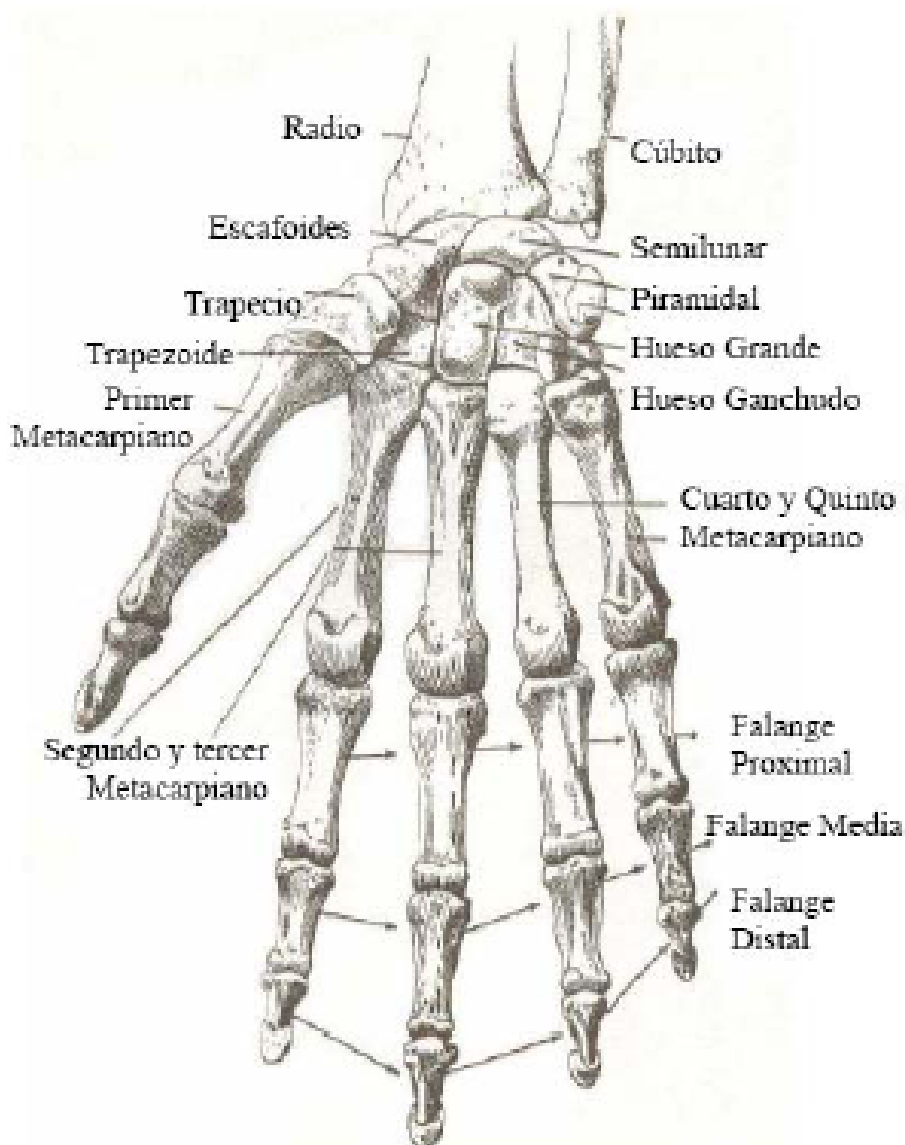
La mano esta dotada de una gran riqueza funcional que le proporciona una gran abundancia de posibilidades en las posiciones, los movimientos y las acciones. La función de poder ejercer presión se debe a la colocación del pulgar, que se puede oponer a todos los de más dedos. La mano no es solo un órgano de ejecución, también es un receptor funcional muy sensible.

También es la educadora de la vista, permitiéndole controlar e interpretar las informaciones. Sin la mano nuestra visión del mundo sería plana y sin relieve. Constituye la base del sentido del espacio. Además de educar e informar al cerebro con las notificaciones de superficie, peso y temperatura. Ya que es capaz de reconocer objetos sin necesidad de la vista.

La mano cuenta con cuatro dedos similares que son: el Índice, Medio, Anular y Menique, y lo único que les diferencia es su distancia y posición. Los cuatro cuentan con tres falanges, llamadas: Proximal, Medial y Distal. Las articulaciones de estos dedos se llaman articulaciones interfalángicas distales y proximales. Las articulaciones interfalángicas distales permiten un movimiento relativo entre la falange distal y la falange media, así como las interfalángicas proximales que de igual manera permiten el movimiento relativo de las falanges medial y proximal. En la articulación metacarpofalángicas las falanges proximales se acoplan con los huesos del metacarpo para lograr los movimientos de flexión y extensión, y la aducción y abducción.

El esqueleto de la mano esta formado por ocho huesos, cuyo conjunto constituye el esqueleto de la muñeca o carpo, cinco huesos largos que forman el metacarpo, y por

último, catorce huesos, también lagos, llamados falanges, que constituyen el esqueleto de cada dedo.

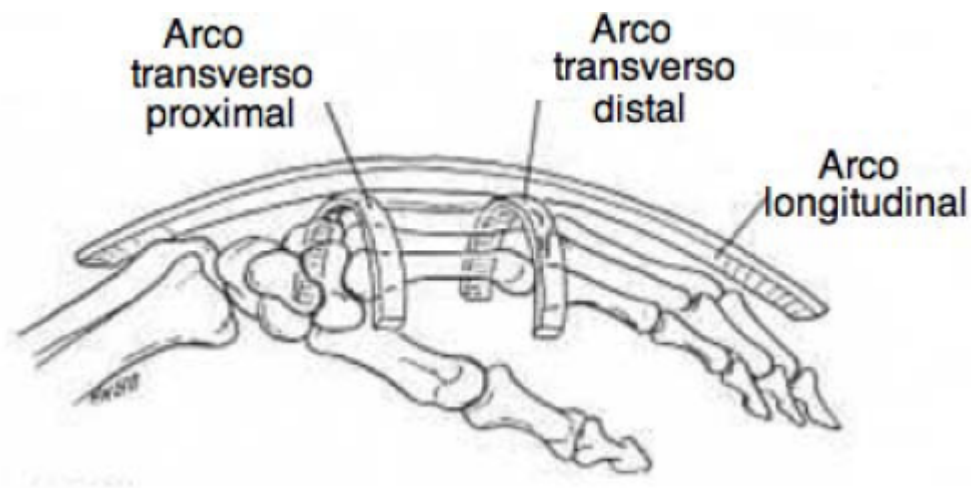


- Figura 1 -

(Huesos de la mano)

En la Figura 1 podemos observar la estructura ósea en la que cada dedo está compuesto por tres falanges, a excepción del dedo pulgar, que solo tiene dos. EL dedo pulgar esta fijo por debajo de los otros dedos y puede realizar movimientos de cierre y rotación (Circonducción), de forma que el plano de orientación cambia permitiendo a este oponerse a los dedos: índice, medio, anular y menique, debido a la gran movilidad de su metacarpo, como podemos observar más adelante en la Figura 4.

Desde hace tiempo se han desarrollado manos articuladas que intentan igualar algunas de las funciones de la mano humana. Una de las principales dificultades para la fabricación de esta es la complejidad que tiene una mano humana ya que debido a la cantidad de articulaciones (22 Grados de Libertad) y a su estructura construida desde la muñeca, proporciona movimientos relativos entre los nudillos, conservando una relación de tres arcos flexibles principales que le otorgan mayor superficie de trabajo (Figura 2) y lo que le permite tener una gran capacidad de sujeción para una amplia variedad de objetos de distintas formas y configuraciones.



- **Figura 2** -
(Arcos de la mano)

La mano humana se encuentra conectada a la muñeca y como ya hemos mencionado anteriormente posee veintidós grados de libertad que son movidos por cerca de cuarenta músculos.

En total tenemos veintisiete elementos rígidos llamados huesos los que conforman la mano humana, que son los ocho huesos que forman la muñeca de la mano o carpo (Que son: escafoides, semilunar, piramidal, pisiforme, trapecio, trapezoide, hueso grande y hueso ganchudo), cinco huesos con los que forman el metacarpo (Primero, segundo, tercero, cuarto y quinto metacarpianos), de los cinco metacarpianos el primero es el mas



importante, ya que es de suma importancia para la manipulación tan excepcional de la que es capaz de realizar la mano humana ya que este elemento permite la oposición de pulgar, los otros cuatro se pueden considerar como uno solo ya que, estos cuatro metacarpianos restantes son los que constituyen la palma de la mano. Y las falanges, las cuales le dan estructura a los de dos muy móviles (Cinco falanges proximales, cuatro falanges mediales y cinco distales).

Con respecto al sistema sensorial somático, este nos proporciona algunas de las experiencias más agradables de la vida, así como algunas de las más desagradables. La sensibilidad somática permite a nuestros cuerpos sentir, experimentar dolor, tener escalofríos y saber que están haciendo las diversas partes del cuerpo. Es sensible a muchos tipos de estímulos como la presión de objetos contra la piel, la posición de músculos y articulaciones, y la temperatura de las distintas partes del cuerpo. Cuando los estímulos pueden ser perjudiciales existe una sensación somática que nos permite percibir estas circunstancias, esto es el dolor.

A diferencia de otros sentidos sus receptores están distribuidos por todo el cuerpo. Por otra parte al responder a varios estímulos diferentes se puede considerar como un grupo de al menos cuatro sentidos:

- Tacto
- Temperatura
- Posición de partes del cuerpo
- Dolor

Un estímulo individual suele activar muchos receptores y un solo receptor ya es capaz de codificar características del estímulo, como la intensidad, duración, posición, velocidad Etc.

4 - Movimientos y posiciones de la mano humana

La articulación de la muñeca tiene dos grados de libertad y soporta la totalidad de cualquier esfuerzo que hace la mano más su propio peso.

Los dedos también tienen dos grados de libertad en su articulación con la palma, esta se llama metacarpofalangeal, ya que articula la falange proximal con el hueso metacarpiano. Uno de los movimientos, el lateral, que nos permite abrir los dedos es muy limitado, pero el otro, llamado flexión, es extremadamente amplio, como podemos ver en la Figura 3.



- **Figura 3** -
(Dedo Índice)

En la siguiente tabla se presenta las características del dedo índice cuyo aspecto es muy similar a los demás dedos.



Parte	Articulación	Ángulo Flexión-Extensión	Ángulo Abducción-Aducción
Pulgar	DIP	60	--
	PIP	100	--
	MCP	90	60
Dedos restantes	IP	85	--
	MCP	50	30
	CMC	120	45

La palma de la mano es el soporte de los dedos humanos, los cuales tienen cuatro grados de libertad cada uno, y es debido a esto que la mano humana es altamente funcional.

Como hemos mencionado anteriormente el Pulgar tiene una excepcional movilidad, por esto es absolutamente clave en las habilidades de manipulación, y los otros cuatro dedos se mueven de manera limitada en sentido lateral, aunque su capacidad de flexión, para abrir y cerrar la mano, es muy buena. Esta capacidad de flexionar así los dedos es muy importante para la habilidad de atrapar objetos y mantenerlos con seguridad.

Con el término abducción se entiende el movimiento de salida del dedo del eje del brazo, como es mostrado en la figura 3. El movimiento de Extensión / Abducción es la capacidad de extensión del pulgar hacia la parte exterior y flexión hacia el interior de la palma, cuando ambos se encuentran en un mismo plano. La gran cantidad de músculos y juntas que están presentes en la mano permiten esta gran variedad de configuraciones de agarre.

En la Figura 1 hemos podido apreciar que el dedo pulgar está fijo en una posición más baja que los demás, gracias a su hueso metacarpo que le permite cerrar y rotar de forma que el plano de orientación cambia permitiendo a este oponerse a los dedos índice, corazón, anular y meñique. Los movimientos de aducción y abducción permiten al pulgar moverse hacia dentro y fuera de la palma de la mano.



(Aducción)



(Abducción)



(Circumducción)



(Extensión / Abducción del pulgar)

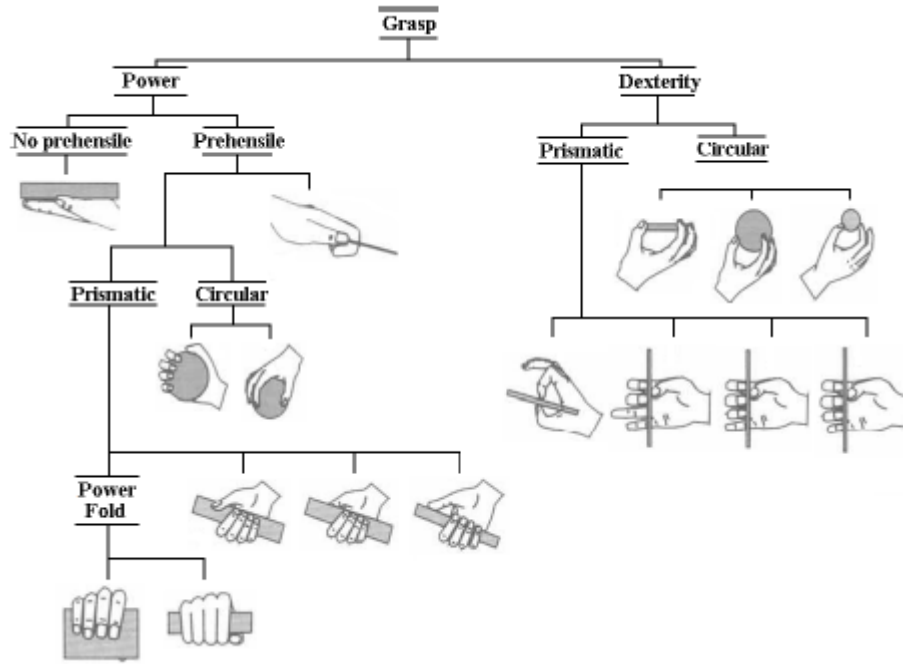


(Oposición)

- Figura 4 -

Los músculos y articulaciones de la mano permiten una gran variedad de configuraciones de sujeción que pueden ser divididas en dos grandes grupos: los prensiles y los no prensiles: *movimiento prensil*, o movimientos en los cuales un objeto es agarrado y mantenido parcial o totalmente dentro de la mano; y *no prensil*, o movimientos en los cuales no son realizadas acciones de agarre pero los objetos pueden ser manipulados empujándolos o levantándolos con la mano entera o con los dedos individualmente.

En 1919, Schlesinger desarrollo una clasificación taxonómica sobre las habilidades de la mano para el estudio de la destreza de las manos humanas. Este agrupo en seis categorías las diferentes estrategias de agarre de la mano: agarre cilíndrico, de punta, de gancho, de palma, esférico, y de lado. Están organizados de la siguiente forma como se puede observar en la figura 4.



- **Figura 5** -
(Modelos prensiles humanos)

5 - Manos antropomórficas existentes

Nombre Mano	Autor	Año	Tamaño (noml.)	# de Dedos	GDL	Actuadores (tipo)	Contr	# de Sensores	Peso (g)	Fuerza (N)	Vel. (s)
Humana	(Kandel)	2000	1	5	22	38 (Muscl)	E	≈17'000	≈ 400	> 300	0.25
Okada	(Okada)	1979	> 1	3	11	E	E	-	-	-	-
Utah/MIT	(Jacobsen)	1983	> 2	4	16	32 (P)	E	16	-	31.8	-
Stanford/JPL	(Salisbury)	1983	≈ 1.2	3	9	12 (E)	E	-	1100 ²	-45	-
Belgrade/USC	(Bekey)	1988	≈1.1	4	4	4 (E)	E	23+4	-	-	-
Barret	(Townsend)	1998	≈1	3	4	I	E	-	-	-	-
UB	(Bonivento)	1992	≈1	3	13	E	E	-	-	-	-
MARCUS	(Kyberd)	1995	> 1.1	3	2	2 (E)	I	3	-	-	-
NTU	(Li-Ren)	1996	≈ 1	5	17	17 (E)	E	35	1570	-	-
DLR I	(Butterfas)	1997	>> 1	4	12	I	E	-	-	-	-
Hokkaido	(Fujii)	1998	> 1	5	7	7 (E)	E	-	125	-	-
LMS	(Gazeau)	1998	≈1	4	16	E	E	-	-	-	-
DIST	(Cafés)	1998	> 1	5	16	E	E	-	-	-	-
Robonaut	(Lovchik)	1999	≈ 1.5	5	12 + 2	14 (E)	E	43 + toque	-	-	-
Tokyo	(Lee)	1999	≈ 1	5	12	P	E	-	-	-	-
Southampton	(Light)	2000	> 1	5	6	6 (E)	E	-	400	38	2.5 ³
Karlsruhe	(Fukuya)	2000	≈ 1	5	17	17 (E)	E	-	20 ⁴	12	0.1
DLR II	(Butterfas)	2000	≈ 1.5	4	13	13 (E)	E	64	320	30	-
Ultralight	(Schultz.)	2000	>> 1	5	13	P	E	-	-	-	-
Gifu	(Kawasaki.)	2001	≈ 1	5	16	I	E	-	-	-	-
Ottobock SUVA	(Otto Bock)	2002	≈1	3	1	1 (E)	I	2	600	< 100	< 1
Shadow	(Shadow Co.)	2002	≈ 1.1	5	23	P	E	-	-	-	-
UMNG	(Ocampo.)	2004	≈ 1	4	12 + 2	12(E)	E	4 força	-	-	-

➤ 5.1 - Sheffield-Hand

Este trabajo aborda la enseñanza y el aprendizaje de la demostración de las primitivas de prensión para diestros manos robóticas.

Esta fue diseñada y creada en la Universidad de Orebro, Suecia. Esta mano tiene 12 grados de libertad. Los componentes de actuación de la Sheffield se han diseñado en módulos. Cada módulo lleva acabo la flexión y la extensión de un dedo a través de varillas telescópicas, con un elemento elástico.

Las varillas de tracción se asemejan a los tendones de los dedos, en una forma similar a cómo funciona la mano real. Un segundo módulo más pequeño, basado en el mismo principio, mueve los dedos de lado a lado y se sitúa dentro de la mano.



- Figura 6 -



➤ 5.2 - Tokyo Hand

La mano robótica Tokyo Hand, fue diseñada en la Universidad de Tokyo, y concebida para ayudar a personas mayores o discapacitadas. Por tal motivo, los robots deben tener manipuladores o manos robóticas con movimientos suaves.

El principal adelanto tecnológico que incorporó esta mano robótica fue el desarrollo de un actuador neumático de poco peso y pequeño basado en el Musculo Artificial de McKibben. Este actuador, creado especialmente para la mano robótica, tiene solo 3,5mm de diámetro y una longitud de 380mm. Gracias a sus materiales, este actuador realiza una fuerza máxima de 700gr, con una contracción inversamente proporcional a la fuerza de 30mm. Todo ello a una presión de 0,35MPa. Precisamente, una de las grandes ventajas de este actuador es que es capaz de realizar una gran cantidad de fuerza ocupando un espacio reducido y con un peso muy bajo. Esto, sin contar la fuente de alimentación del aire a presión. Este generador de aire a presión puede ser reemplazado por pequeños cartuchos de aire.

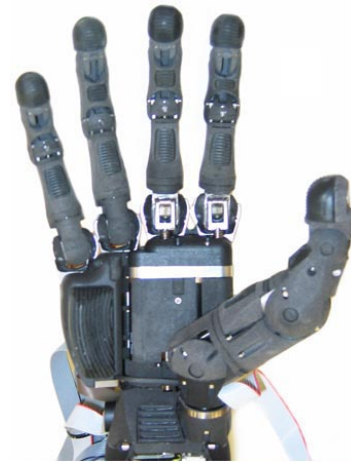
Para construir la estructura de la mano robótica de la Tokyo Hand, se partió de un modelo del esqueleto de una mano humana. La mano robótica posee 17 elementos independientes y 16 articulaciones. De éstas, 12 (una en la muñeca y 11 en la mano) son controladas por los actuadores neumáticos. Tanto los dedos como la palma de la mano son capaces de entrar en contacto con los objetos.

La energía neumática de los actuadores es suministrada a través de unas válvulas electromagnéticas, controladas directamente a través de un microprocesador. La fuerza mecánica, generada con la contracción de cada actuador, es la encargada de mover las articulaciones de la mano.

Los músculos neumáticos no sólo proveen a la mano de una gran fuerza, sino que también pueden funcionar como sensores de tensión. La presión interior del aire cambia acorde a la carga aplicada en el exterior y todo es controlado a través de un microprocesador y un programa especial. Esta última propiedad es muy interesante, pero la información aportada en este aspecto es muy poca y no queda muy clara la verdadera habilidad del sistema. La mano robótica está integrada a un antebrazo. Por lo tanto, no es posible utilizarla independientemente, aunque no depende del funcionamiento del mismo.

➤ 5.3 - Elumotion Hand

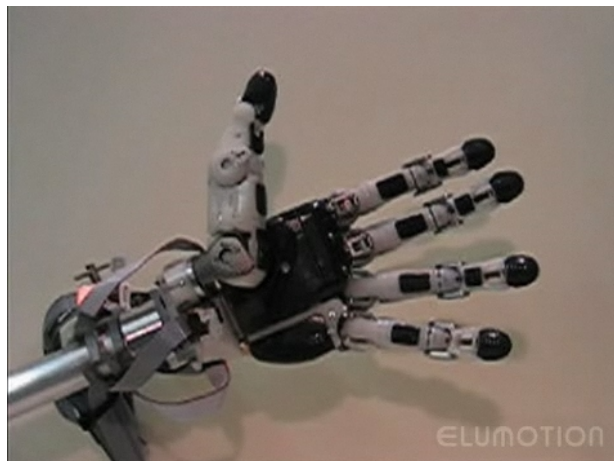
La Elu-1 Hand fue desarrollada para RT-1. Cuenta con 9 grados de libertad, unidad de peso ligero (740g). Todos los actuadores manuales están situados dentro de la mano, eliminando cualquier problema de transmisión cuando la mano está montada en una muñeca articulada. La mano se acciona mediante servomotores equipados con engranajes de precisión con los codificadores que permiten el posicionamiento de alta precisión.



- Figura 7 -

➤ 5.4 - ELU-2 Hand

Esta es la segunda versión de la Elumotion Hand. El Elu2-Hand cuenta con 9 grados de libertad que son servo accionados dentro de la mano. Esta logra muchas actuaciones similares a la mano humana a través de movimientos tales como: excavación de la mano y la flexión de la articulación combinada. Si bien originalmente fue diseñado para caber en la Elu2-Arm hoy en día se pueden instalar en una gran variedad de brazos de robot.



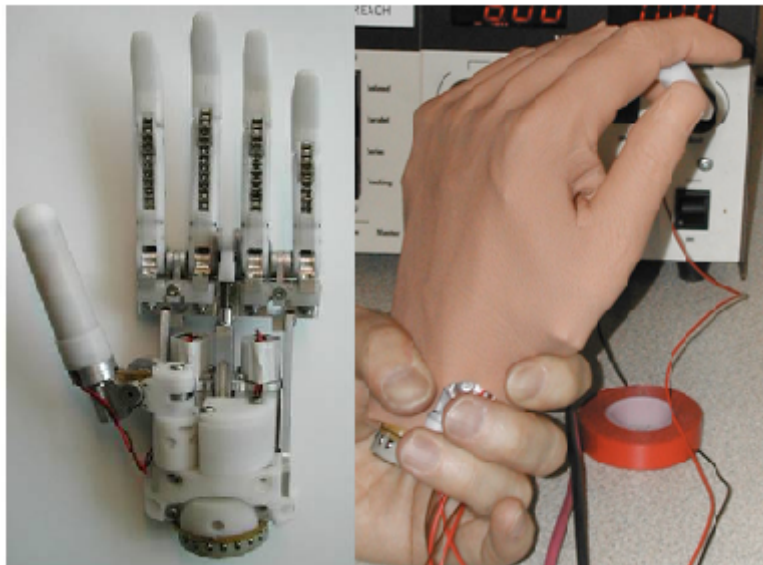
- Figura 8 -

➤ 5.5 - Edinburgh Electric Hand

Esta mano se originó a partir de la experiencia clínica y el diseño de prótesis de David Gow de Touch EMAS Ltd.

El concepto propuesto es una mano eléctrica que posee múltiples articulados y un pulgar potente que podría ser colocado lateralmente y en oposición con los dedos.

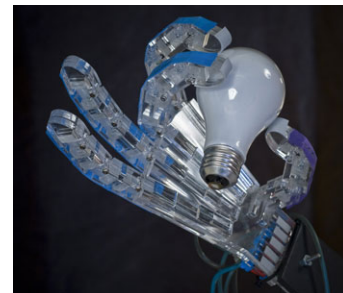
Fundamentalmente, se diseñaron los mecanismos para caber dentro de un guante de silicona que fue modelada a partir de una mano real.



- Figura 9 -

➤ **5.6 - RAPHaEL Air Powered Hand**

RAPHAEL (Robotic Air Powered Hand with Elastic Ligaments), desarrollado en The Robotics and Mechanisms Laboratory (RoMeLa) de la Facultad de Ingeniería en Virginia Tech. Esta impulsado por un compresor de aire con un depósito a 60 psi y un nuevo actuador de tipo tubo.



- Figura 10 -

➤ **5.7 - Gifu**

Es una mano robótica antropomórfica y totalmente articulada que se ha desarrollado en poco más de 10 años de investigación y con la colaboración de las PYMES locales de la prefectura de Gifu (Japón), tiene como objetivo reproducir al 100% el movimiento de la mano de un ser humano. Este proyecto se ha llevado acabo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Gifu, de ahí el nombre de este proyecto robótico.

Lo mejor y más destacado de esta mano robótica es que tiene 859 sensores, y a través de ellos se puede tener la sensación de lo que se toca con la mano robótica. Ya que está manipulada mediante un guante que tiene 859 sensores que se comunican mediante un complejo sistema a base de una interfaz humana que es capaz de manipular la mano robótica a distancia como si se tratara de su propia mano.

Entre las cosas que se ha demostrado que puede hacer de manera correcta la mano de Gifu, es el poder sostener vasos, papeles y levantar objetos con los dedos tal como lo hacemos con nuestras propias manos, lo más reciente que se experimentó es el hecho de que se pudo masajear a una persona usando la mano de Gifu, por lo que se cree ya estaría lista para interactuar con los seres humanos en distintos proyectos.



- **Figura 11** -

➤ **5.8 - Ultralight Anthropomorphic Hand**

La Ultralight Anthropomorphic Hand, desarrollada por el Centro de investigación de Karlsruhe, es una de las manos robóticas más livianas en la actualidad considerando su relación peso-tamaño, tal y como indica su nombre. Su objetivo principal es el inicio de una línea de investigación para el desarrollo de manos robóticas, para ser usadas en manos de robots humanoides o prótesis humanas.

La estructura de la mano está compuesta por 17 elementos independientes y 18 articulaciones. 13 de éstas (tres en la muñeca y diez en los dedos) son controladas. El tamaño de la Ultralight Anthropomorphic Hand es mayor que el de la mano humana, pero mantiene su cinemática antropomórfica. Esto se puede interpretar como que la mano robótica fue diseñada para fines científicos y como un primer prototipo de prueba. La mano robótica está dividida en tres secciones. Una primera con los dedos que contienen los actuadores, con los sensores de flexión y con los sensores de tacto. Una segunda con el metacarpo, que se provee de espacio suficiente para alojar el

microcontrolador, las micro-válvulas, la fuente de energía y el micro-compresor. Una última con la muñeca, que contiene los actuadores necesarios para flexionar la mano. Una de las novedades tecnológicas que ofrece esta mano robótica es el desarrollo de unos actuadores hidráulicos flexibles con una relación tamaño-fuerza favorable. Los actuadores, gracias a su especial diseño, están completamente integrados en los dedos y pueden realizar movimientos complejos, con un costo de manufactura relativamente bajo. Básicamente, la estructura del actuador está compuesta por dos elementos que unen las partes móviles y, a su vez, forman una bisagra. Dentro de la misma, se encuentra el actuador hidráulico flexible, que separa los dos elementos, realizando el movimiento y proporcionando la fuerza necesaria, cuando se le inyecta el fluido. La ventaja de los actuadores neumáticos son: construcción robusta, capacidad de efectuar grandes fuerzas (desde los 3N a los 6N, dependiendo de la articulación) y una significativa eficiencia. Los actuadores desarrollados para esta mano tienen ventajas importantes en relación con las demás, tales como un diseño flexible ante diferentes construcciones mecánicas (los hace más adaptables), una capacidad de realizar movimientos complejos, un peso muy bajo y un reducido costo de producción.



- Figura 12 -

La Ultralight Anthropomorphic Hand posee gran habilidad para manipular objetos de diferentes tamaños, de forma natural y con una gran consistencia. Toda la superficie de la mano es apta para entrar en contacto con el objeto.

➤ 5.9 - UB Hand

La Universidad de Bologna desarrolla manos robóticas desde 1988, año en el que presentó su primer prototipo, la UB Hand I. Su segunda versión, la UB Hand II fue construida en 1992. La tercera versión, y la más avanzada, la UB Hand III fue construida en 2004.

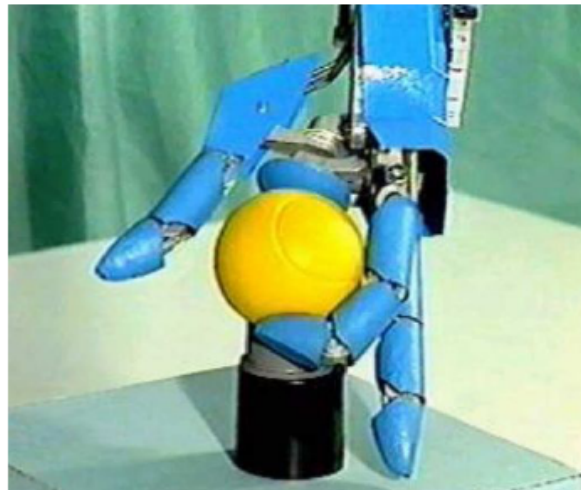
El salto tecnológico entre la segunda versión y la tercera es muy grande. Sus configuraciones son completamente diferentes. De hecho, la segunda versión no es una mano robótica antropomórfica.

❖ 5.9.1 - UB Hand II

La estructura de la segunda versión de la UB Hand es prácticamente idéntica a la de la primera. Está compuesta por una palma, dos dedos y un pulgar. Este último consta a su vez de 14 elementos independientes y 13 grados de libertad o articulaciones (dos en la muñeca y 11 en la mano). El tamaño de la mano es similar al de la mano humana y todas sus superficies (palma, falanges y punta de los dedos) son aptas para entrar en contacto con el objeto.

La posición completamente opuesta del pulgar frente a los dos dedos permite a la mano robótica realizar una gran cantidad de agarres. Como experiencia de la primera versión, se mejoraron las superficies de contacto de la palma y los dedos. Cada elemento de los dedos fue mecanizado en un centro de mecanizado.

La mano robótica está integrada a un antebrazo donde están situados los actuadores (motores eléctricos) y su acción es transmitida hasta las articulaciones por medio de poleas y tendones.



- Figura 13 -

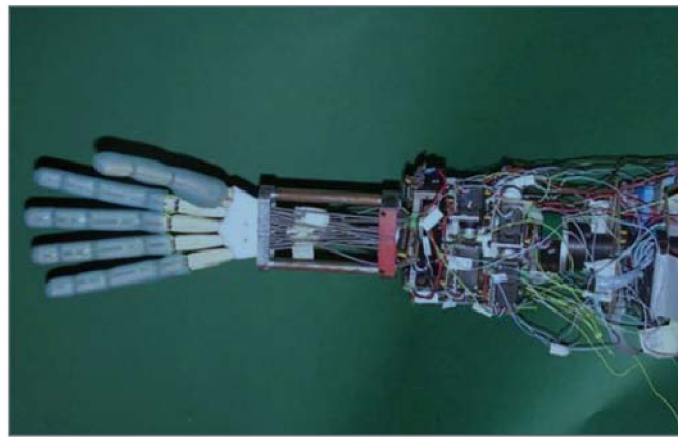
El sistema sensorial de la mano está compuesto por sensores de posición de las articulaciones de efecto Hall y sensores IT (Intrinsic Tactile) de seis ejes, ubicados en las falanges y la palma.

❖ 5.9.2 - UB Hand III

La estructura de tercera versión de la UB Hand es totalmente diferente a las anteriores. Incorpora asimismo nuevas tecnologías y nuevos conceptos de diseño. La estructura de la UB Hand III está compuesta por una palma, un pulgar y cuatro dedos. Todos los

dedos y el pulgar poseen cuatro grados de libertad y tienen la capacidad de ser accionados independientemente o en parejas, imitando el funcionamiento real de la mano humana.

La estructura del dedo es particularmente diferente a lo que se puede ver en las manos robóticas tradicionales. Su diseño está inspirado en el modelo biológico del dedo humano. No posee articulaciones convencionales rotativas. Por el contrario, sus falanges están unidas por medio de bisagras elásticas accionadas por tendones. Este concepto de diseño hace que el dedo sea más simple y más económico, sin perjudicar el aspecto funcional del mismo. El dedo finalmente es recubierto y protegido por un material elástico y sintético que reproduce la textura de la piel humana.



- **Figura 14** -

Con respecto al tipo de actuadores que utiliza, actualmente se están evaluando dos alternativas: actuadores basados en Músculos Artificiales de McKibben o motores sin escobillas con husillos de bolas. En cualquier caso, los diseñadores aseguran que la mano robótica posee la versatilidad de adaptarse a cualquier tipo de actuador, tanto los existentes ahora como los que puedan surgir en el futuro. Debido al escaso espacio libre que queda en la estructura de la mano robótica, la totalidad de los actuadores van ubicados en el antebrazo.

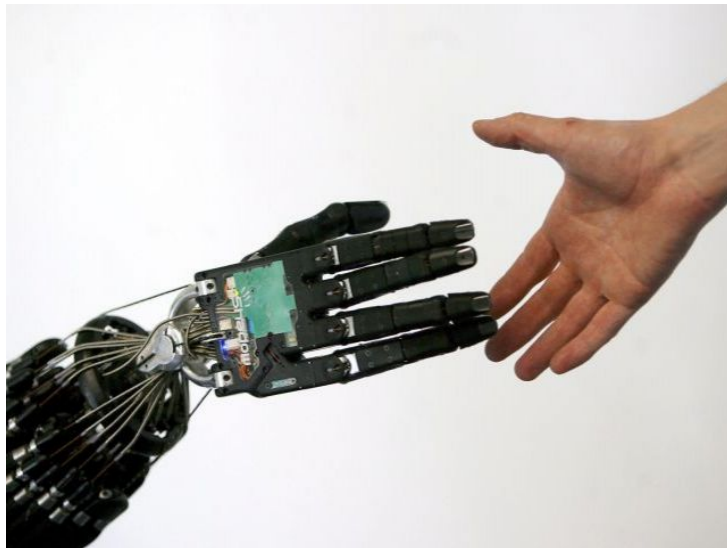


- **Figura 15** -

El sistema sensorial de la mano robótica está compuesto por sensores de fuerza (matriz de sensores de tacto y sensores de tacto intrínsecos), sensores en las articulaciones que permiten conocer la posición de la articulación y sensores de curvatura que eliminan errores de posición y saben si las articulaciones flexibles tienen alguna deformación indeseable.

➤ **5.10 - Handle**

-Esta no esta incluida en la tabla, y es un proyecto activo en la actualidad. Este proyecto integrado de gran escala del Séptimo Programa Marco de la Unión Europea que reúne a investigadores de 9 instituciones asociadas de 6 países europeos y ha recibido 6,35 millones de euros mediante el tema «Tecnologías de la información y la comunicación». El equipo de investigación paneuropeo, con socios procedentes de Alemania, España, Francia, Portugal, Suecia y Reino Unido. Este busca comprender cómo realizan los humanos la manipulación de objetos con el fin de reproducir el agarre y las habilidades de movimientos con una mano artificial antropomórfica articulada, para que pueda ser más autónoma y tener movimientos naturales y eficaces.

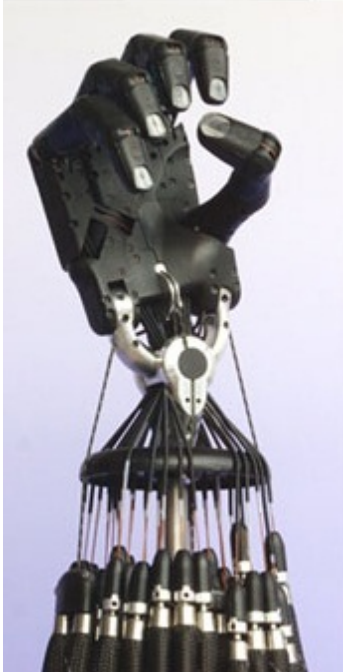


- **Figura 16** -

Su tamaño también es igual que la extremidad media de un varón adulto y tiene un peso de aproximadamente 4 kg. Está compuesta por numerosas piezas de aluminio y plástico mecanizado de alta precisión, además de sistemas de sensorización y actuación. En total, dispone de 20 actuadores y puede realizar 24 movimientos, los mismos que la mano humana.

Además de los avances tecnológicos que persiguen, trabajan con aspectos fundamentales de la investigación multidisciplinar con el fin de dotar al sistema de

mano robótica con capacidad de percepción avanzada, control de alto nivel de información y elementos de inteligencia que permitan el reconocimiento de objetos y el contexto de las acciones, El investigador principal es Mohamed Abderrahim, del equipo del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M).



- **Figura 17** -

Hasta ahora el equipo español ha logrado resultados positivos en los sistemas de percepción visual, la cinemática y la dinámica, de manera que se puede reconocer un objeto en el entorno y pasar la información al sistema de planificación y movimiento de la mano robótica.

A la hora de intentar recrear los movimientos de la mano humana con un sistema robótico hay que resolver varios problemas complejos. En primer lugar, la falta de espacio , dado que una mano humana es increíblemente completa, por lo que siempre supone un reto tratar de poner todas las piezas necesarias en la mano robótica e integrar todos los actuadores que permitan una movilidad similar a la de la mano humana.

Otro problema es que actualmente no existen sensores en el mercado lo suficientemente pequeños como para ser integrados en el dispositivo para dotarle de una sensorización similar a la de la mano humana y poder ejecutar movimientos precisos.

Y por último, aunque los investigadores consigan una mano robótica perfecta desde el punto de vista mecánico y sensorial, sin elementos de inteligencia el ingenio no será capaz de actuar de forma autónoma y adaptar sus movimientos y control a las características de los objetos, como la geometría, textura, peso y utilidad.

La próxima fase del proyecto HANDLE, que estará en marcha hasta 2013, pasará por integrar todos los resultados obtenidos por los nueve socios del proyecto en un único sistema.



6 - Manos imprimibles existentes

He realizado una búsqueda de las manos antropomórficas existentes, para compararlas entre ellas y ver cual es la que mas se aproxima y se ajusta a una humana y a mis necesidades, que son:

- Que tenga cinco dedos.
- Que tenga las mismas articulaciones que la mano humana.
- Que pueda realizar movimientos semejantes a la mano humana.
- Que pueda adoptar posiciones similares a la mano humana.
- Que los movimientos puedan ser controlados mediante actuadores.
- Que tenga posibilidades de acoplarle una muñeca.
- Que física y geoméricamente se parezca a una mano humana.
- Que el actuador pueda controlar tanto la flexión del dedo como su extensión.

A continuación se muestran las diferentes propuestas de manos antropomórficas, todas han sido encontradas en la pagina web: www.thingiverse.com, en cada una de las propuestas se indica: el Nombre o Nick del creador, la fecha en la que se publico el diseño en thingiverse, el link correspondiente al diseño, fotos del diseño y la valoración del porque si o no la selecciono.

➤ **6.1 - Primera Propuesta:**

Creador: James

Fecha del diseño: 09 de diciembre 2009

Encontrada en: <http://www.thingiverse.com/thing:1413>



- **Figura 18** -

(Mano primera propuesta)

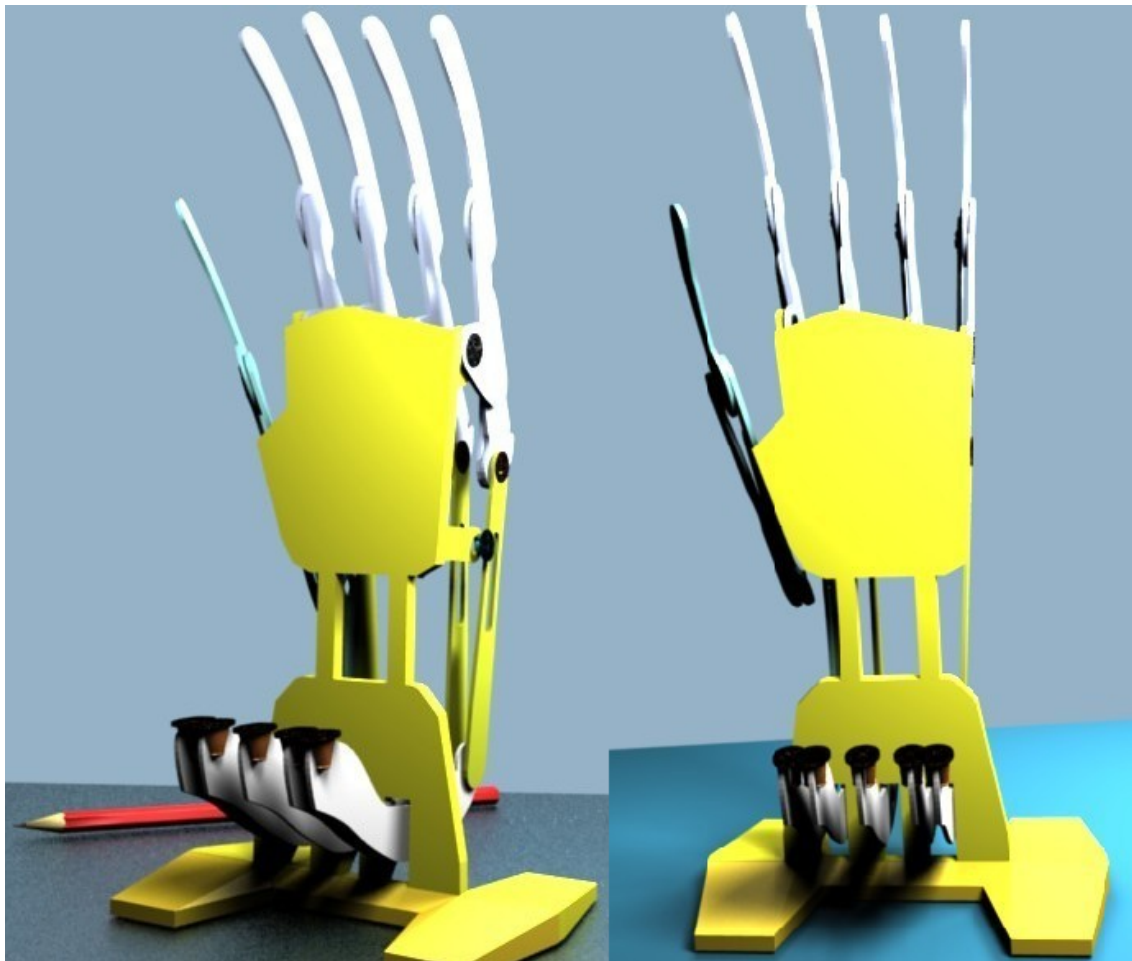
- Este diseño es muy simple y no se puede controlar mediante actuadores, ni se le puede acoplar una muñeca, por tanto queda descartado.

➤ **6.2 - Segunda Propuesta:**

Creador: Hairygael

Fecha del diseño: 20 de Mayo 2011

Encontrada en: <http://www.thingiverse.com/thing:8659>



- **Figura 19** -

(Mano segunda propuesta)

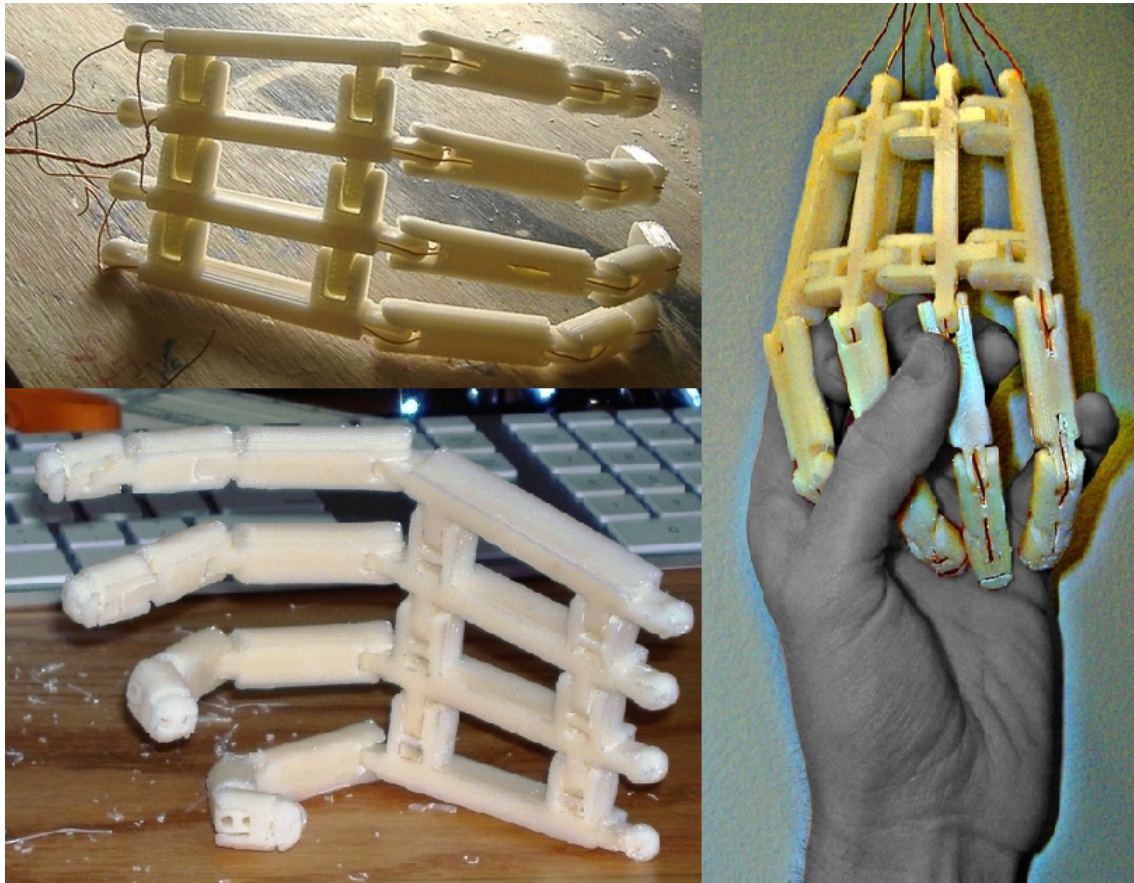
- Este diseño también es simple, aunque los movimientos de los dedos se pueden accionar mediante actuadores que hagan presión en las teclas que están situadas en la base de la mano como se pueden observar en la figura 8, pero no tiene posibilidad de acoplarle una muñeca.

➤ **6.3 - Tercera Propuesta:**

Creador: Mrulel

Fecha del diseño: 4 de Marzo 2011

Encontrada en: <http://www.thingiverse.com/thing:6838>



- **Figura 20** -

(Mano tercera propuesta)

- Esta tercera propuesta solo tiene cuatro dedos, el que falta es el pulgar uno de los mas importantes, por no decir el que mas ya que es el que hace pinza con los restantes. Un punto a favor de la mano es la curvatura de la palma aunque no se puede controlar mediante un actuador. Los movimientos de los dedos de esta mano si se pueden ejecutar con actuadores mediante los hilos que podemos ver en las imágenes de la figura 9. Y esta mano si tiene la posibilidad de acoplarle una muñeca.

➤ **6.4 - Cuarta Propuesta:**

Creador: Ryansharples

Fecha del diseño: 26 de Abril 2010

Encontrada en: <http://www.thingiverse.com/thing:2585>



- **Figura 21** -

(Mano cuarta propuesta)

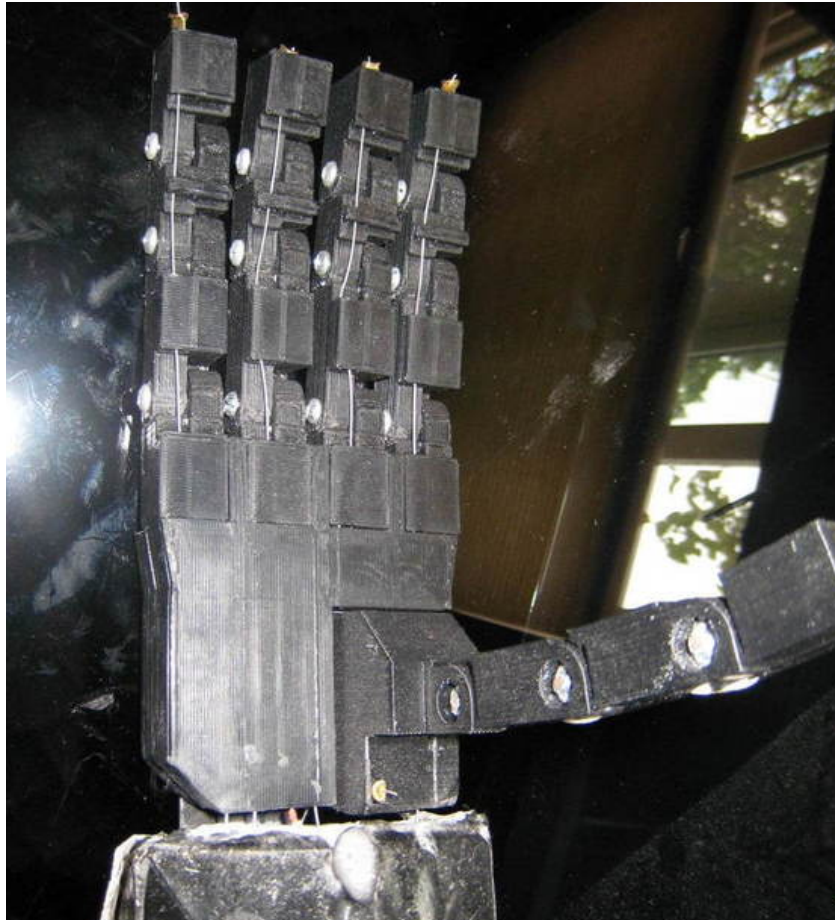
- Esta propuesta se va acercando mas a lo que estamos buscando, ya que los movimientos se pueden ejecutar con actuadores a través de hilos de Nylon que harían de tendones, el problema es que solo se podría controlar la flexión de los dedos, pero no se podrían extender mediante el actuador. Y tiene una muñeca ya integrada con un grado de libertad en el que la mano puede girar 25° hacia cada lado, y el segundo grado de libertad de la mano se puede implementar con algún cambio en el diseño.

➤ **6.5 - Quinta Propuesta:**

Creador: Njk144

Fecha del diseño: 15 de Agosto 2011

Encontrada en: <http://www.thingiverse.com/thing:10760>



- **Figura 22** -

(Mano quinta propuesta)

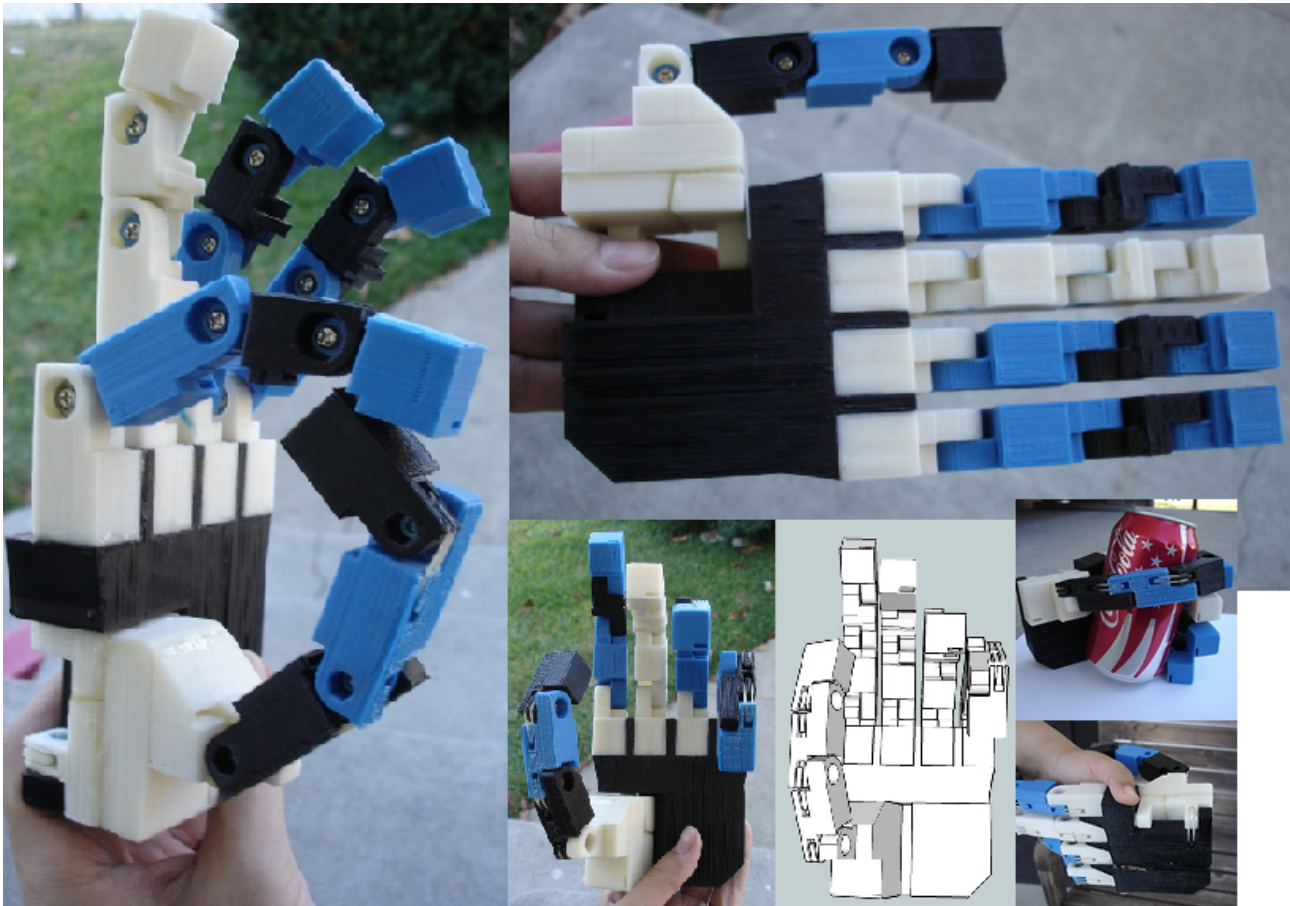
- Esta mano si puede controlar la flexión y extensión de sus dedos, la flexión con un actuador que tire del hilo de Nylon y la extensión mediante unas gomas que hay en la parte posterior de cada articulación, que al flexionarse el dedo se estiran y al liberar el hilo la goma se contrae haciendo que la articulación se estire. Esta mano si tiene la posibilidad de acoplarle una muñeca aunque en la figura 11 no se puede apreciar porque la mano esta en un soporte. El dedo pulgar esta opuesto a los demás dedos, aunque solo puede hacer pinza con el dedo índice ya que el pulgar no puede rotar sobre si mismo, y esto es una gran limitación.

➤ **6.6 - Sexta Propuesta:**

Creador: Armjunkie

Fecha del diseño: 20 de Abril 2010

Encontrada en: <http://www.thingiverse.com/thing:2408>



- **Figura 23** -

(Mano sexta propuesta)

- Esta mano es muy parecida a la de la propuesta anterior (Propuesta quinta), aunque en este diseño solucionamos el problema del pulgar ya que en este diseño si puede rotar, por tanto puede enfrentarse a mas dedos y adoptar posiciones mas similares a las de una mano humana.
- En un principio elijo esta mano para realizar unas pruebas que se describían posteriormente.

➤ **6.7 - Séptima Propuesta:**

Creador: James

Fecha del diseño: 31 de Octubre 2011

Encontrada en: <http://www.thingiverse.com/thing:13117>



- **Figura 24** -

(Mano séptima propuesta)

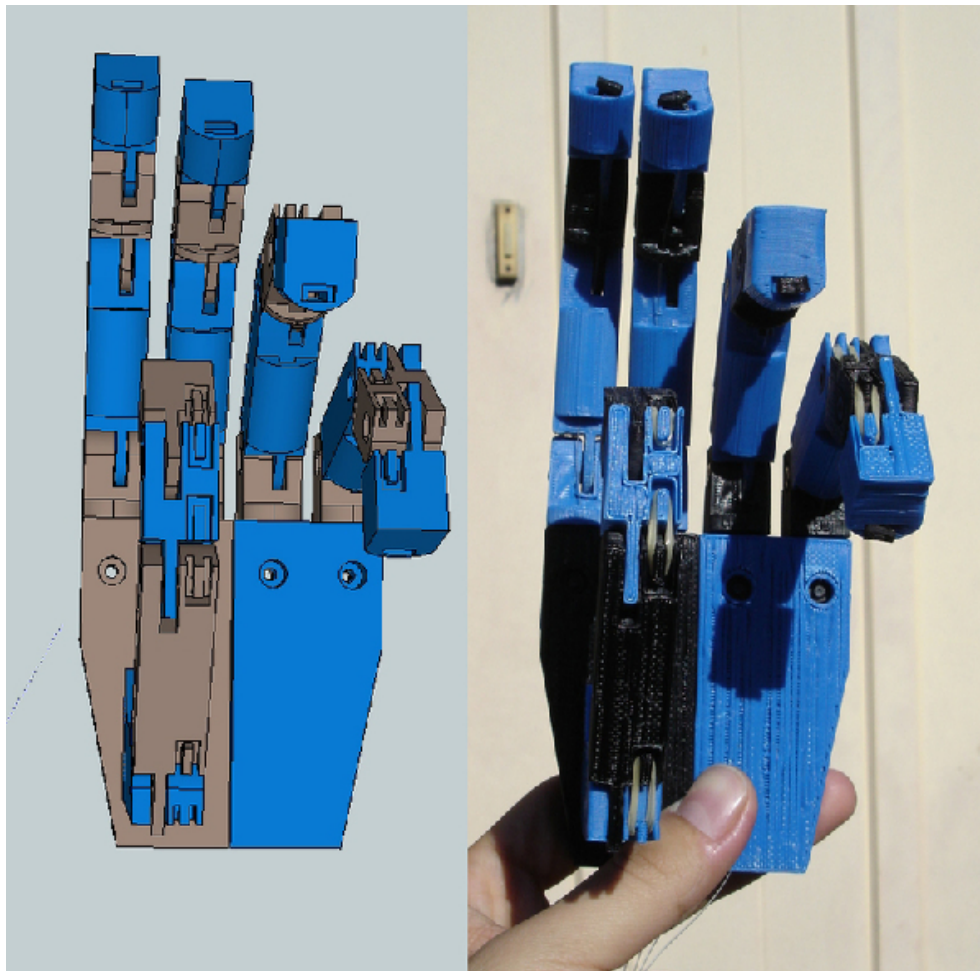
- Esta mano es una de las mejores debido a su curvatura de la palma y las posiciones de los dedos, ya que puede adoptar la mayoría de las posiciones de una mano humana, además de un fácil control, ya que con un actuador para cada dedo se podría contralar todos los movimientos (Omitiendo los de la muñeca). También se le podría pone una muñeca ya que viene preparada para ello.
- El problema de esta mano es que los archivos “.stl” no están colgados en la pagina web, y estos archivos son los necesarios para imprimir este prototipo, sino, si hubiera sido una gran candidata.

➤ **6.8 - Octava Propuesta:**

Creador: Armjunkie

Fecha del diseño: 24 de Diciembre 2011

Encontrada en: <http://www.thingiverse.com/thing:14986>



- **Figura 25** -

(Mano octava propuesta)

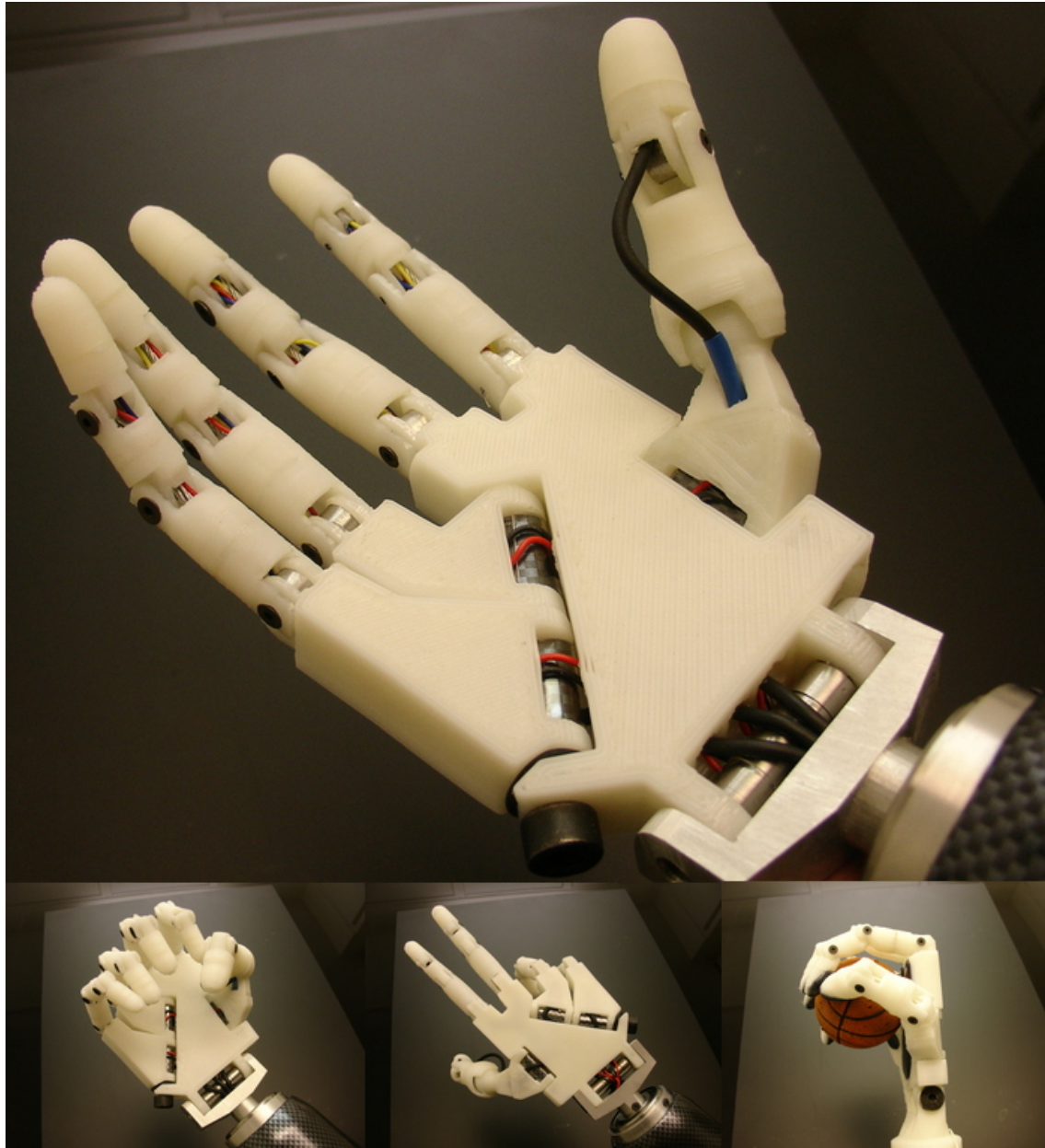
- Esta mano puede controlar la flexión y extensión de sus dedos, la flexión con un actuador que tire del hilo de Nylon y la extensión mediante unas gomas que hay en la parte posterior de cada articulación, que al flexionarse el dedo se estiran y al liberar el hilo la goma se contrae haciendo que la articulación se estire. Esta mano si tiene la posibilidad de acoplarle una muñeca. El dedo pulgar esta opuesto a los demás dedos, aunque solo puede hacer pinza con el dedo Índice y Medio ya que el pulgar no puede rotar sobre si mismo, y esto es una gran limitación.

➤ **6.9 - Novena Propuesta:**

Creador: Hairygael

Fecha del diseño: 18 de Febrero 2012

Encontrada en: <http://www.thingiverse.com/thing:17773>



- **Figura 26** -

(Mano novena propuesta)

- Finalmente elijo esta ya que puedo controlar con actuadores tanto la flexión de los dedos como su estiramiento, además gracias a su diseño la mano se puede adaptar a

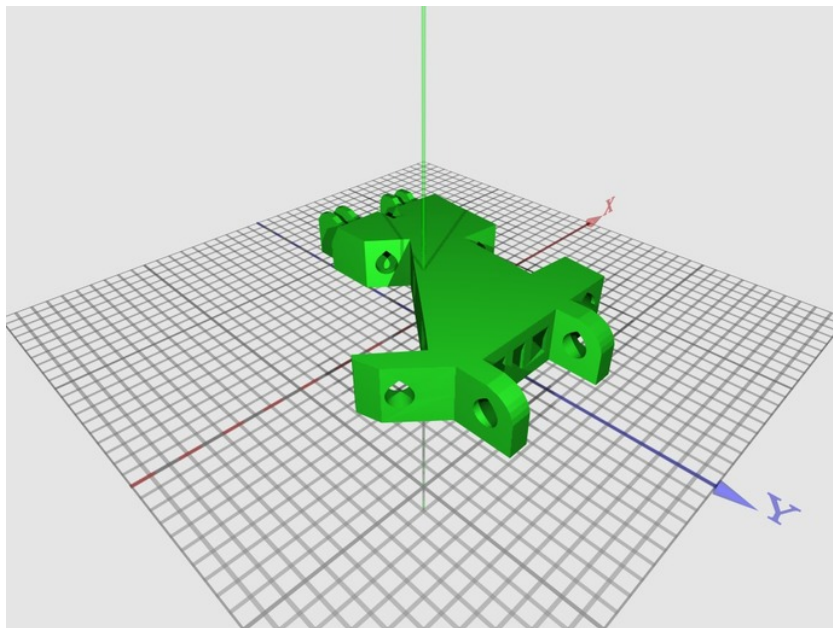
una gran variedad de objetos y por lo tanto asemejándose mucho a la mano humana. También se le puede acoplar fácilmente una muñeca como veremos mas adelante.

Después de ver que la mano de la propuesta nueve es la que mas se ajusta a mis necesidades procedo a imprimirla para ver su funcionamiento y que mejoras podríamos aplicarle.

7 - Impresión de la mano seleccionada

❖ Palma de la mano

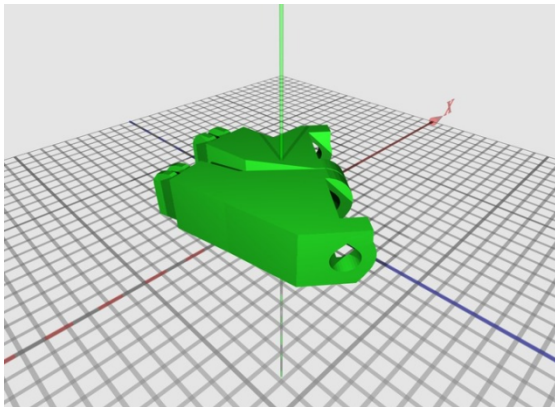
Archivo: WriargeV2.stl



- **Figura 27** -

❖ Soporte del Menique y Anular

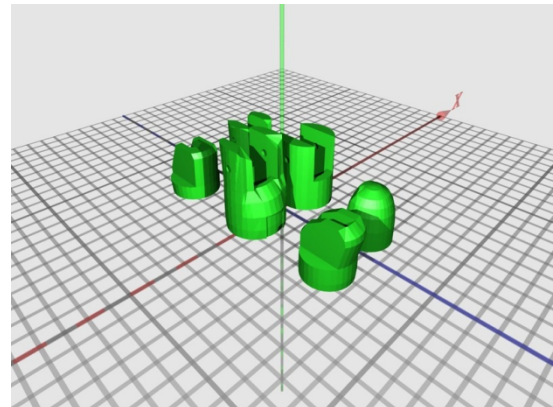
Archivo: WristsmallV2.stl



- **Figura 28** -

❖ Dedo Medio

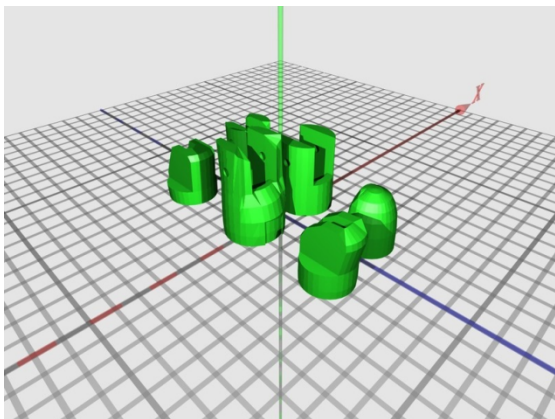
Archivo: Majure2.stl



- **Figura 31** -

❖ Dedo Menique

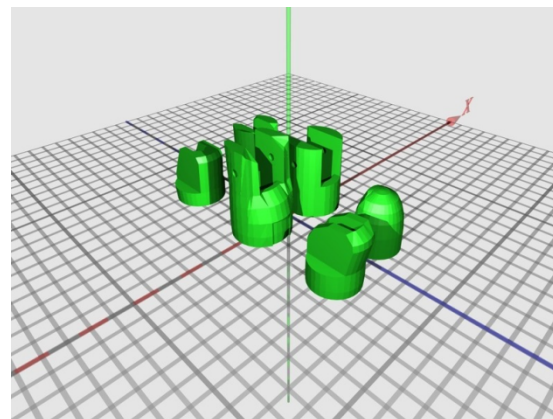
Archivo: auriculaire2.stl



- **Figura 29** -

❖ Dedo Índice

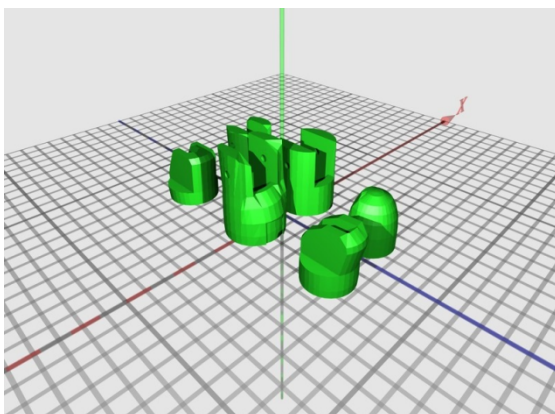
Archivo: Index.stl



- **Figura 32** -

❖ Dedo Anular

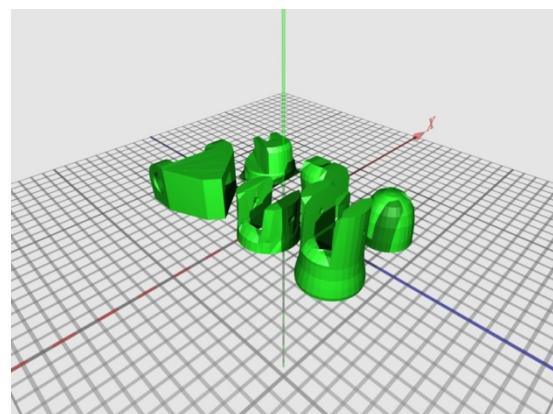
Archivo: ringfinger2.stl



- **Figura 30** -

❖ Dedo Pulgar

Archivo: Thumb3.stl



- **Figura 33** -

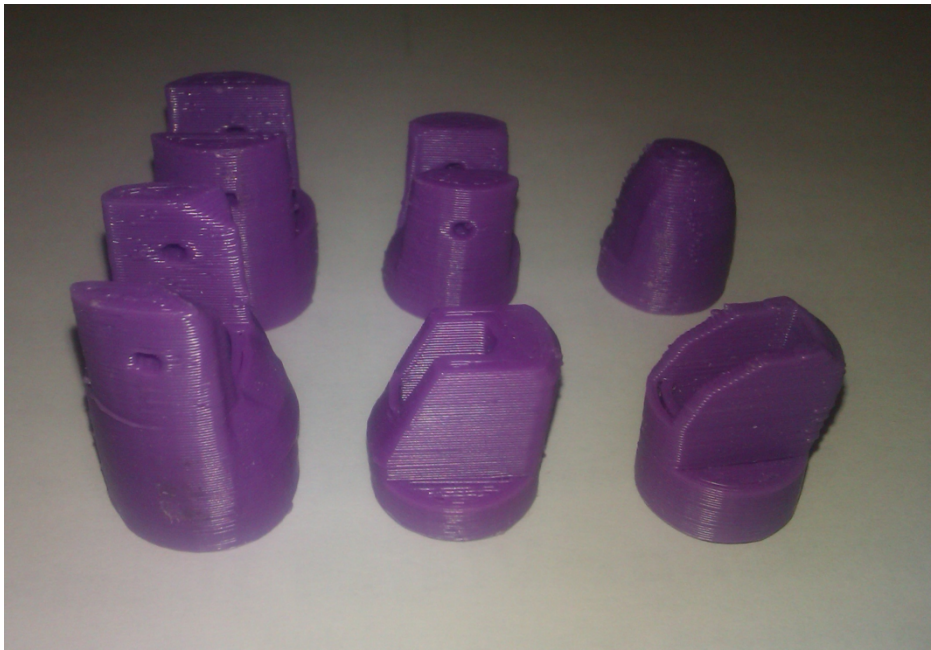
8 - Montaje de la mano impresa

Una vez que tengo impresas las piezas nombradas, procedo a lijarlas ya que unas con otras deben acoplarse perfectamente.

Comienzo lijando y montando las partes de los dedos.

Montaje de un dedo:

- Una vez impreso.



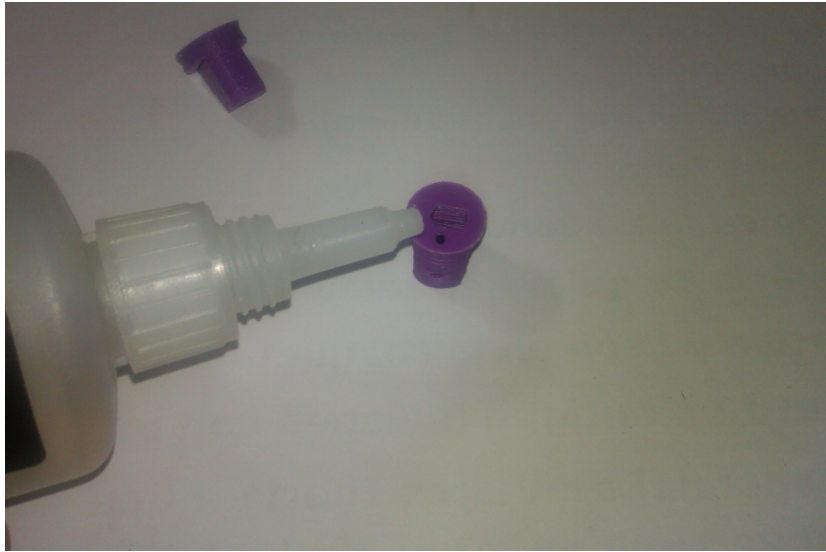
- Figura 34 -

- Lijo todas las partes con lija fina para quitarles las pequeñas imperfecciones que puedan tener de la impresión y los emparejo.



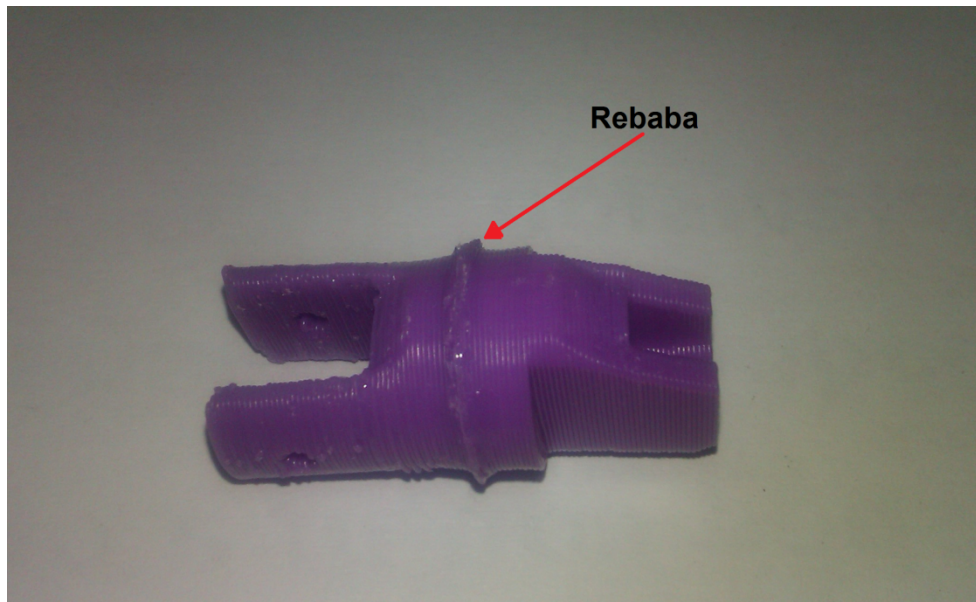
- Figura 35 -

- Después uno cada pareja con adhesivo de contacto instantáneo



- **Figura 36** -

- Como podemos ver en la Figura 37 alrededor de la junta queda una rebaba de la base de cada una de las dos piezas.



- **Figura 37** -

- Para que la pieza quede mas fuerte y a la vez quitar la rebaba lo que hago es pasarle el soldador de estaño de 25W y así unir el plástico de una parte con el de la otra. Quedando como se muestra en la Figura 38.



- **Figura 38** -

- En el eslabón final, el de la yema del dedo, antes de unir sus dos partes hay que introducir las dos puntas de hilo de Nylon y fijarlas, ya que una va a ser para flexionar el dedo y otra para estirarlo.



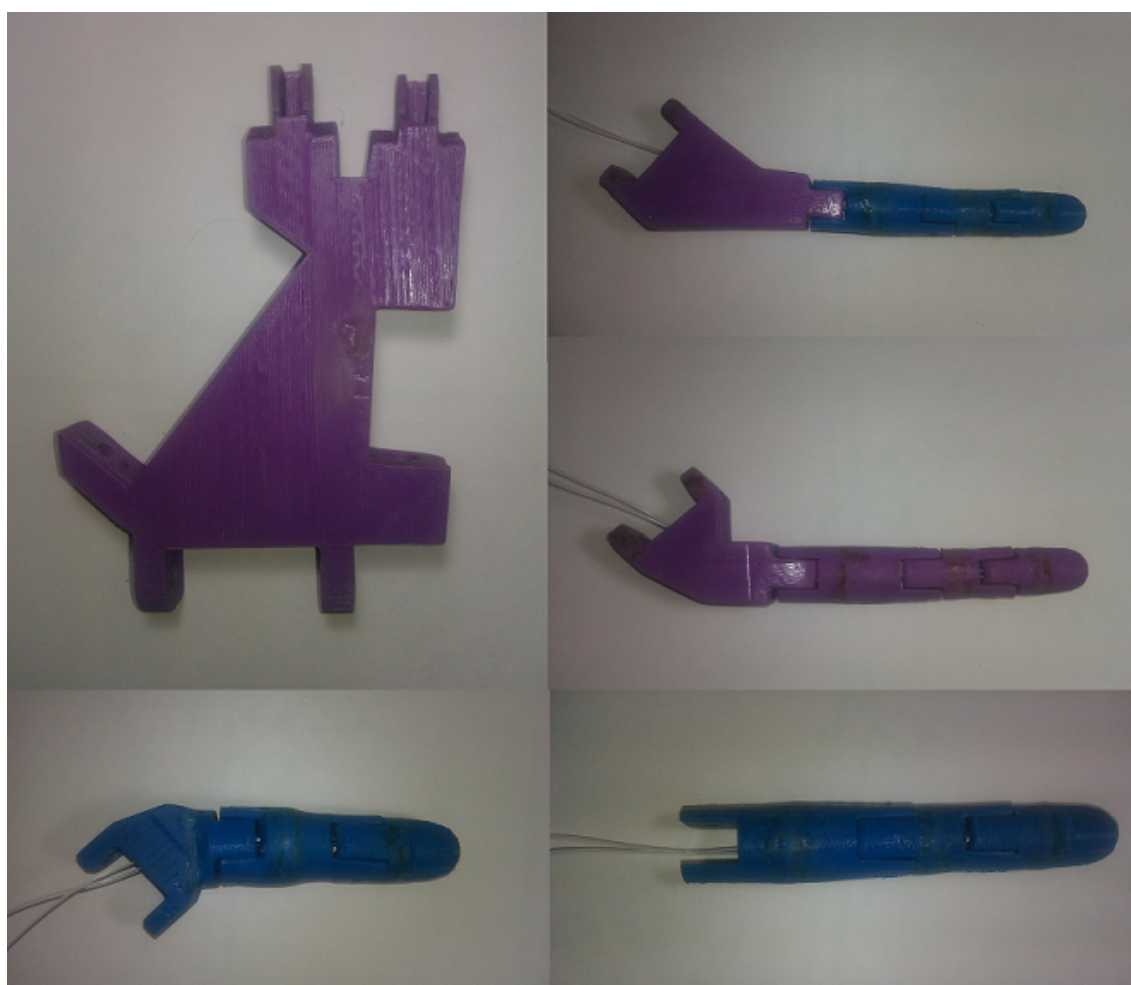
- **Figura 39** -

- Y finalmente para unir los tres eslabones del dedo he tenido que volver a lijar las partes en las que se conectan los eslabones para que al articular haya el menos rozamiento posible pero que tampoco haya holgura. A continuación repaso los agujeros de cada eslabón con una broca de 2,5mm para después unir los tres eslabones con tornillos de Allen de 3mm, y el dedo queda como se muestra en la Figura 40.



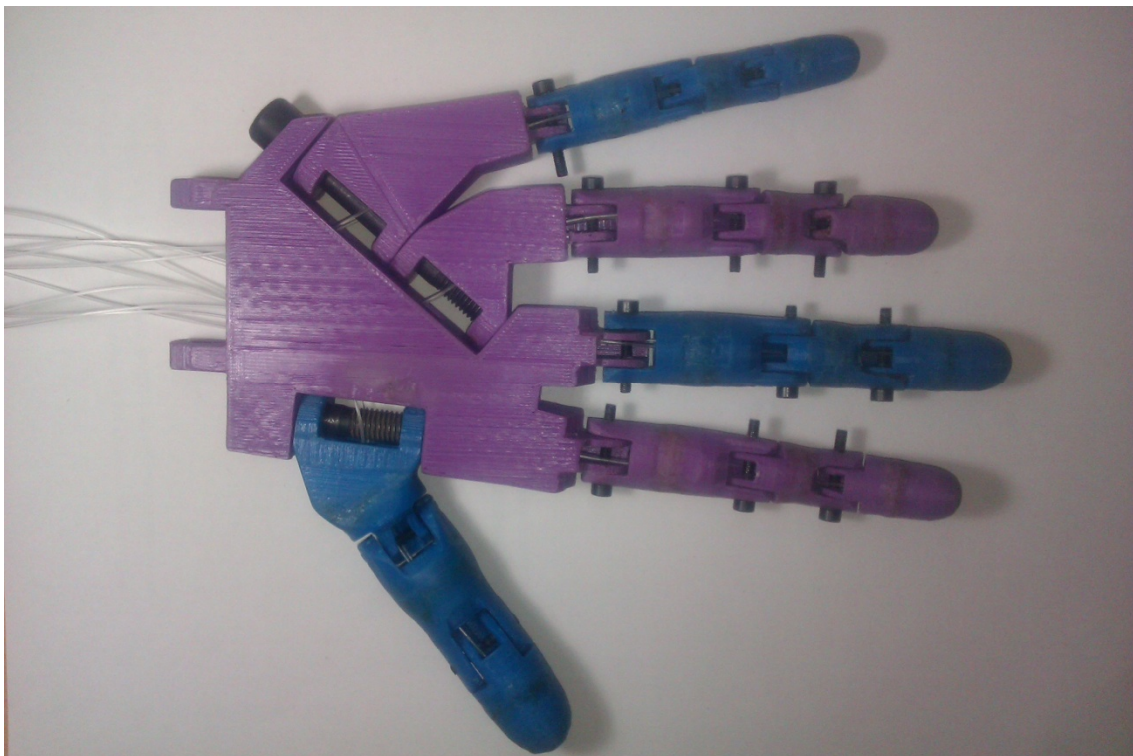
- **Figura 40** -

- Las demás piezas de la mano por separado quedan como en la Figura 41.



- **Figura 41** -

- En el interior de cada dedo pasan dos hilos de Nylon uno para flexionar el dedo y otro para estirar el dedo, pues el hilo que estira el dedo pasa por la parte de debajo de cada tornillo en cada articulación, y el hilo que flexiona el dedo pasa por la parte de arriba, de esta forma habrá un correcto funcionamiento.
-
- Por ultimo para unir todo el conjunto tengo que situar los dedos Medio e Índice sobre sus articulaciones en la palma para realizar los agujeros de 2,5mm ya que no vienen incluidos en el diseño. Después hay que volver a lijar donde se unen las articulaciones de los dedos con las palmas, hasta que encajen perfectamente y articule sin ningún problema.
- Después uno los dedos anular y medio a la palma con tornillos de Allen de 3mm de diámetro y una longitud de 15mm. Los soportes del dedo Menique y Anular los uno a la palma con un tornillo de Allen de 8mm de diámetro y una longitud de 70mm. Y el pulgar lo uno a la palma con un tornillo de Allen de 8mm de diámetro y una longitud de 50mm.
- Finalmente la mano queda como se muestra en la Figura 42.

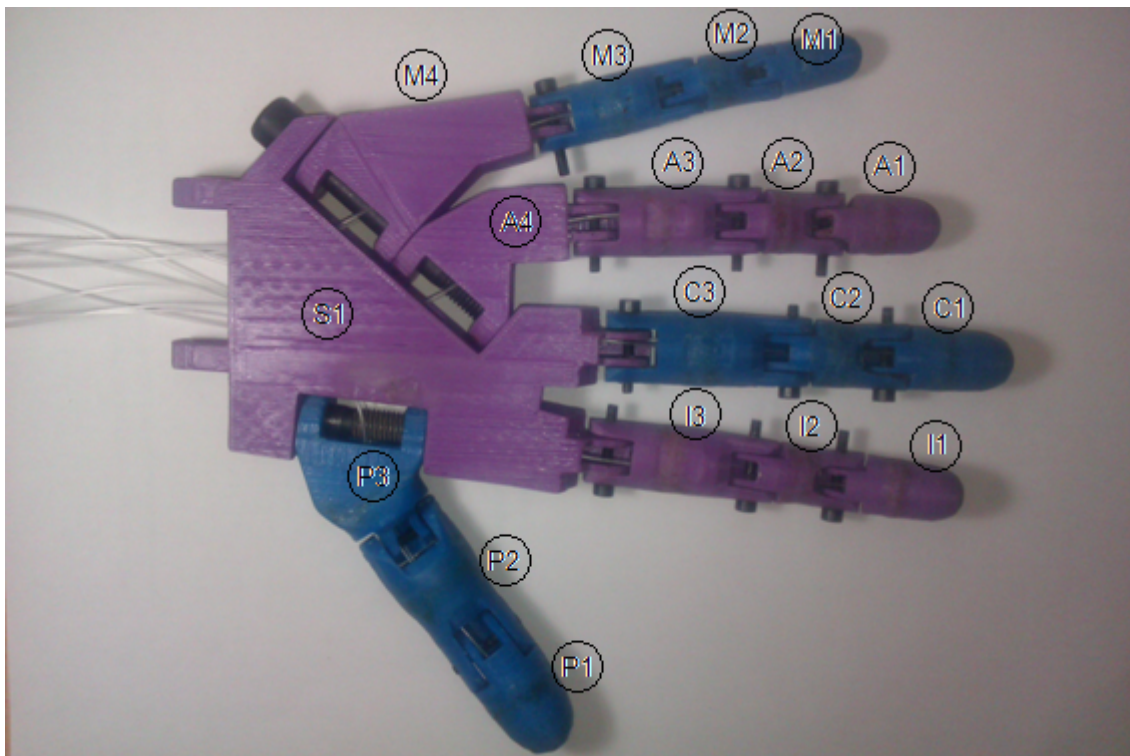


- **Figura 42** -

9 - Mejoras

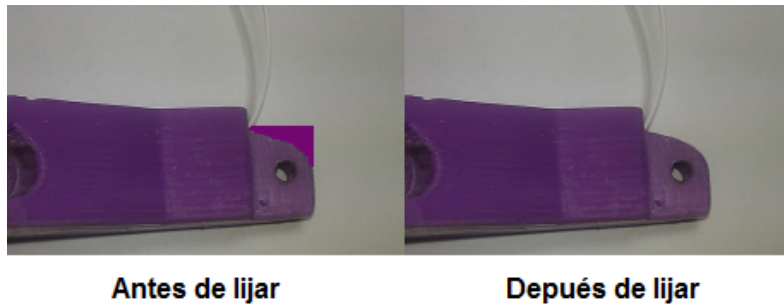
Después de hacerle varias pruebas de movilidad y de posicionamiento a la mano, observo que hay varias piezas que no articulan bien o tienen movimientos muy limitados..

Para que se entienda mejor la explicación de cada caso le voy a poner nombre a cada articulación como podemos observar en la figura 43.



- Figura 43 -

- **9.1 - Caso 1:** La articulación que forman M4 y M3 tiene un movimiento muy limitado, solo gira una entorno a la otra 30° y debería girar entorno a 90°.
- Solución: Lijar la parte superior de M4, donde M3 hace tope con este, de esta forma M3 podrá girar mas, ya que al lijar esa parte lo que hacemos es que haga tope después de haber girado mas grados, hasta conseguir que gire unos 85° o 90°.



- **Figura 44** -

- **9.2 - Caso 2:** La articulación que forman A4 y A3 tiene un movimiento muy limitado, solo gira una entorno a la otra 45° y debería girar entorno a 90°.
- Solución: Lijar la parte superior de A4, donde A3 hace tope con este, de esta forma A3 podrá girar mas, ya que al lijar esa parte lo que hacemos es que haga tope después de haber girado mas grados, hasta conseguir que gire unos 85° o 90°.

- **9.3 - Caso 3:** La articulación que forman C3 y C2 tiene un movimiento limitado, solo gira una entorno a la otra 20° y debería girar unos 90°.
- Solución: Lijar las esquinas superiores de C3, para que estas no obstruyan el giro C2. Y así C2 podrá girar asta que haga tope que son unos 90°.



- **Figura 45** -

- **9.4 - Caso 4:** La articulación que forman S1 y I3 tiene un movimiento muy limitado, solo gira una entorno a la otra 40° y debería girar entorno a 90°.

- Solución: Lijar la parte superior de S1, donde I3 hace tope con este, de esta forma I3 podrá girar mas, ya que al lijar esa parte lo que hacemos es que haga tope después de haber girado mas grados, hasta conseguir que gire unos 90°.

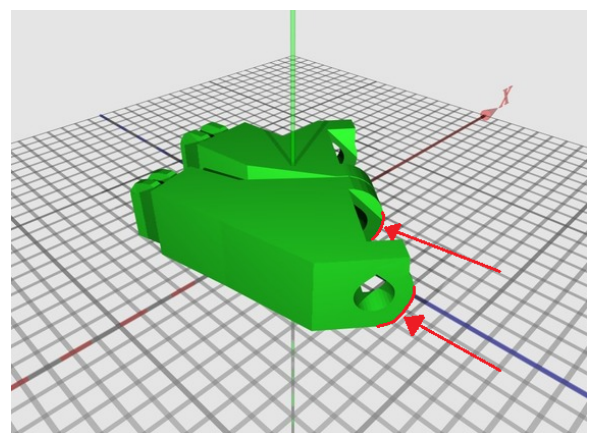
- **9.5 - Caso 5:** La articulación que forman P2 y P1 tiene un movimiento limitado, solo gira una entorno a la otra 15° y debería girar unos 75°.

- Solución: Lijar las esquinas superiores de P2, para que estas no obstruyan el giro P1. De esta forma P1 podrá girar asta que haga tope que son unos 75°.

- **9.6 - Caso 6:** En el eslabón S1 en la parte que se engancha con P3, el tornillo que los une de 8mm de diámetro y 60mm de longitud, la cabeza de este no entra en S1 para que quede empotrado y en teoría S1 esta diseñado para que si quede.

- Solución: Agrandar el diámetro del agujero de S1, hasta conseguir un diámetro de 12mm que es lo que tiene la cabeza. Solucionado esto, al introducir el tornillo observamos que la cabeza no entra entera y ahora el problema es que no es lo suficiente largo ya que la cabeza del tornillo tiene 8mm y el agujero 5,5mm de longitud. La solución para esto es limar la cabeza del tornillo hasta quitarle los 2,5mm sobrantes ya que el agujero no se puede hacer mas profundo porque debilitaríamos mucho esa parte de S1.

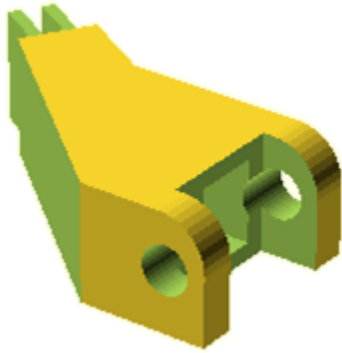
- **9.7 - Caso 7:** Como podemos ver en la figura 46, M4 y A4 tienen forma curva en las zonas indicadas con las flechas rojas, por tanto al ser curvas en esa zona, estas articulando hacia atrás y ese movimiento la mano no lo hace.



- Figura 46 -

- Solución: Rediseñar con OpenScad M4 y A4, haciendoles esas zonas cuadradas de tal forma que hagan tope con S1.

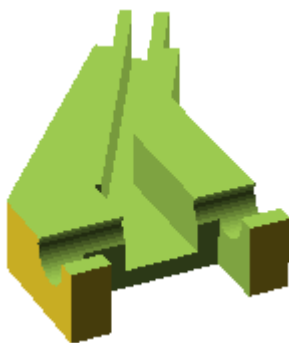
El nuevo diseño de M4 y A4 queda como se muestran en la Figura 47 y 48 correspondientemente.



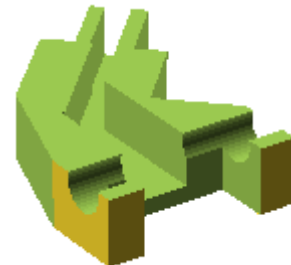
- **Figura 47** -
(Nuevo Soporte Meñique)



- **Figura 48** -
(Nuevo Soporte Anular)



- **Figura 47.1** -
(Nuevo Soporte Meñique)

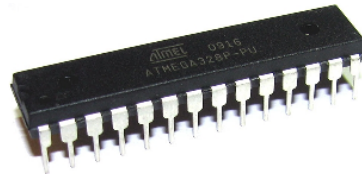


- **Figura 48.1** -
(Nuevo Soporte Anular)

10 - Sistema y actuadores para implantar en la mano impresa

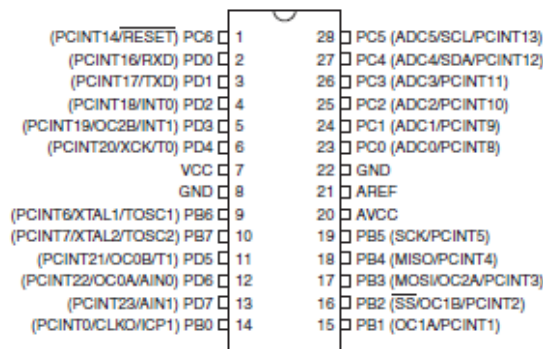
➤ 10.1 - Microcontrolador

Para mover la mano, vamos a utilizar el microcontrolador “ATMEGA328P-PU” que pertenece a Arduino. Este es un pequeño controlador muy completo que tienen ocho Entradas/Salidas Digitales, cuatro Entradas/Salidas Analógicas, una entrada de reloj, etc. Con el se pueden llevar acabo prototipos muy completos, por ello es perfecto para nuestro proyecto.



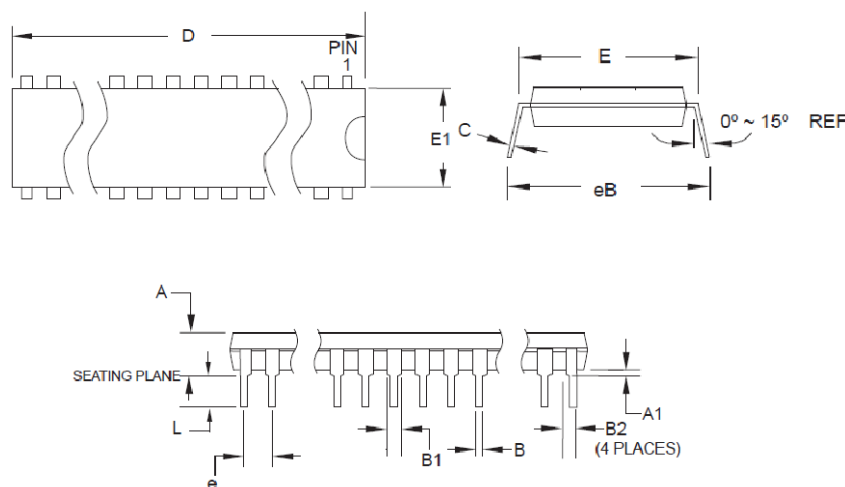
- Figura 49 -

- Patillaje:



- Figura 50 -

- Medidas del ATMEGA328P-PU:



COMMON DIMENSIONS
(Unit of Measure = mm)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	-	-	4.5724	
A1	0.508	-	-	
D	34.544	-	34.798	Note 1
E	7.620	-	8.255	
E1	7.112	-	7.493	Note 1
B	0.381	-	0.533	
B1	1.143	-	1.397	
B2	0.762	-	1.143	
L	3.175	-	3.429	
C	0.203	-	0.356	
eB	-	-	10.160	
e	2.540 TYP			

- Figura 51 -

- Velocidad de trabajo, alimentación, encapsulado y rango de temperatura de trabajo:

Speed (MHz)	Power Supply (V)	Ordering Code ⁽²⁾	Package ⁽¹⁾	Operational Range
20 ⁽³⁾	1.8 - 5.5	ATmega328-AU ATmega328-AUR ⁽⁵⁾ ATmega328-MMH ⁽⁴⁾ ATmega328-MMHR ⁽⁴⁾⁽⁵⁾ ATmega328-MU ATmega328-MUR ⁽⁵⁾ <u>ATmega328-PU</u>	32A 32A 28M1 28M1 32M1-A 32M1-A 28P3	Industrial (-40°C to 85°C)

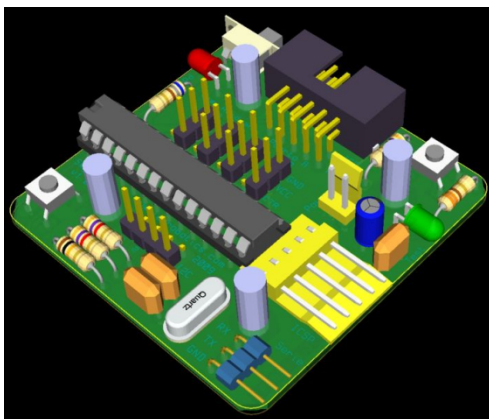
- Memoria:

Device	Flash	EEPROM	RAM	Interrupt Vector Size
ATmega88PA	8KBytes	512Bytes	1KBytes	1 instruction word/vector
ATmega168A	16KBytes	512Bytes	1KBytes	2 instruction words/vector
ATmega168PA	16KBytes	512Bytes	1KBytes	2 instruction words/vector
ATmega328	32KBytes	1KBytes	2KBytes	2 instruction words/vector
<u>ATmega328P</u>	32KBytes	1KBytes	2KBytes	2 instruction words/vector

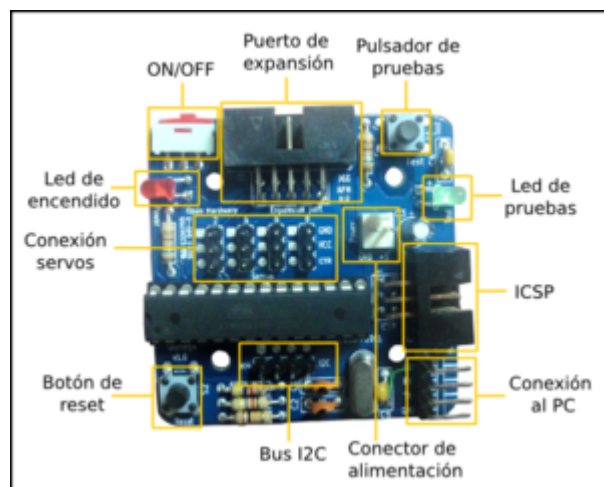
➤ 10.2 - Placa para el microcontrolador

La placa que vamos a utilizar es la Skymega, diseñada por Juan González en 2011. Esta placa microcontroladora es de reducidas dimensiones. Las aplicaciones principales son la programación de robots modulares, robots móviles o bien para pequeños prototipos.

La placa Skymega es de hardware libre. Ha sido diseñado con la herramienta libre Kicad. También es compatible con Arduino.



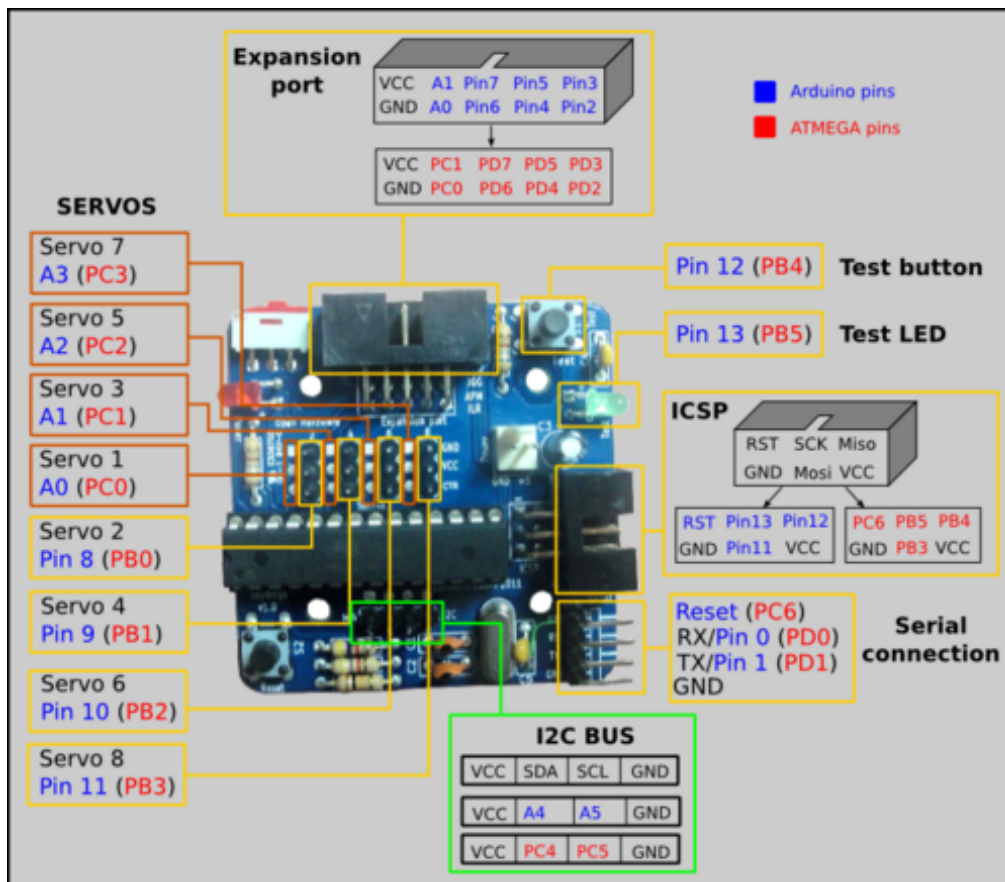
- Figura 52 -



- Figura 53 -

- Características

- Hardware libre.
- Compatible con Arduino.
- Microprocesador: ATMEGA a 16Mhz. Modelos: 88/168/328.
- Conexión de hasta 8 servos (8 módulos).
- Los conectores de los servos se pueden poner por ambas caras de la placa.
- Comunicación por bus I2C entre tarjetas Skymega.
- Hasta 2 conectores de I2C, que se pueden soldar por ambas caras.
- Conector de alimentación doble, tipo molex, uno por cada cara.
- Conector de grabación ICSP.
- Led de pruebas.
- Pulsador de pruebas.
- Micro-interruptor de on/off.
- Led de power-on.
- Slot de expansión para conectar sensores.



- Figura 54 -

➤ **10.3 - Actuadores**

Los actuadores elegidos son los Servo-Motores Futaba S3003.

- Descripción: El servo-motor Futaba S3003 es un servo de tamaño y potencia estándar, los engranes que incluye son de Nylon.

- Características:

Alimentación	Torque	Velocidad
4.8V	3.2 Kg·cm	0.23 seg/60°
6.0V	4.1 Kg·cm	0.16 seg/60°

- Dimensiones:

- Largo: 41 mm.
- Ancho: 20 mm.
- Alto: 37 mm.
- Peso: 43 gr.



- **Figura 55** -

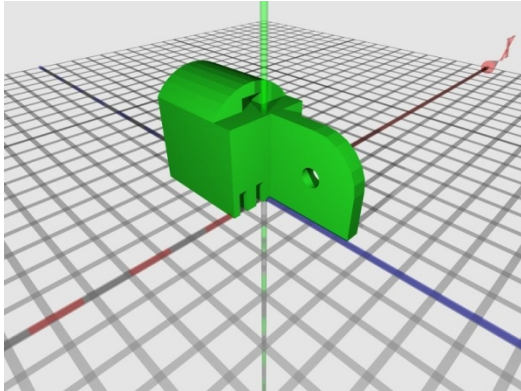
11 - Pruebas de movimiento

➤ 11.1 - Primera Prueba

Para realizar las primeras pruebas de movimiento empecé imprimiendo un dedo índice de la octava mano propuesta.

❖ Falange Distal

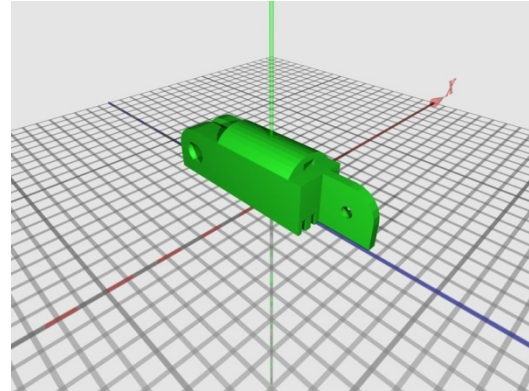
Archivo: rhv14PartAdisplaymedium.stl



- Figura 56 -

❖ Falange Proximal

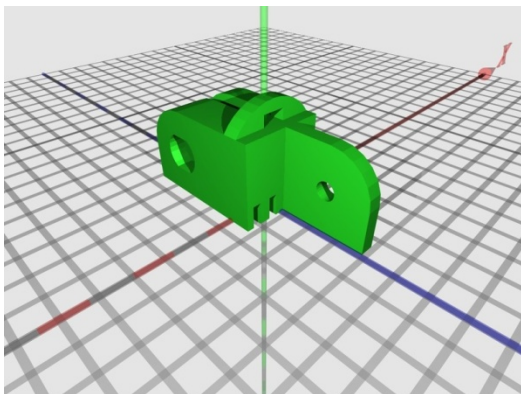
Archivo: rhv14PartCdisplaymedium.stl



- Figura 58 -

❖ Falange Media

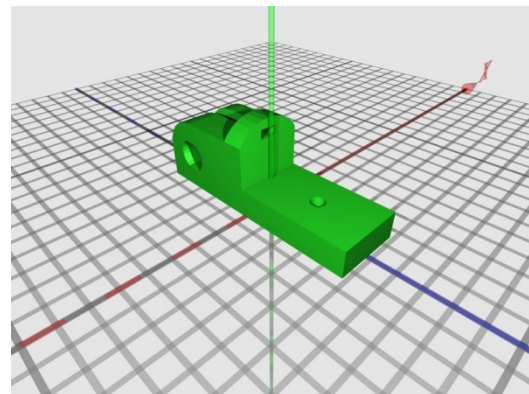
Archivo: rhv14PartBdisplaymedium.stl



- Figura 57 -

❖ Soporte dedo Índice en la palma

Archivo: rhv14PartDdisplaymedium.stl



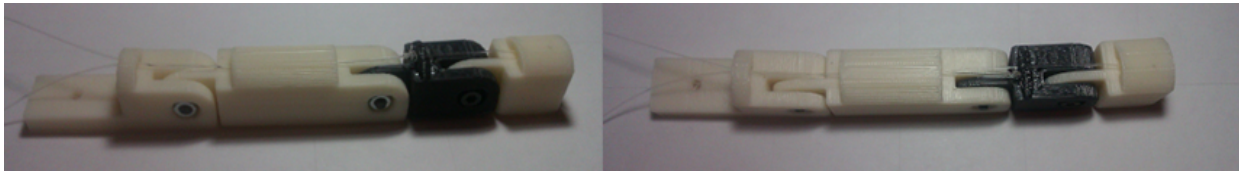
- Figura 59 -

Una vez impreso, pasamos a montarlo, para unir las cuatro partes utilizamos Tornillos de Allen métrica 3 y 12mm de longitud, tuercas de métrica 3 y gomas de ortodoncia de 1/4", como se muestra en la Figura 60.



- Figura 60 -

En la siguiente figura vemos como queda montado (Figura 61).



- Figura 61 -

Después anclamos el dedo y fijamos un hilo de Nylon al extremo del dedo (Falange Distal), este hilo actúa como tendón para flexionar el dedo y los resortes de goma de ortodoncia para estirar el dedo, pasamos el hilo por todo el dedo hasta fijar el otro extremo en un servo-motor Futaba S3003 que hará de actuador para mover el dedo, este actuador lo controlamos con la placa Skymega que tiene un microcontrolador ATMEGA328P-PU, a este a su vez le programamos con Arduino con el programa que se muestra en la Figura 62.

El sistema se comporta como un manipulador insuficientemente actuado debido a que el número de grados de libertad es mayor al número de tendones. Esto da por resultado que el movimiento de cada articulación no puede ser completamente controlado. De esta forma, cada dedo se acopla directamente a la forma del objeto provocando un agarre estable.



```
sketch_jun14a | Arduino 0023
File Edit Sketch Tools Help
sketch_jun14a $
#include <Servo.h>

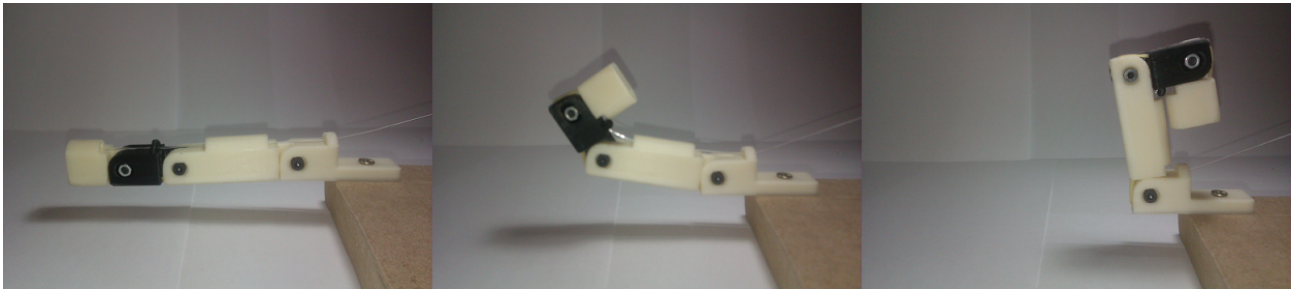
const int SERV01 = 14;
Servo myservo;

void setup()
{
  //-- Attaching the servo
  myservo.attach(SERV01);
}

void loop()
{
  myservo.write(0);
  delay(1500);
  myservo.write(170);
  delay(1500);
}
```

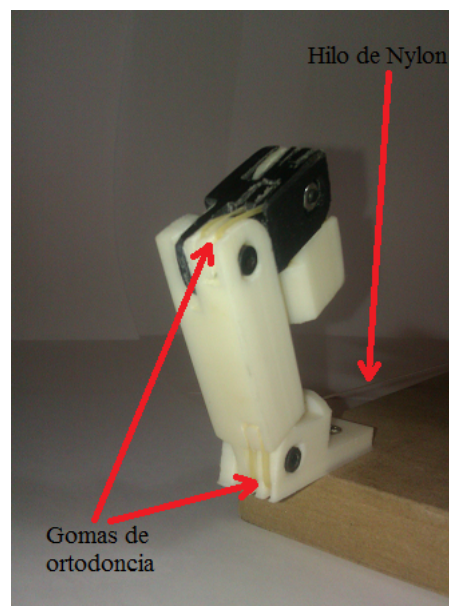
- Figura 62 -

A continuación de hacer todo lo anterior ejecutamos el programa y observamos como flexiona y estira el dedo. (Figura 65)



- **Figura 63** -

En la Figura 67 podemos observar cómo se estiran las gomas cuando el servo-motor tira del hilo de Nylon y el dedo es flexionado. Por tanto cuando el servo-motor suelta hilo las gomas se contraen haciendo que el dedo se estire y vuelva a su posición inicial.



- **Figura 64** -

Como hemos podido comprobar este sistema es muy funcional, ya que cuando el dedo se flexiona podemos controlar su posición si recogemos más o menos hilo con el servo-motor. Y cuando el dedo se estira también podemos controlar su posición soltando más o menos hilo, ya que las gomas al intentar estirar el hilo van hacer que éste se tense.

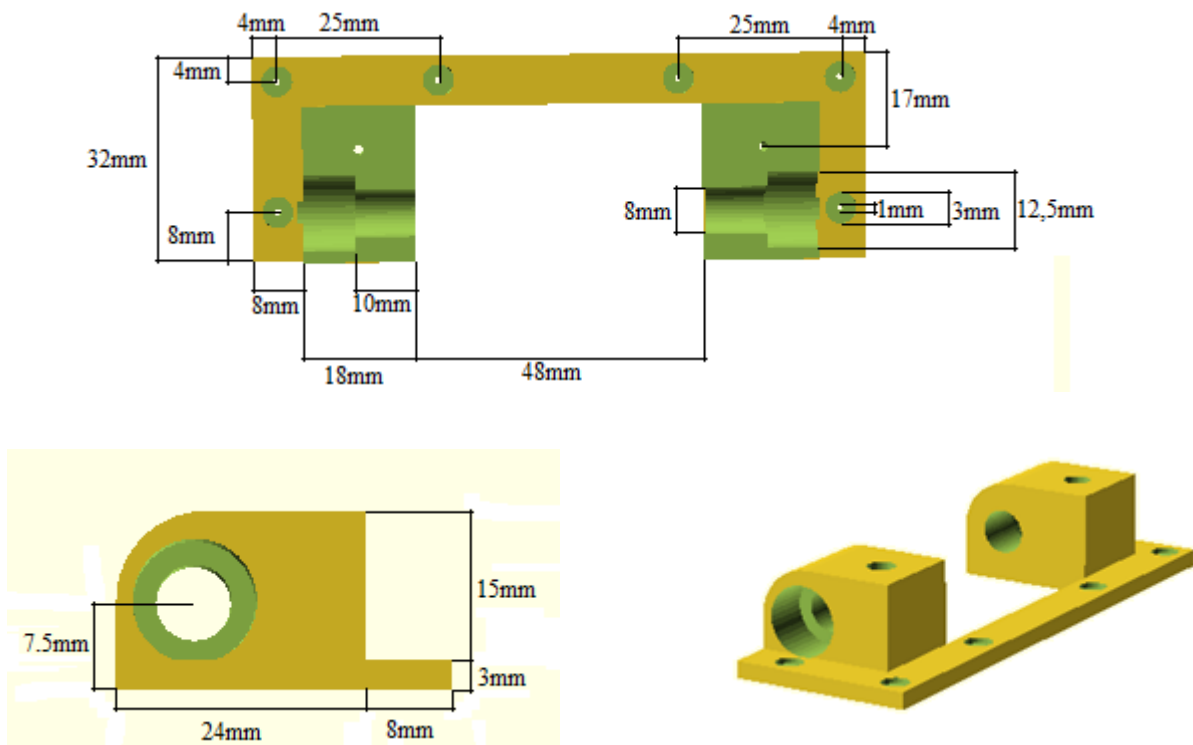
➤ 11.2 - Segunda Prueba

Para esta segunda prueba de movimientos y posicionamiento, vamos a utilizar la mano de la novena propuesta la que imprimimos anteriormente. Para realizar los movimientos y posicionamientos, hemos creado un banco de pruebas, el cual contiene: una base, 5 servo-motores, una placa Skymega que tiene un microcontrolador ATMEGA328P-PU, cable de alimentación, cable FTDI, un soporte para fijar la mano, soportes para los servos, un mano prototipo impresa y diez tramos con una longitud de 500mm de cuerda de guitarra de Nylon con un diámetro igual a 0,71mm.

- Soporte para fijar la mano:

Este soporte lo hemos diseñado con OpenScad, es un anclaje para que la mano esté fija, pero a la vez los dedos tengan total libertad para moverse.

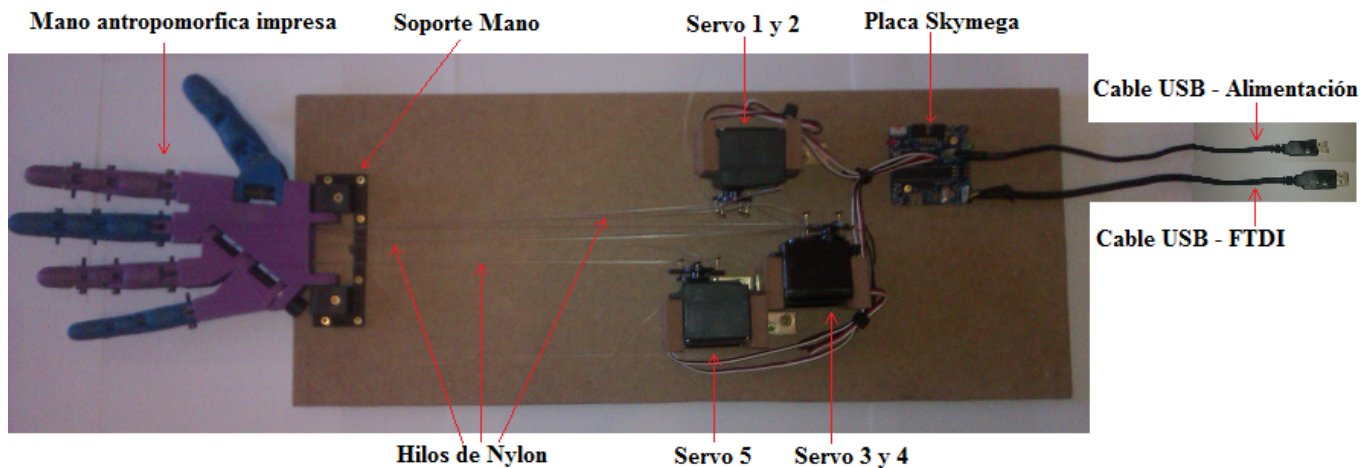
El soporte se muestra en la Figura 68.



- **Figura 65** -
(Soporte acotado)

-Banco de pruebas:

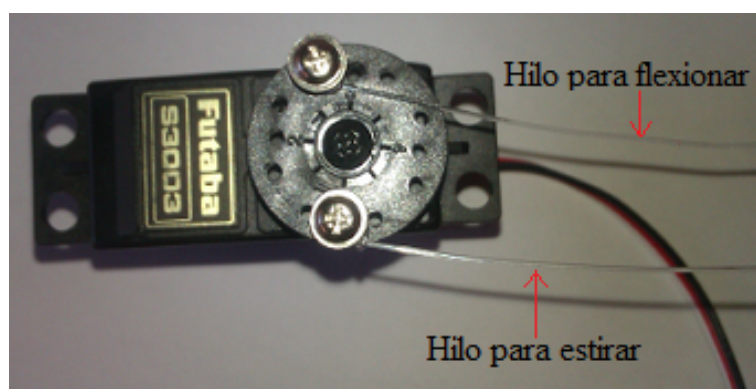
En la siguiente figura podemos ver el banco de pruebas montado.



- **Figura 66** -

(Banco de pruebas)

El banco está montado de tal forma que una vez la mano está fijada, los dos hilos que salen de cada dedo están conectados a un servo. Como cada dedo tiene un recorrido diferente para flexionar y estirar el dedo, lo que he hecho ha sido ir probando dedo a dedo e hilo a hilo y de esta forma he visto la posición óptima de cada pareja hilos en su servo. Con posición óptima, nos referimos a fijar los hilos al servo de tal forma que los hilos queden tensos y que por ejemplo cuando el servo gire en un sentido para flexionar su dedo, tire del hilo para flexionar y suelte hilo de estirar, y viceversa para el proceso de estirar e dedo, ver la Figura 70.




- **Figura 67** -

Los dedos y servos están conectados unos a otros de la siguiente forma:

- Servo 1 → Dedo Pulgar
- Servo 2 → Dedo Índice
- Servo 3 → Dedo Medio
- Servo 4 → Dedo Anular
- Servo 5 → Dedo Meñique

A continuación veremos diferentes programas en Arduino (Figura 71) y la posición y movimientos que realiza la mano con estos.



```
sketch_jun14a | Arduino 0023
File Edit Sketch Tools Help
sketch_jun14a $
#include <Servo.h>

const int SERV01 = 14;
const int SERV02 = 8;
const int SERV03 = 15;
const int SERV04 = 9;
const int SERV05 = 16;
Servo myservo[5];

void setup()
{
  //-- Attaching the 5 servos
  myservo[0].attach(SERV01);
  myservo[1].attach(SERV02);
  myservo[2].attach(SERV03);
  myservo[3].attach(SERV04);
  myservo[4].attach(SERV05);
}

void loop()
{
}

Done compiling.

Binary sketch size: 2930 bytes (of a 30720 byte maximum)

49
```

- **Figura 68** -
(Software Arduino)

En la siguiente tabla podemos ver en qué posición han de colocarse los servos para que los dedos se flexionen o estiren completamente.

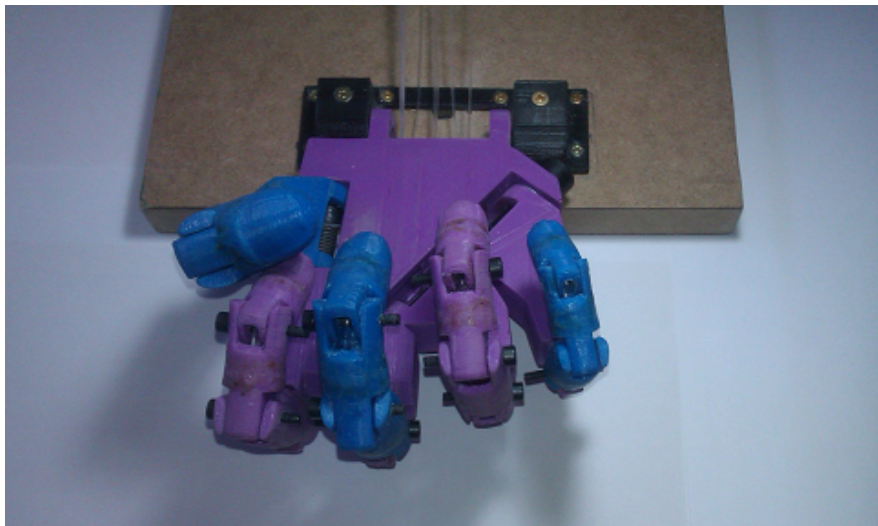
	Servo 1	Servo 2	Servo 3	Servo 4	Servo 5
Flexionado	170°	170°	0°	0°	170°
Estirado	0°	0°	170°	170°	20°

❖ Primer programa

El primer programa que desarrollamos lo hemos utilizado para fijar óptimamente los hilos de Nylon a los servos. Este programa lo que hace es flexionar y estirar todos los dedos uno a uno, de tal forma que íbamos viendo el recorrido que hacia cada uno de los dos hilos que tiene cada dedo para así fijarle al servo, de tal forma que este recoja o suelte más o menos hilo en función de lo medido anteriormente.

❖ Segundo programa

Este es un sencillo programa de posicionamiento con el que variábamos las posiciones de los dedos buscando que se comportara como una mano humana. A continuación mostramos unos ejemplos en las siguientes figuras:



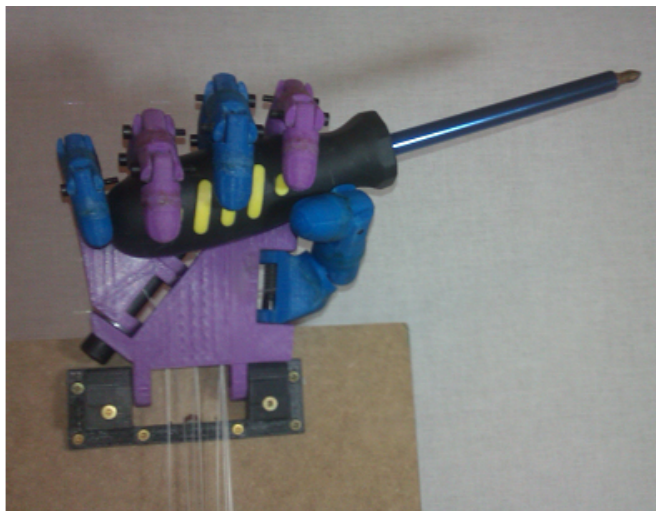
- **Figura 69** -
(Puño cerrado)



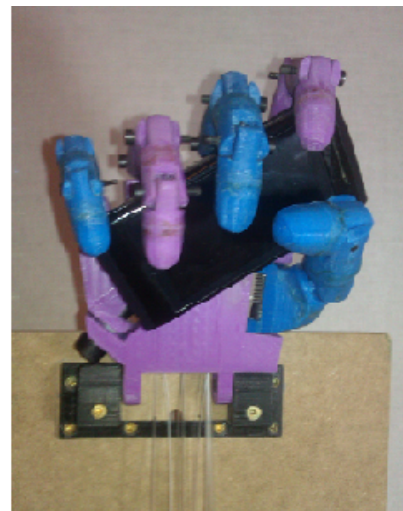
- **Figura 70** -
(OK!)



- **Figura 71** -
(Paz)



- **Figura 72** -
(Agarrando un destornillador)



- **Figura 73** -
(Agarrando un móvil)

➤ 11.3 - Tercera Prueba

Para comprobar la máxima fuerza que puede soportar la mano hemos hecho un experimento, en este hemos colgado la mano de tal forma que los dedos apuntan hacia el suelo, a continuación mediante programa hemos flexionado todos los dedos haciendo coger una bolsa, y en esta hemos ido colocando diferentes pesos, de esta forma ($F = m \times a$) hemos podido saber cuál es la fuerza máxima que puede ejercer el conjunto de los dedos de la mano.

Los pesos utilizados son:

- 250 gr.
- 500 gr.
- 1 Kg.
- 1,5 Kg.
- 2Kg.
- 2,25 Kg.

Cuando hemos hecho la prueba con 2,25 Kg la mano ya sufría bastante por tanto estimamos que como máximo puede aguantar 2 Kg y ya está algo forzada.

Por tanto si aguanta 2 Kg en vertical, aplicando la fuerza en los dedos como se puede ver en la Figura 77, la mano está soportando una fuerza de: **19,6 N**.

$$F = m \times a = 2Kg \times 9,8 m/s^2 = 19,6 N$$

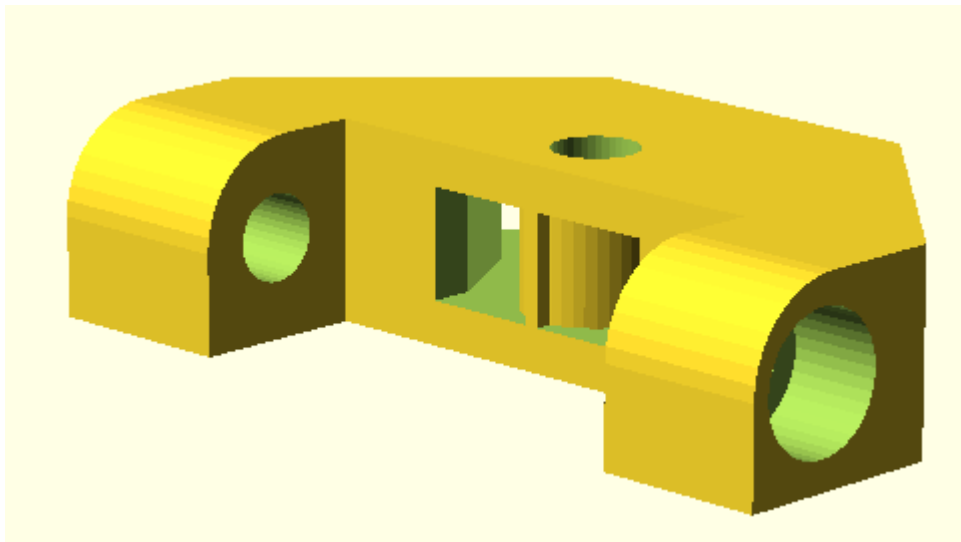


- Figura 74 -

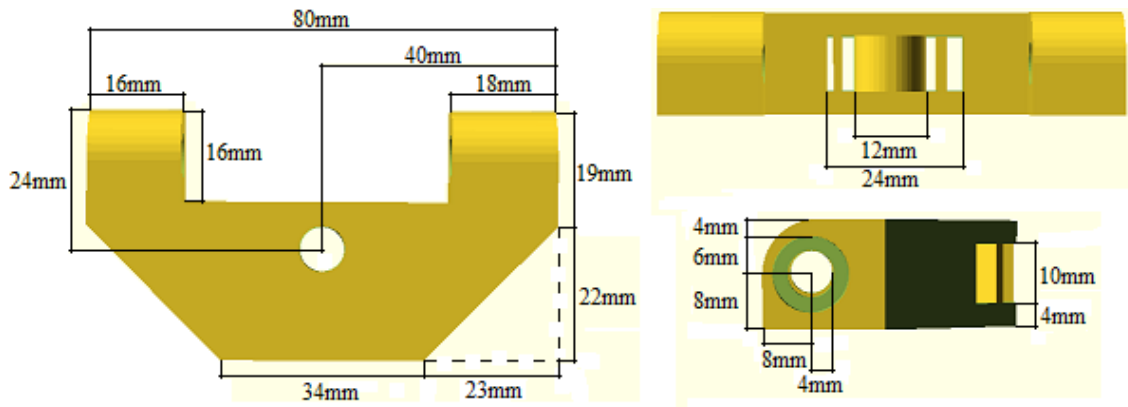
(Mano cogiendo una bolsa con 2 Kg)

➤ 11.4 Cuarta Prueba

En este caso lo que hemos hecho es como diseñar una muñeca (Figura 75) para nuestra mano con OpenScad. Esta muñeca cuenta con dos grados de libertad, para cada uno de ellos contamos con un servo-motor Futaba S3003, controlados por la misma placa Skymega que controla los servo-motores de los dedos.



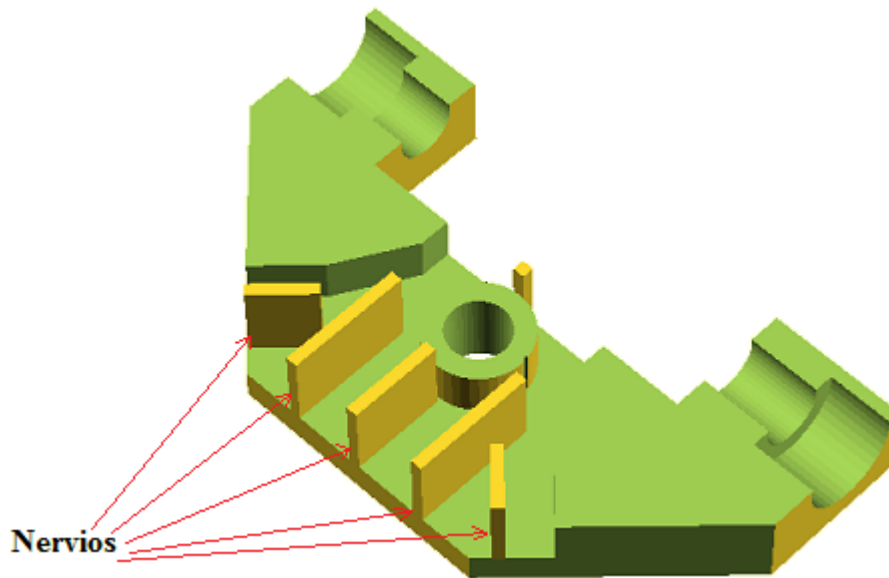
- **Figura 75** -
(Muñeca)



- **Figura 76** -
(Muñeca acotada)

En la Figura 77 podemos observar un sección de la muñeca, de esta forma podemos ver unos nervios en el interior de la muñeca, estos nervios son para que la muñeca pueda ser

imprimida ya que al ser la cavidad interior muy grande necesitamos estos nervios o apoyos para que esta pueda ser impresa.



- Figura 77 -

(Muñeca seccionada)

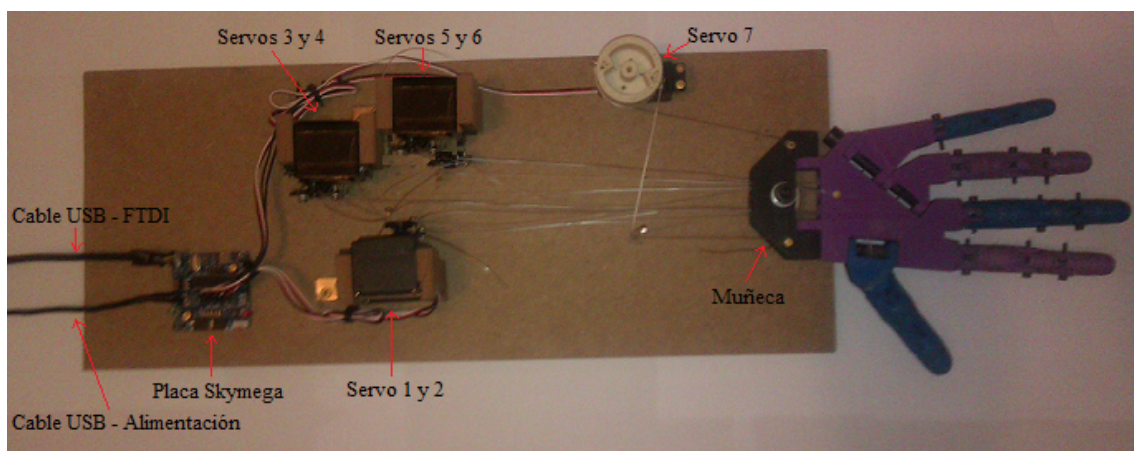
Cuando ya tenemos impresa la muñeca solo hay que quitar los nervios con cuidado para no deteriorar nuestra muñeca. Una vez quitados los nervios, lijamos un poco con lija fina el interior de la cavidad en la parte donde estaban los nervios.

El siguiente paso es montar nuestra nueva muñeca con la mano en el banco de pruebas (Figura 78), para ello hemos tenido que adaptar el banco de pruebas, las modificaciones que hemos hecho han sido:

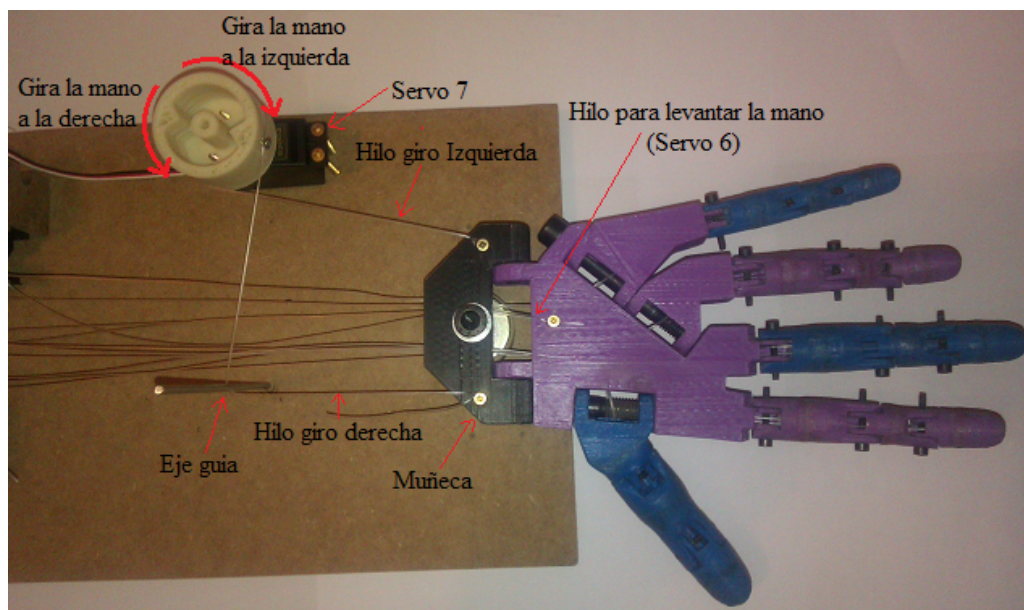
- Colocar un cilindro en el lugar donde va a ir montada la muñeca para elevarla y que tenga total movilidad, y después unirlo todo con un tornillo de Allen de 8mm de diámetro y 60mm de longitud. También hemos metido entre las diferentes partes (Cilindro, muñeca y tornillo o eje) arandelas pulidas para que la muñeca pueda girar con más facilidad.
- Colocar un servo-motor Futaba S3003 con un cilindro sujeto al eje de este (Figura 79). En este cilindro es donde van a ir fijados unos de los extremos de cada uno de

los dos hilos de Nylon que sirven para mover la mano de izquierda a derecha, 45° en los dos sentidos.

- Situar un eje para guiar el hilo de Nylon que hace desplazarse hacia la derecha a la mano (Figura 78 y 79).
- Colocar otro servo-motor Futaba S3003 para levantar la mano hacia el interior de la palma unos 55°. El servo que se encarga de esto es el número seis (Figura 78).



- **Figura 78** -
(Banco de pruebas 2)



- **Figura 79** -
(Ampliación banco de pruebas 2)

❖ Programa “Negación”:

Para comprobar el funcionamiento de la muñeca lo que hemos hecho a sido hacer un programa como el flexiono los dedos Medio, Anular, Meñique y pulgar, dejando el Índice estirado, y a través del servo 6 hago que la mano oscile de izquierda a derecha.



- Figura 80 -

(Ejecutando el programa “Negación”)

12 - Presupuesto

En el siguiente presupuesto se incluyen los productos que hemos utilizado para las pruebas.

PRODUCTO	UNIDADES	PRECIO/UNID.	SUBTOTAL
Plástico: mano, muñeca y soportes	-	5,00 €	5,00 €
Servos-motores Futaba S3003	7	12,00 €	84,00 €
Kit montaje Placa Skymega (Placa impresa y componentes)	1	7,00 €	7,00 €
Microcontrolador ATMEGA328P-PU	1	9,00 €	9,00 €
Tornillería	-	6,00 €	6,00 €
Cuerdas guitarra (Hilo Nylon) 1m	10	1,00 €	10,00 €
TOTAL =			121,00 €



13 - Conclusiones finales y trabajos futuros

En este proyecto hemos podido conocer un poco más y mejor lo perfecto que es el ser humano y en este proyecto en particular las manos, ya que es la mejor herramienta de la que dispone el hombre, por lo versátil y funcional que es, y porque si no fuera por las manos, nuestro día a día sería muy diferente y como no, más complicado.

También hemos conocido el trabajo que realizan en este campo muchos grandes investigadores y científicos de todo el mundo. Y las grandes cantidades de dinero que se invierten en ello. Por lo tanto como hemos podido comprobar hemos conseguido nuestro objetivo, crear una mano antropomórfica a muy bajo coste, y que cualquiera que disponga o tenga acceso a una impresora 3D puede hacerse su mano antropomórfica programable.

Además gracias a las pruebas realizadas ya sabemos cuáles son las limitaciones de esta mano y las líneas a seguir para su mejora.

Como trabajo futuro y para continuar con este proyecto, yo seguiría en la línea de integrar todos los actuadores en un antebrazo, y diseñar un brazo completo donde integrar esta mano, o una futura versión mejorada.

14 – Bibliografía

- [1] www.thingiverse.com, Junio 2012.
- [2] www.handle-projet.eu, Junio 2012
- [3] davidbuckley.net/RS/HandResearch.htm#HeidelbergHand, Junio 2012.
- [4] Shadow Robot Company Ltd. <http://www.shadowrobot.com>.Junio 2012.
- [5] Ramiro Cabas. Metodología de diseño de manos robóticas basada en los estados de su sistema acondicionador. Tesis Doctoral.
- [6] Cesar Augusto Quinayás Burgos. Diseño y construcción de una prótesis Robótica de mano funcional adaptada a varios agarres. Tesis doctoral, 2010



- [7] Marco Ceccarelli. Diseño y experimentación de un dedo articulado antropomorfo con un grado de libertad para una mano robótica. PFC, 2003.
- [8] Oscar Aviles y Joan Mauricio Rosário. Diseño de un Sistema Mecatrónico Antropomórfico de Cinco Dedos. PFC.
- [9] Ernesto Hernández Avilés y Víctor Gustavo Arnez Paniagua. Diseño mecánico de mano antropomórfica orientada a sujeción de cuerpos. PFC.
- [10] Jimenez, Omar; Leija, Lorenzo. Primera aproximación de una mano antropomórfica articulada. Conferencia, 2001.
- [11] Carlos Hernández Santos y Carlos Francisco Montoya Mejía. Diseño de un Sistema Emulando el Movimiento. Articulado de una Mano, Brazo y Antebrazo. Tesis Doctoral, 2007.