



**ESTUDIO Y PROTOTIPADO
DE BRAZO ROBÓTICO PARA
PERSONAS CON
AMPUTACIONES Y DISEÑO
DE CAMPAÑA DE
CONCIENCIACIÓN**

TFG

Blanca Téllez Bautista



Universidad de Valladolid





Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

**Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del
Producto**

**Estudio y prototipado de brazo robótico
para personas con amputaciones y diseño
de campaña de concienciación**

Autor:

Téllez Bautista, Blanca

Tutores:

Geijo Barrientos, José Manuel

Departamento de Expresión Gráfica en la Ingeniería

Ajali Hernández, Nabil Isaac

IDeTIC

Valladolid, Julio 2021.

Agradecimientos

A todas las personas que luchan a diario contra las consecuencias de sufrir una amputación y que además combaten el rechazo e ignorancia social.

A todos los que alguna vez nos hemos sentido rechazados. Por condiciones físicas o mentales, por la nacionalidad, por el estado psicológico, por el género, por la sexualidad, por el color de piel, por la religión, por la condición económica... a las minorías o mayorías.

A todos los que rechazan. Porque alguna vez se encuentren a alguien que tenga la paciencia de abrirles el corazón y aún le queden ganas de debatir.

A las personas que regalan cada día más tiempo y vida con la increíble combinación de la medicina y la tecnología.

A la tierra, a las culturas y a las personas por ayudarme a seguir expandiéndome y tolerando.

A mi padre, mi madre y mi hermana por dejar que vuelen con libertad todos los pájaros de mi cabeza.

A mi otra Blanca por su pasión al caminar y por impulsarme en estos cinco años de crecimiento personal.

A Claudia por toda la vida y sensibilidad que emite, por las ganas y el esfuerzo que supondrá acompañarme mínimo hasta los dos ochos.

RESUMEN

Este proyecto gira en torno a las amputaciones del miembro superior. Inicia con un recorrido por la historia de las amputaciones y la evolución de los brazos robóticos. Continuando con el diseño de un prototipo para probar las investigaciones realizadas por el departamento de Señal y Telecomunicación de Las Palmas de Gran Canaria sobre el movimiento de los brazos robóticos movidos por la señal del encefalograma. Por último, se investiga los problemas que sufren las personas con amputaciones en España, al igual que sus causas y se realiza una campaña de concienciación sobre el colectivo.

PALABRAS CLAVE

Brazo robótico, Amputaciones, Encefalograma, Concienciación, Diseño y prototipado.

ABSTRACT

This project spins around upper limb amputations. It begins with a journey through the history of amputations and the evolution of robotic arms. Continuing with the design of a prototype to test the investigations carried out by the Department of Signal and Telecommunications of Las Palmas de Gran Canaria on the movement of the robotic arms moved by the encephalogram signal. And finally, it goes through an investigation about the problems suffered by the people with amputations in Spain, their causes, and the design of an awareness campaign about this minority group.

KEY WORDS

Robotic arm, Amputations, Encephalogram, Awareness, Design and prototyping.

INDICE DE CONTENIDO

Memoria

PARTE I

1. INTRODUCCIÓN.	21
1.1. PROBLEMA.	21
1.2. OBJETIVOS.	21
1.3. HIPÓTESIS.	22
2. INVESTIGACIÓN	23
2.1. ESTADO DEL ARTE.	23
2.2. TIPOS DE BRAZOS ROBÓTICOS INDUSTRIALES.	26
2.2.1. Robot cartesiano.	26
2.2.2. Robot Cilíndrico.....	27
2.2.3. Robot Esférico o Polar.	27
2.2.4. Robot Rotacional.	28
2.2.5. Robot de configuración mezclada o SCARA.....	29
2.2.6. Robot paralelo.	30
2.3. TIPOS DE SISTEMAS PROTÉSICOS FUNCIONALES.....	31
2.3.1. Prótesis mecánicas.	31
2.3.2. Prótesis mioeléctricas.	32
2.3.3. Prótesis híbridas.	33
2.3.4. Prótesis neumáticas.....	33
2.4. ANÁLISIS ANATÓMICO DEL BRAZO HUMANO.....	33
2.5. MOVIMIENTOS DE LAS ARTICULACIONES EN LA EXTREMIDAD SUPERIOR.....	34
2.5.1. Flexión.	35
2.5.2. Extensión.....	35
2.5.3. Abducción y aducción.....	36
2.5.4. Pronación.	36
2.5.5. Supinación.	36
2.5.6. Circunducción.	37
2.5.7. Oposición.....	37
2.5.8. Reposición.....	37
2.5.9. Antepulsión y retropulsión.	37
2.6. TIPOS DE ARTICULACIONES EN LA EXTREMIDAD SUPERIOR.....	38

2.6.1.	Articulación del hombro.	39
2.6.2.	Articulación del codo.	39
2.6.3.	Articulación de la muñeca.....	40

PARTE II

3.	DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	45
3.1.	PROTOTIPOS ACTUALES.	45
3.1.1.	Proto 1 – Universidad John Hopkins.	45
3.1.2.	Proto 2 – Universidad John Hopkins.	48
3.1.3.	Miembros protésicos modulares – Universidad John Hopkins. .	48
3.1.3.1.	Sensores de los miembros protésicos modulares.....	49
3.1.3.2.	Características de los miembros protésicos modulares.	50
3.1.3.3.	Parámetros de los miembros protésicos modulares.....	50
3.1.4.	Diseño de brazo robótico Easton LaChappelle.....	51
3.1.5.	Exoesqueleto mecánico.	52
3.1.6.	Brazo robótico para aplicaciones fitosanitarias.	53
3.2.	INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA.....	54
3.2.1.	ONDAS DEL EEG.	54
3.2.2.	INTERFAZ CEREBRO-ORDENADOR.	55
3.2.3.	BASE DE DATOS.....	57
3.2.4.	SOFTWARE PROCESADOR DE LA SEÑAL EEG.....	58

PARTE III

4.	IMPRESIÓN, MONTAJE Y ENSAMBLADO DEL PROTOTIPO.....	63
4.1.	INTRODUCCIÓN.	63
4.2.	FABRICACIÓN. HARDWARE Y SOFTWARE EMPLEADO.....	63
4.2.1.	IMPRESORA 3D.....	63
4.2.2.	MATERIAL EMPLEADO PARA LA IMPRESIÓN.	64
4.2.3.	ARCHIVOS PARA EL PROTOTIPO.	65
4.2.3.1.	Base.	65
4.2.3.2.	Pinza.....	66
4.2.3.3.	Brazo.	67
4.2.4.	PROCESO DE OBTENCIÓN DE LAS PIEZAS IMPRESAS.....	70

4.2.5. SERVOMOTORES.	74
4.2.5.1. Hoja de datos del Servo Motor SG90.	76
4.2.6. ARDUINO.	77
4.3. MONTAJE Y ENSAMBLADO.	79
5. PUESTA EN MARCHA.	82
5.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	82

PARTE IV

6. DISEÑO DE CAMPAÑA DE CONCIENCIACIÓN.	89
6.1. CONTEXTO SOCIAL Y REFLEXIÓN.	89
6.1.1. INTRODUCCIÓN.	89
6.1.2. RECHAZO Y FALTA DE FINANCIACIÓN.	90
6.2. DISEÑO DE LA CAMPAÑA.	91
6.2.1. OBJETIVOS.	91
6.2.2. CONCEPTO	92
6.2.3. SIMBOLOGÍA.	93
6.2.4. ESTILO.	93
6.2.5. PROCESO DE DISEÑO DEL SOPORTE GRÁFICO.	94
Modelado con software 3D del cartel.	94
Asignación de materiales y texturas a los modelos.	96
Disposición y colores del cartel. Proceso.	97
Combinación del 3D y 2D para estructurar la información.	98
Cartel final.	99
MockUps.	100
6.2.6. PROCESO DE DISEÑO DEL SOPORTE AUDIOVISUAL.	101
Fotogramas de unión.	105

PARTE V

7. CONCLUSIONES.	111
7.1. PROBLEMAS.	112
7.2. FUTURAS LÍNEAS ABIERTAS DE INVESTIGACIÓN.	112
Bibliografía.	115
Webgrafía.	117

INDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1. Primeras prótesis encontradas en momias.....	24
Ilustración 2. Mano de Alt-Ruppin.	24
Ilustración 3. Primer brazo artificial móvil.	25
Ilustración 4. Robot cartesiano.	27
Ilustración 5. Robot cilíndrico.	27
Ilustración 6. Robot esférico.....	28
Ilustración 7. Robot rotacional.	29
Ilustración 8. Área de trabajo robot ABB IRB2400.	29
Ilustración 9. Robot SCARA.....	30
Ilustración 10. Robot paralelo.	31
Ilustración 11. Distintas formas de sujeción de los arneses mecánicos.	31
Ilustración 12. Prótesis mioeléctrica.....	32
Ilustración 13. Articulaciones y huesos de la extremidad superior.	33
Ilustración 14. Extremidad superior.....	34
Ilustración 15. Planos y ejes anatómicos.	35
Ilustración 16. Movimientos en la extremidad superior de flexión/extensión.	35
Ilustración 17. Movimientos en la extremidad superior de abducción/aducción.....	36
Ilustración 18. Movimientos en la extremidad superior de pronación/supinación.	36
Ilustración 19. Movimiento en la extremidad superior de circundicción.	37
Ilustración 20. Movimientos en la extremidad superior de oposición/reposición.....	37
Ilustración 21. Movimientos en la extremidad superior de antepulsión/retropulsión.	38
Ilustración 22. Tipos de articulaciones en el cuerpo humano.	38
Ilustración 23. Articulación del hombro.....	39
Ilustración 24. Articulación del codo.....	39
Ilustración 25. Articulación de la muñeca.	40
Ilustración 26. Kitts en el laboratorio durante la creación e investigación de su brazo biónico.....	45
Ilustración 27. Movimientos de la prótesis Proto1.	46
Ilustración 28. Funcionamiento del miembro protésico modular de Proto 1.	46
Ilustración 29. Información sobre las especificaciones del diseño de Proto 1.	47
Ilustración 30. Información sobre las especificaciones del diseño de Proto 1.	47
Ilustración 31. Brazo biónico Proto 2.....	48
Ilustración 32. MLP por la Univiersidad John Hopkins.	49
Ilustración 33. Localización de los sensores en miembros protésicos modulares.	49
Ilustración 34. Partes del brazo robótico LaChappelle.....	51

Ilustración 35. Sistema mecánico equivalente a un exoesqueleto unido al brazo.....	52
Ilustración 36. Exoesqueleto fabricado con Servomotor LEGO.	53
Ilustración 37. Diseño del brazo articulado.....	53
Ilustración 38. Ondas del EEG.....	54
Ilustración 39. Funcionamiento básico de una interfaz cerebro-computadora.	56
Ilustración 40. Ubicación de los electrodos EEG mediante el sistema internacional 10-20.....	57
Ilustración 41. Fotografías de la impresora Ultimaker2 Extended+.....	63
Ilustración 42. Material PLA.....	65
Ilustración 43. Base principal.....	65
Ilustración 44. Base de conexión dentada.....	66
Ilustración 45. Parte de agarre.....	66
Ilustración 46. Placa para servomotor.....	66
Ilustración 47. Barras paralelas.....	67
Ilustración 48. Engranajes.....	67
Ilustración 49. Manipulador.....	67
Ilustración 50. Base y espacios para los servomotores.....	68
Ilustración 51. Extensión del brazo.....	68
Ilustración 52. Enganche entre la extensión y la base.....	68
Ilustración 53. Extensión del brazo 2.....	68
Ilustración 54. Extensión de unión con la pinza.....	69
Ilustración 55. Enganche con servomotor para el movimiento (2 piezas).....	69
Ilustración 56. Enganche entre servomotor y pinza.....	69
Ilustración 57. Unión para los enganches.....	70
Ilustración 58. Preparación de piezas tirada 1. Prueba.....	70
Ilustración 59. Preparación de piezas tirada 2.....	71
Ilustración 60. Preparación de piezas tirada 3.....	71
Ilustración 61. Preparación de piezas tirada 4.....	71
Ilustración 62. Preparación de piezas tirada 5.....	72
Ilustración 63. Impresora Ultimaker2 Extended+ en el momento de la impresión.....	72
Ilustración 64. Piezas impresas tirada 1.....	72
Ilustración 65. Piezas impresas tirada 2.....	73
Ilustración 66. Piezas impresas tirada 3.....	73
Ilustración 67. Piezas impresas tirada 4.....	73
Ilustración 68. Piezas impresas tirada 5.....	74
Ilustración 69. Conjunto de las piezas impresas.....	74
Ilustración 70. Diagrama de funcionamiento de un servomotor.....	75
Ilustración 71. Ancho de pulsos para lograr diferentes posiciones en un servomotor (180°, 135°, 90°, 45°, 0°).....	76
Ilustración 72. Imagen Servo Motor SG90.....	76
Ilustración 73. Especificaciones Servo Motor SG90.....	77
Ilustración 74. Pulso y cables del Servo Motor SG90.....	77

Ilustración 75. Ejemplo de conexión con Arduino y un servomotor.....	78
Ilustración 76. Ensamblaje de la pinza.....	79
Ilustración 77. Prueba de funcionamiento de la pinza con el Servomotor.	80
Ilustración 78. Ensamblaje de la base.....	80
Ilustración 79. Ensamblaje de las piezas.	81
Ilustración 80. Brazo final.....	82
Ilustración 81. Movimientos que podría realizar el prototipo.	83
Ilustración 82. Carteles de años anteriores.	94
Ilustración 83. Modelo final de la mano y colocación de la armadura.....	95
Ilustración 84. Modelo final de la mano robótica y colocación de la armadura.	95
Ilustración 85. Primeros materiales y texturas.....	96
Ilustración 86. Proceso de disposición y colores del cartel.....	97
Ilustración 87. Pruebas de diseño del cartel.....	98
Ilustración 88. Cartel final.....	99
Ilustración 89. MockUps Exposición del cartel.....	100
Ilustración 90. Animación 1.....	101
Ilustración 91. Animación 2.....	102
Ilustración 92. Animación 3.....	102
Ilustración 93. Animación 4 con texto.	103
Ilustración 94. Animación 6 con texto.	103
Ilustración 95. Animación 7 con texto.	104
Ilustración 96. Fotogramas unión de ambas manos (no insertado en el video final).....	105
Ilustración 97. Fotogramas finales para el video.....	106
Ilustración 98. Código QR para acceder al video.	107

ABREVIATURAS.

EEG Electroencefalografía.

BCI Interfaz Cerebro-Máquina.

EMG Electromiografía.

MLP Miembros Protésicos Modulares

PWM Modulación por Ancho de Pulsos

PARTE I.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. PROBLEMA.

Nos encontramos en un momento de crecimiento exponencial en cuanto a los avances tecnológicos y sanitarios se refiere, esto hace que tengamos una longevidad mayor y genera numerosos problemas a los que enfrentarnos. Enfermedades como la distrofia muscular, la esclerosis lateral amiotrófica (ELA), la diabetes, enfermedades vasculares y los accidentes de tráfico son las mayores causas de amputación en el mundo.

Por ello, en colaboración con una investigación que está desarrollando la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria asociada al control de brazos robóticos con la mente se pretende realizar el diseño de un brazo robótico que ayude a probar los avances tecnológicos que se realicen en el espacio cerebro-computadora.

1.2. OBJETIVOS.

- Conocer los movimientos que realiza el miembro superior del cuerpo humano.
- Investigar sobre los brazos biónicos ya existentes.
- Explorar la tecnología que engloba a los brazos robóticos para personas con amputaciones.
- Conocer el funcionamiento de la señal EEG y los sistemas BCI.
- Aportar información sobre el control de brazos robóticos para personas con amputaciones mediante la señal EEG a la tesis que se desarrolla en el departamento de Señal y Telecomunicación de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria sobre este tema concreto.
- Fabricar un prototipo de brazo robótico mediante impresión 3D que pueda comprobar los estudios que se están realizando en la tesis anteriormente comentada.
- Investigación sobre los problemas que sufren las personas con amputaciones.
- Creación de una campaña de visibilización del colectivo de personas con amputaciones con el fin de concienciar a la población sobre este problema.

1.3. HIPÓTESIS.

Este proyecto nace de un deseo por entrar en el mundo de la biotecnología, siempre hemos deseado llevar el diseño a lo más humano y en el curso 20/21 se presentó la posibilidad de realizar las prácticas de empresa con el Instituto de Investigación de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

El desarrollo de este trabajo comienza con la necesidad de darle un aspecto físico y estético a las investigaciones que se han realizado en el departamento de Señal y Telecomunicación de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria por Carlos Manuel Travieso González y Nabil Isaac Ajali Hernández. Su proyecto se centra en estudiar un método no invasivo de trasladar las señales EEG al movimiento de un brazo robótico para personas con amputaciones, en este punto se pretende entrar con el objetivo de crear un primer prototipo sencillo que diera la posibilidad de probar los primeros resultados obtenidos en el estudio.

A raíz de ahí surgió la idea de este TFG. Este se va a dividir en cuatro partes principales para poder llevar a cabo el objetivo del proyecto:

- **Investigación.**
Todo proyecto necesita de un recorrido a través del tiempo. En este apartado se investigará toda la historia que engloba a los brazos robóticos, la fisiología de la extremidad superior y la tecnología que consigue establecer la fusión perfecta cerebro-ordenador.
- **Evolución y propiedades de los brazos robóticos.**
En este apartado se realizará un análisis de las tecnologías que engloban los brazos robóticos ya existentes y su evolución, desde los brazos más sencillos hasta los más complejos, pasando por toda su tecnología y propiedades externas.
- **Prototipo de brazo robótico.**
Durante el periodo de prácticas se ha ido desarrollando este segundo apartado del trabajo. Para el proyecto se pedía el diseño de un prototipo que expusiera el funcionamiento de los primeros resultados de la investigación de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Debido al alto coste que supondría llevar a cabo el brazo robótico final se ha realizado durante estos meses un prototipo modelado gracias al uso de la impresión 3D, un conjunto de servomotores y una tarjeta Arduino.
- **Diseño de campaña de concienciación.**
Este último apartado tiene como objetivo una investigación para comprender la situación de los amputados en España. Se pretende tras dicha investigación realizar una campaña de visibilización que se moverá a través de redes sociales y carteles por la ciudad. El resultado de la campaña vendrá dado por la combinación de el modelado en 3D

de dos brazos, su renderizado y el diseño de la cartelería para la exposición de esta.

2. INVESTIGACIÓN

2.1. ESTADO DEL ARTE.

Para poder entender el diseño de estos brazos mecánicos es necesario ir atrás en el tiempo. A continuación, se va a analizar la historia desde los primeros brazos mecánicos industriales, hasta diseños de prótesis mecánicas actuales que han conseguido implementar una reproducción exacta de los movimientos del cuerpo humano en los mismos.

Para ello tendremos que conocer el concepto de Ingeniería Biónica. Este lo definimos como el análisis del funcionamiento y modelo de los seres vivos para su posterior aplicación en herramientas tecnológicas. Su objetivo es combinar el conocimiento que tenemos sobre sistemas eléctricos con nuestro sistema biológico.

Según la definición de esta ciencia podríamos reconocer que el primer ingeniero biónico fue Leonardo Da Vinci, quien estudió los principios del funcionamiento de los seres vivos para aplicarlos en el diseño de máquinas. Dentro de la Ingeniería Biónica el diseño de prótesis está muy extendido, por lo que atendiendo a su definición debemos estudiar los principios del funcionamiento de las extremidades que se desean sustituir con dichas prótesis antes de realizar la parte tecnológica de estas.

La primera prótesis registrada data del año 2000 a.C. y fue encontrada en una momia egipcia, esta prótesis del miembro superior estaba sujeta al antebrazo por medio de un cartucho adaptado a este. La siguiente prótesis encontrada data del 710 a.C. esta se diseñó para el dedo del pie.



Ilustración 1. Primeras prótesis encontradas en momias.

En año 1400 se fabricó la mano de Alt-Ruppín gracias a los avances en el manejo del hierro. Esta constaba de una muñeca con capacidad de realizar movimientos de flexión y extensión, el pulgar rígido en oposición y dedos flexibles, los cuales eran flexionados pasivamente. [Ilustración 2]



Ilustración 2. Mano de Alt-Ruppín.

El primer brazo artificial móvil al nivel del codo data del año 1536. Este fue desarrollado por el médico militar francés Ambroise Paré. En este brazo los dedos de la mano podían abrirse o cerrarse presionando o traccionando, además, disponía de una palanca por medio de la cual se podía realizar la flexión y extensión a nivel del codo. Paré también inventó la primera mano estética de cuero, con lo que da un nuevo giro a la utilización de materiales para el diseño de prótesis del miembro superior. [Ilustración 3]

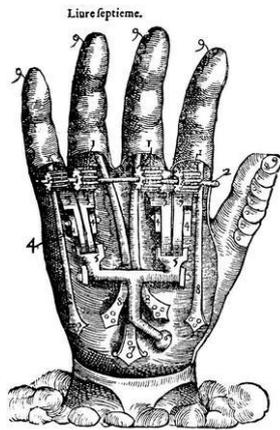


Ilustración 3. Primer brazo artificial móvil.

En el siglo XIX, conocido como el siglo de la industrialización surgen en este campo grandes avances en cuanto a los materiales utilizados para fabricar las prótesis, se emplean el cuero, los polímeros naturales y la madera. En el 1946 se crean sistemas de propulsión asistida, dando origen a las prótesis neumáticas y eléctricas.

En las últimas décadas las investigaciones en el desarrollo protésico han permitido importantes avances en sus aplicaciones. Cabe destacar la técnica de reinervación muscular dirigida (Targeted Muscle Reinnervation). Los nervios residuales del miembro amputado se transfieren a los músculos del pecho o del brazo, es decir, un grupo muscular conservado que no tiene función biomecánica debido a la amputación. Durante la transferencia de los nervios, los músculos seleccionados son denervados y reinervados de nuevo y sirven como amplificadores biológicos de los nervios amputados.

Hablamos de un músculo denervado cuando los tejidos musculares pierden la capacidad de generar una contracción, esta se produce debido a algún daño durante el trayecto del nervio que se encarga de realizar la inervación. Cuando un músculo se encuentra en este estado no se obtiene una respuesta muscular ya que el impulso nervioso no llega a su destino.

En cuanto a la inervación, empleamos este término para referirnos a la creación de una serie de enlaces que se establecen entre diferentes fibras, con el fin de

llegar a músculos, piel u órganos internos, y transmitir la información ya sea sensitiva o motora.

En la piel correspondiente de estos músculos se retira el tejido celular subcutáneo para conseguir una mejor transmisión de las señales eléctricas que se generen. Por ejemplo, el transferir el nervio mediano al músculo pectoral, proporciona una señal mioléctrica de cierre de la mano. Así mismo, utilizando un segmento de piel cercano a la musculatura reinervada, se puede proporcionar al usuario sentido del tacto en su miembro amputado.

2.2. TIPOS DE BRAZOS ROBÓTICOS INDUSTRIALES.

Los siguientes brazos analizados son de aplicaciones industriales, pero su análisis nos puede servir para aplicarlos a brazos robóticos en personas con amputaciones.

2.2.1. Robot cartesiano.

Un robot cartesiano es una estructura de tres articulaciones prismáticas proporcionando un espacio de trabajo en forma de caja, razón por la cual también se les denomina robots de coordenadas rectangular, cuyos movimientos se realizan en las coordenadas cartesianas, ejes ortogonales entre sí (X, Y, Z) de la herramienta utilizada con respecto a la base de esta. Dicha posición de las articulaciones hace que este robot sea de los más sencillos de controlar.

Sus aplicaciones principalmente se enfocan en campos de ensamble, trabajos de carga, almacenaje de productos, desplazamiento y descarga de materiales, conformación de objetos mediante la aportación o eliminación de material, sellado, ensamblaje, manejo de máquinas-herramientas, y soldadura al arco.

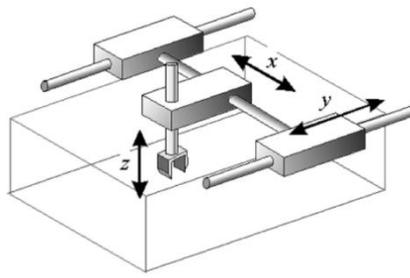


Ilustración 4. Robot cartesiano.

2.2.2. Robot Cilíndrico.

Un robot cilíndrico es una estructura en la que su base es una articulación de tipo rotacional, mientras que la segunda y tercera articulación son prismáticas. Su estructura mecánica es compleja y su espacio de trabajo es la porción de un cilindro hueco.

Se utilizan en operaciones de ensamblaje, manejo de máquinas-herramientas, soldaduras por puntos, y manejo, vaciado y moldeado de metales.

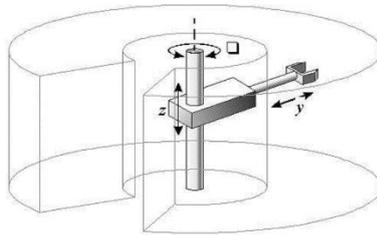


Ilustración 5. Robot cilíndrico.

2.2.3. Robot Esférico o Polar.

Un robot esférico es una estructura en la cual sus primeras dos articulaciones son de tipo rotacional y la tercera de tipo prismática. Combina tres giros en tres direcciones perpendiculares al espacio. El término robot esférico se debe al hecho de que son justamente las coordenadas esféricas, o polares, las que mejor definen la posición de este tipo de robots, con respecto a un sistema de referencia.

Sus aplicaciones principales son el manejo de máquinas-herramientas, soldaduras por puntos, vaciado de metales, frezado, soldadura a gas, y soldadura al arco.

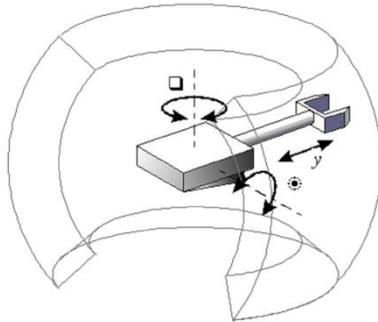


Ilustración 6. Robot esférico.

2.2.4. Robot Rotacional.

Un robot rotacional es aquel en el que todas sus articulaciones son de tipo rotacional. A este se le denomina **antropomórfico debido a las similitudes entre su estructura y el brazo humano**. Estos robots tienen un gran espacio de trabajo y son muy populares, pero su control es mucho más complejo que el robot cartesiano, debido a su análisis dinámico.

Este robot dispone de seis grados de libertad rotacional, las primeras tres barras son las que aportan la mayor dinámica debido a su peso. A menudo es posible localizar los primeros tres accionamientos de potencia en la base del robot, pero para lograr esto se debe ser cuidadoso en el uso de mecanismos de cuatro barras que mueven el brazo más alejado (*robot ABB IRB2400*). En estos robots, las tres primeras articulaciones del robot deben dar las condiciones de posición y las tres últimas articulaciones del extremo del robot deben concentrar en un punto de la mano los tres grados de libertad de orientación.

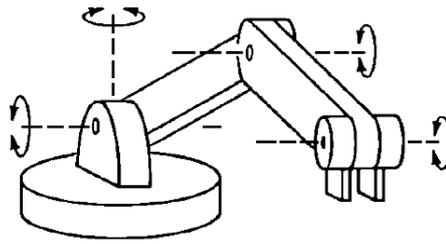


Ilustración 7. Robot rotacional.

Sus aplicaciones principales son operaciones de ensamblaje, corte/desbarbado, vaciado de metales, pegado/sellado, rectificado/pulido, alimentación de máquinas, manipulación de materiales, fresado, soldadura a gas, soldadura al arco, y pintura con *spray*.

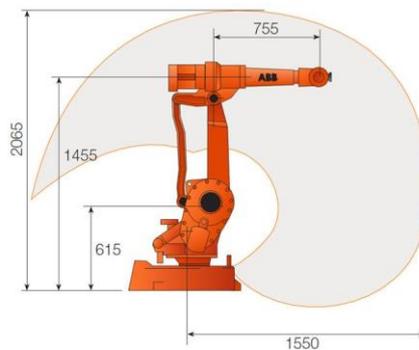


Ilustración 8. Área de trabajo robot ABB IRB2400.

2.2.5. Robot de configuración mezclada o SCARA.

Un robot SCARA (*Selective Compliant Assembly Robot Arm*) tiene como característica principal el uso de dos o tres articulaciones giratorias con ejes verticales. También se les denomina robots de *configuración giratorios-prismáticos*. Aunque el robot SCARA tiene una estructura RRP, éste es bastante diferente respecto al robot esférico, aunque tengan la misma estructura.

El volumen de trabajo de este tipo de robots, suponiendo que los brazos tienen una longitud de L1 y L2, un rango de giro de 360° y un rango de desplazamiento de L3, es de:

$$P = (L1 + L2) \cdot L3$$

Sus aplicaciones principales vienen dadas por trabajos de carga, desplazamiento y descarga de materiales, en aplicaciones de sellado, ensamblaje, y manejo de máquinas-herramientas.

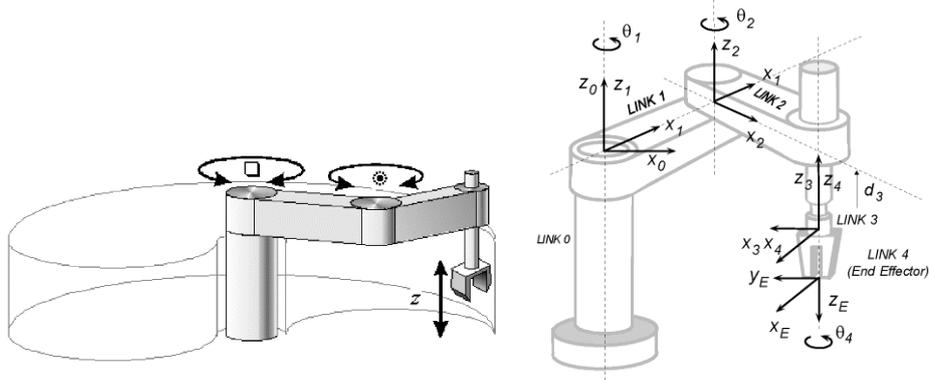


Ilustración 9. Robot SCARA.

2.2.6. Robot paralelo.

Un robot paralelo es un robot cuyos brazos tienen articulaciones prismáticas o rotatorias concurrentes. Estos tienen los eslabones dispuestos en paralelo, en lugar de en serie, los cuales cuentan con articulaciones prismáticas y rotatorias a la vez. Normalmente tienen un espacio de trabajo pequeño, pero sus errores de posicionamiento ya no son acumulativos como en un robot de eslabones en serie. La principal ventaja de los robots paralelos, respecto a los mecanismos puramente paralelos, es que el campo de movimiento rotacional es mucho menos limitado.

Se usan como plataformas móviles, permitiendo simulaciones de las cabinas de vuelo de los pilotos.

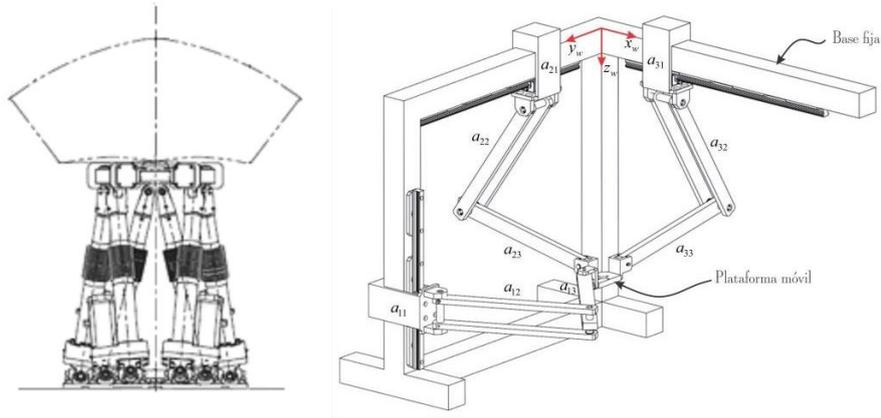


Ilustración 10. Robot paralelo.

2.3. TIPOS DE SISTEMAS PROTÉSICOS FUNCIONALES.

2.3.1. Prótesis mecánicas.

Las prótesis mecánicas son prótesis con dispositivos de apertura y cierre, generando movimientos de tracción voluntarios ejercidos por el tensor mediante cables y cintas de sujeción. Estas cintas se mantienen unidas al cuerpo mediante elementos de suspensión dispuestos de diferentes formas.

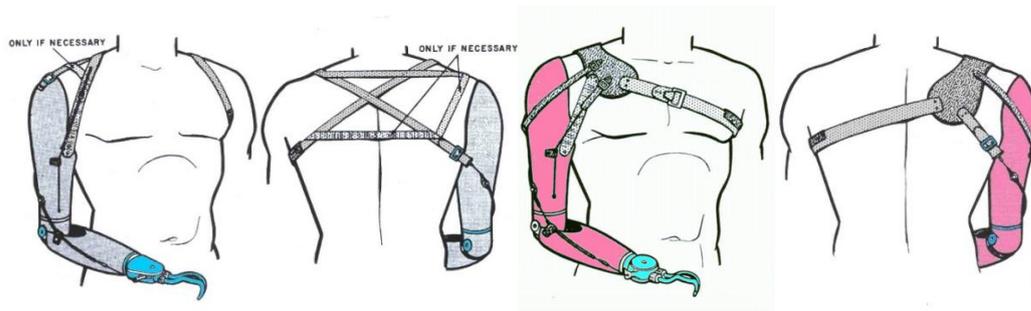


Ilustración 11. Distintas formas de sujeción de los arneses mecánicos.

Las prótesis mecánicas son funcionales, pero tienen limitaciones en los movimientos, ya que la energía del usuario y los movimientos de tensión son imprescindibles para su utilidad. Estos se controlan mediante las cintas que realizan las funciones de la mano y del codo gracias a los movimientos del paciente con el muñón y el hombro.

En niveles altos de amputación y para una demanda más alta en la técnica podemos utilizar prótesis híbridas que combinan los sistemas mecánicos y mioeléctricos.

2.3.2. Prótesis mioeléctricas.

Las prótesis mioeléctricas son las denominadas “prótesis activas de fuerza ajena”. En estas, los sensores incorporados a las prótesis leen las corrientes eléctricas que envían las contracciones musculares, pudiendo mediante los mismos y con los componentes adecuados, controlar los movimientos del brazo.

El control mioeléctrico se basa en el concepto de que siempre que un músculo en el cuerpo se contrae o se flexiona, se produce una pequeña señal eléctrica (EMG) que es creada por la interacción química en el cuerpo. Esta señal la obtenemos del músculo del muñón gracias al uso de unos sensores llamados electrodos, estos entran en contacto con la superficie de la piel permitiendo registrar la señal EMG (5 a 200 microvoltios). Una vez registrada, esta señal se amplifica y es procesada por un controlador que conmuta los motores encendiéndolos y apagándolos en la mano, la muñeca o el codo para producir movimiento y funcionalidad.

En las prótesis de antebrazo se colocan los electrodos de tal forma que los extensores abren la mano y los flexores la cierran. Sin embargo, en las prótesis de brazo los electrodos van colocados de tal forma que el tríceps abre la mano y el bíceps la cierra.

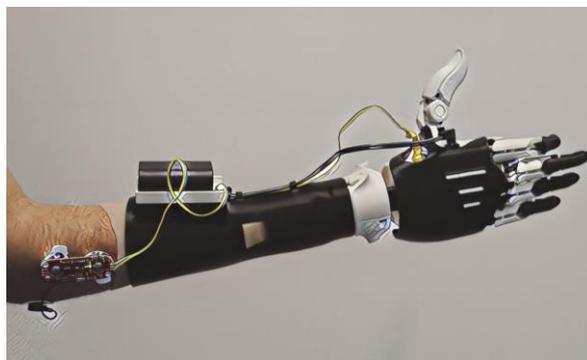


Ilustración 12. Prótesis mioeléctrica.

2.3.3. Prótesis híbridas.

Las prótesis híbridas combinan los sistemas de fuerza propia (acción del cuerpo) con la fuerza ajena (accionamiento por electricidad). Mayoritariamente este tipo de prótesis son usadas por pacientes con amputaciones transhumerales (encima del codo), estas utilizan frecuentemente un codo accionado de forma mecánica y un dispositivo terminal controlado de forma mioeléctrica (gancho o mano).

2.3.4. Prótesis neumáticas.

Las prótesis neumáticas son accionadas por ácido carbónico comprimido, que proporciona una gran cantidad de energía con pérdidas mínimas a través de un sistema de tubos. Cada válvula se ordena de manera especial, dependiendo de la amputación o tipo de muñón que presente el paciente. Presenta como inconveniente la complicación y el riesgo del uso del ácido carbónico.

2.4. ANÁLISIS ANATÓMICO DEL BRAZO HUMANO.

Para el diseño del brazo robótico debemos entender el movimiento y anatomía de la extremidad superior del ser humano. Este debe sustituir las funciones y movimientos que realiza el paciente, para ello es importante conocer las dimensiones de las partes que componen el conjunto: la mano (pinza), la longitud del antebrazo y la longitud del brazo.

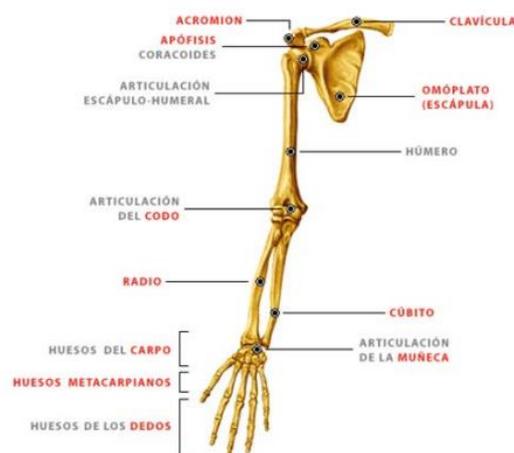


Ilustración 13. Articulaciones y huesos de la extremidad superior.

Anatómicamente la extremidad superior está compuesta por cuatro partes: hombro, brazo, antebrazo y mano.



Ilustración 14. Extremidad superior.

Como podemos apreciar en las imágenes anteriores, entre cada región hay una articulación, cuya función es la de unir a los distintos componentes de la extremidad. Además, las articulaciones permiten el movimiento de sus distintas partes y soportan las cargas de este.

2.5. MOVIMIENTOS DE LAS ARTICULACIONES EN LA EXTREMIDAD SUPERIOR.

Para poder diseñar el brazo robótico hemos de entender cómo se realizan los movimientos en las articulaciones de la extremidad superior. Vamos a clasificar los movimientos que realizan las diferentes articulaciones con referencia a los planos y ejes anatómicos.

La relación que existe entre ejes y planos se basa en que cuando un movimiento se produce en un determinado plano, la articulación se mueve o gira sobre un eje que se encuentra a 90° respecto de dicho plano.

Distinguimos tres planos y tres ejes de movimiento:

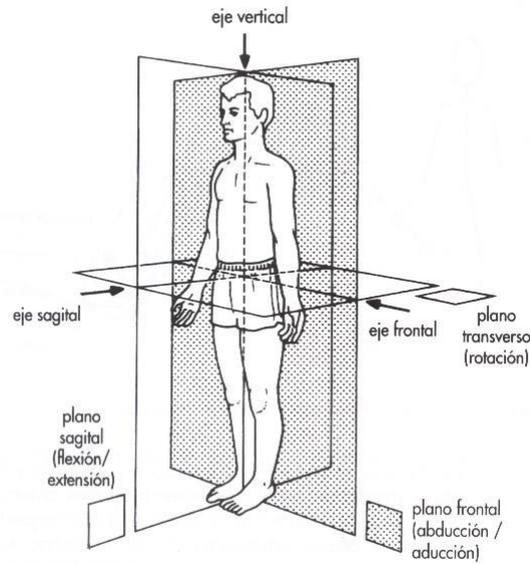


Ilustración 15. Planos y ejes anatómicos.

Los movimientos corporales básicos se definen en relación a dichos ejes y planos, en función de estos vamos a analizar los movimientos específicos de la extremidad superior:

2.5.1. Flexión.

Este movimiento se realiza alrededor del eje sagital. Se describe como el movimiento que ocurre cuando se eleva el brazo hacia delante.

2.5.2. Extensión.

Es el movimiento opuesto a la flexión, tiene lugar alrededor del eje sagital. Se describe como el movimiento que ocurre cuando se acerca el brazo hacia el cuerpo si el brazo está en flexión.

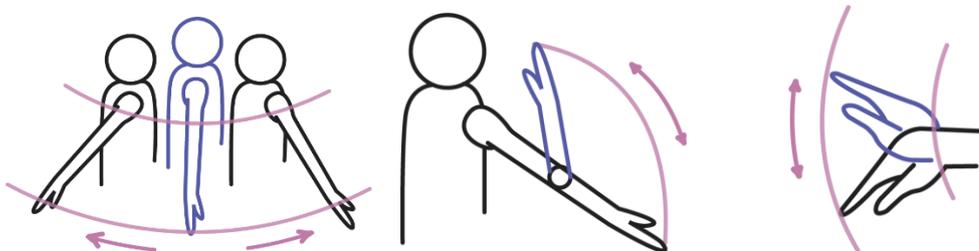


Ilustración 16. Movimientos en la extremidad superior de flexión/extensión.

2.5.3. Abducción y aducción.

Estos movimientos se realizan alrededor del eje frontal y ocurren cuando el brazo se aleja (abducción) o se acerca (aducción) del cuerpo.

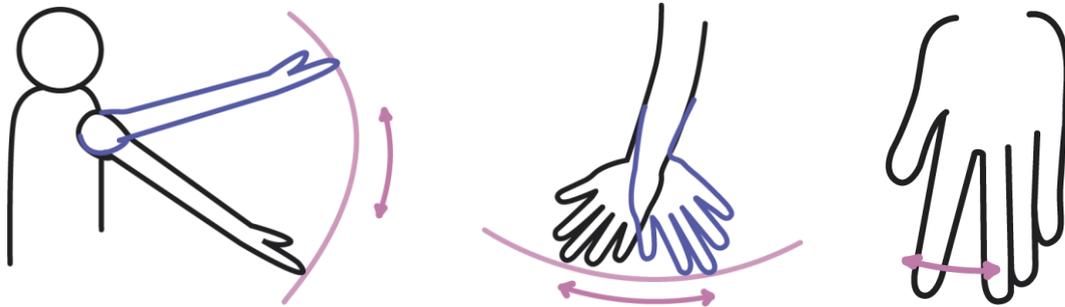


Ilustración 17. Movimientos en la extremidad superior de abducción/aducción.

2.5.4. Pronación.

Es el movimiento que realiza el antebrazo alrededor de su eje vertical. Se describe como el movimiento que ocurre cuando la palma queda orientada hacia atrás.

2.5.5. Supinación.

Es el movimiento que realiza el antebrazo alrededor de su eje vertical. Se describe como el movimiento que ocurre cuando la palma queda orientada hacia delante.

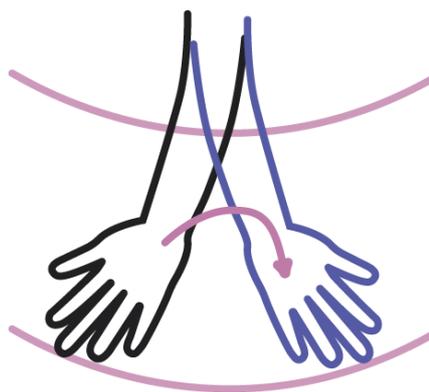


Ilustración 18. Movimientos en la extremidad superior de pronación/supinación.

2.5.6. Circunducción.

Es el movimiento que supone de la asociación de movimientos simples, como consecuencia de una sucesión de movimientos de flexión, abducción, extensión y aducción del brazo.

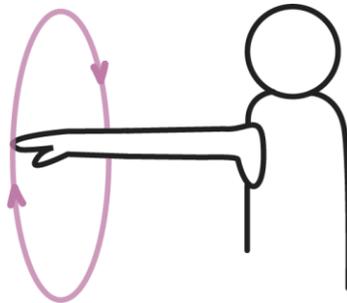


Ilustración 19. Movimiento en la extremidad superior de circunducción.

2.5.7. Oposición.

Es el movimiento por el cual se aproximan el pulpejo del pulgar con el pulpejo de cualquier otro dedo de la mano.

2.5.8. Reposición.

Es el movimiento que realiza el pulgar desde la oposición, hasta la posición anatómica.

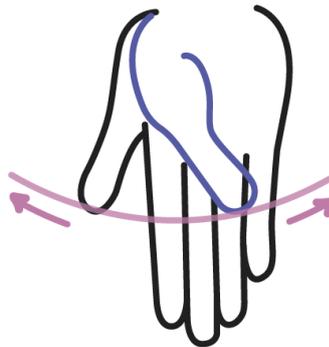


Ilustración 20. Movimientos en la extremidad superior de oposición/reposición.

2.5.9. Antepulsión y retropulsión.

Es el movimiento que se realiza en el plano sagital del cuerpo. Este describe el desplazamiento de un segmento hacia adelante (antepulsión) o hacia atrás (retropulsión). En el caso del hombro se llama protracción y retracción.



Ilustración 21. Movimientos en la extremidad superior de antepulsión/retropulsión.

2.6. TIPOS DE ARTICULACIONES EN LA EXTREMIDAD SUPERIOR.

Una articulación es donde se unen dos o más huesos, como la rodilla, la cadera, el codo o el hombro. Distinguimos los tipos de articulaciones según las diferentes formas en que los huesos del cuerpo se unen entre sí.

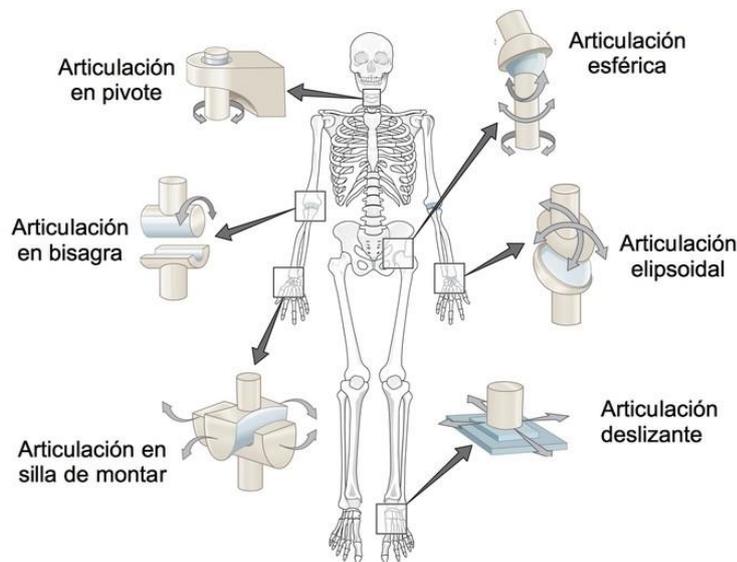


Ilustración 22. Tipos de articulaciones en el cuerpo humano.

A continuación vamos a analizar y explicar el funcionamiento de las articulaciones del miembro superior, para así poder diseñar el brazo robotico acorde a los movimientos que se realizan en nuestro cuerpo.

2.6.1. Articulación del hombro.

En el hombro tenemos una articulación de tipo esférica, estas articulaciones son triaxiales o multiaxiales; es decir, se permite el movimiento en tres o más ejes diferentes. En estas articulaciones una de las superficies articulares es cóncava y la otra convexa, esto supone que la cabeza de un hueso se introduce en la concavidad del otro, permitiendo movimientos en varios ejes. Es el caso de la articulación del hombro (imagen) y la cadera.



Ilustración 23. Articulación del hombro.

2.6.2. Articulación del codo.

En el codo tenemos una articulación de tipo troclear o en bisagra, estas articulaciones son uniaxiales o monoaxiales; es decir, permiten movimientos en un solo eje. En las articulaciones de tipo troclear la superficie articular tiene forma de carrete y la otra es cóncava, esta se amolda y desliza sobre la primera. Así ocurre en las articulaciones del codo (imagen) y la rodilla.



Ilustración 24. Articulación del codo.

2.6.3. Articulación de la muñeca.

En la muñeca tenemos una articulación de tipo elipsoidal o condílea, estas articulaciones son biaxiales; es decir, permiten movimientos en dos ejes diferentes. En las articulaciones de tipo elipsoidal la superficie convexa se encaja en cóncava, estas superficies articulares son ovoideas.

Aunque la descripción del movimiento de la articulación de tipo elipsoidal y la de tipo esférica es la misma, estas se diferencian en que la primera únicamente realiza movimientos en dos ejes mientras que la segunda realiza movimientos en tres ejes.

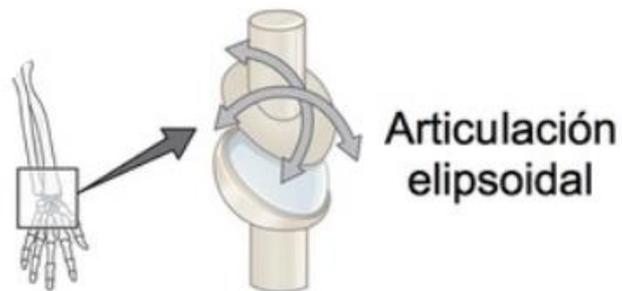


Ilustración 25. Articulación de la muñeca.

PARTE II.

3. DISEÑO DEL PROTOTIPO.

3.1. PROTOTIPOS ACTUALES.

En este apartado vamos a analizar los prototipos de brazos que ya existen en el mercado. Se hará un breve estudio desde brazos más complejos hasta los brazos más sencillos y económicos, tras este recorrido a través de las tecnologías y materiales aplicados en cada caso, procederemos a explicar la elaboración del prototipo del brazo para este proyecto.

3.1.1. Proto 1 – Universidad John Hopkins.

Este diseño es realizado por el médico e ingeniero biomédico Todd Kuiken en el Instituto de Rehabilitación de Chicago para Amanda Kitts en el año 2006. Para este proceso se realizó una operación llamada restauración nerviosa muscular dirigida, en la que se usan los nervios que quedaron después de la amputación para controlar un miembro artificial. Estos nervios le permiten dominar la prótesis, gracias al movimiento de los músculos y a la programación del ordenador que dirige el brazo según las señales recibidas.



Ilustración 26. Kitts en el laboratorio durante la creación e investigación de su brazo biónico.

Esta tecnología ya se estaba estudiando hace 15 años y cabe destacar la cantidad de avances que se han conseguido hasta nuestros días. Actualmente ya existen prótesis con capacidad de mandar al cerebro las señales que recibe

el brazo biónico al tocar una superficie, es decir, somos capaces de recuperar el sentido del tacto gracias a la biónica.

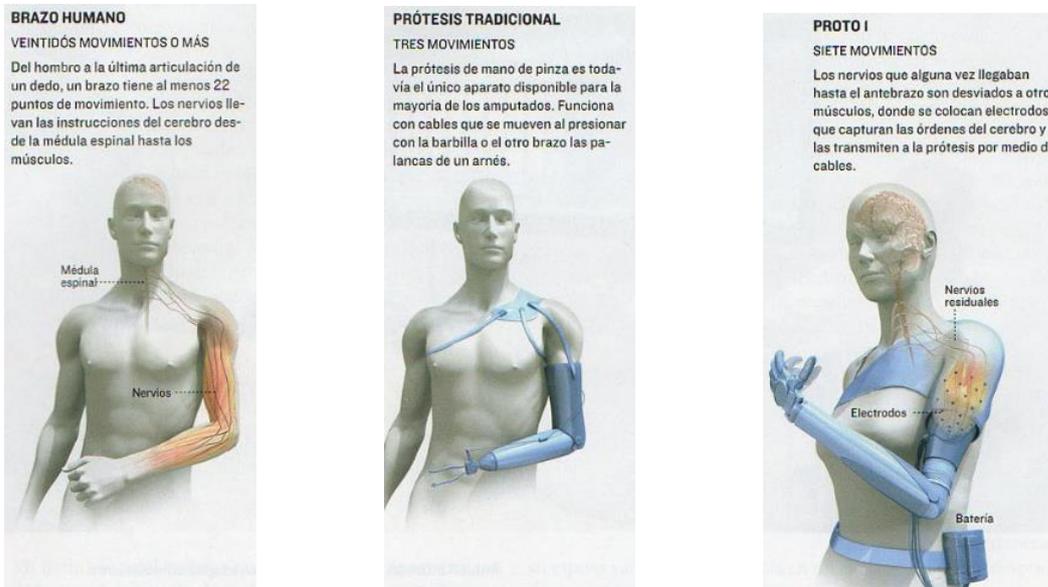


Ilustración 27. Movimientos de la prótesis Proto1.

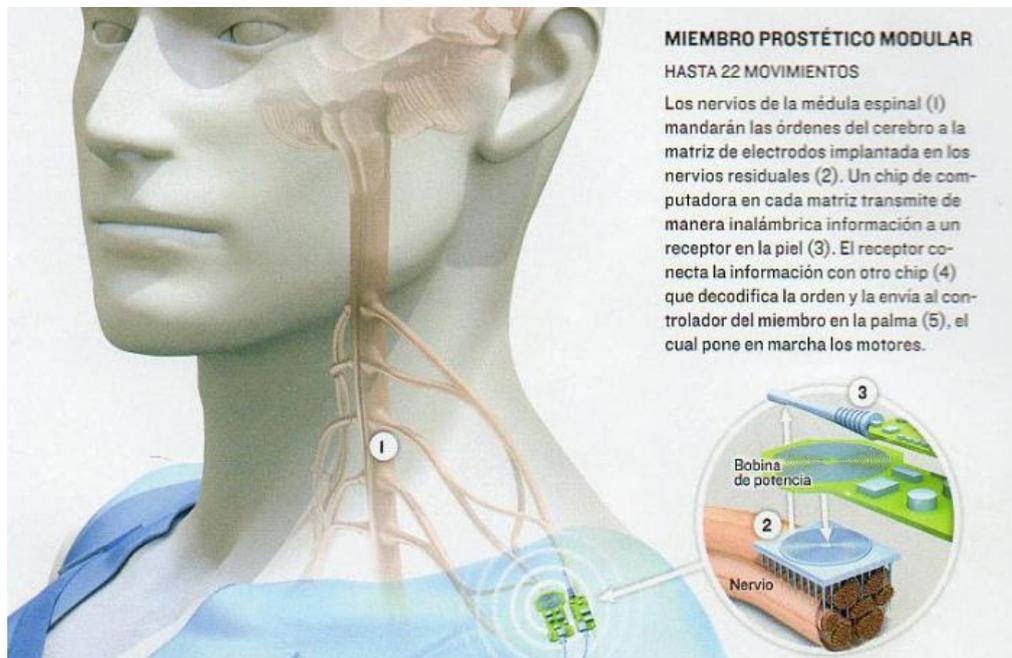


Ilustración 28. Funcionamiento del miembro protésico modular de Proto 1.

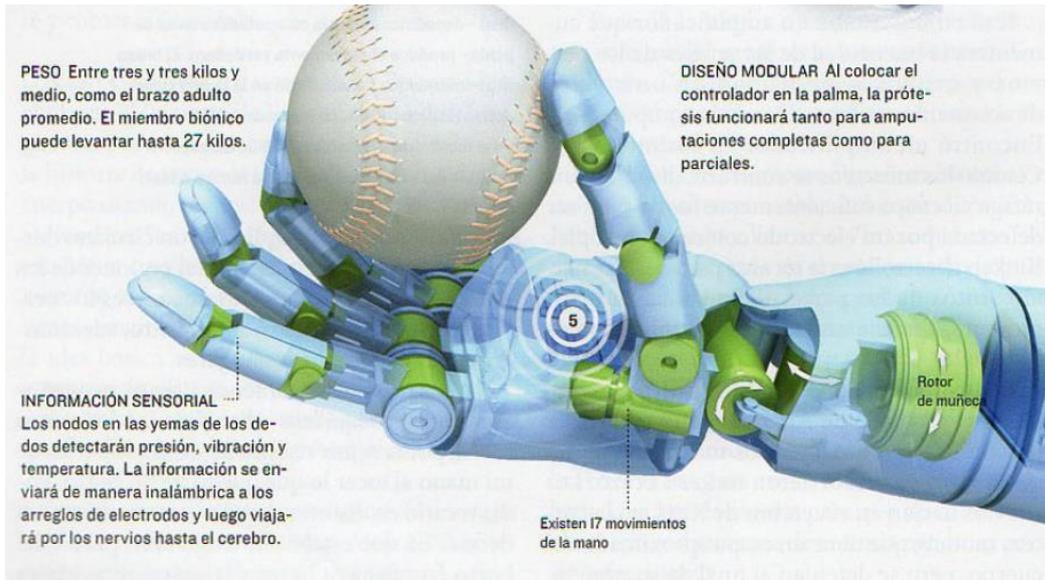


Ilustración 29. Información sobre las especificaciones del diseño de Proto 1.

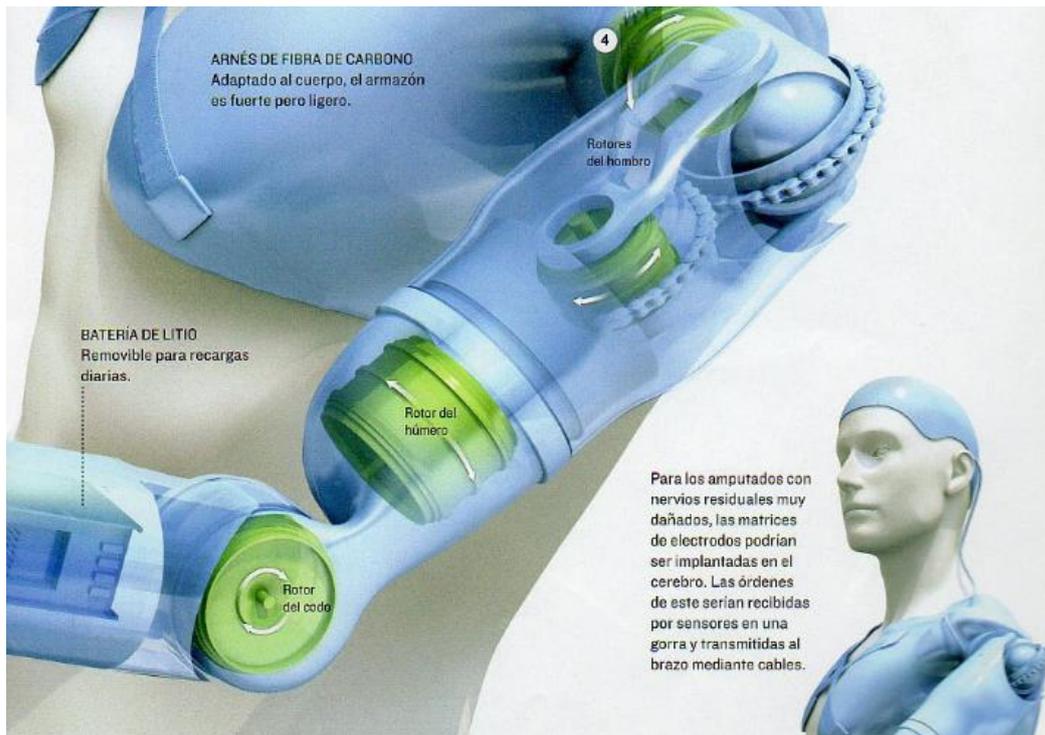


Ilustración 30. Información sobre las especificaciones del diseño de Proto 1.

3.1.2. Proto 2 – Universidad John Hopkins.

En Agosto de 2007 se crea la nueva alternativa mejorada del brazo biónico Proto 1. Durante el desarrollo del Proto 1 el equipo ya estaba haciendo nuevas investigaciones, nuevos análisis de alternativas, nuevas propuestas de diseño y grandes esfuerzos para desarrollar un diseño de prótesis que incluyera: operaciones biomiméticas con todos los grados de libertad, rapidez, destreza y fuerza; mecanismos de actuación electromecánica; comunicaciones, análisis de las señales y estrategias de control; comodidad y una apariencia visual atractiva. Estos esfuerzos llegaron a su cumbre en Agosto de 2007. Se diseñaron 2 versiones del Proto 2 las cuales diferían en la forma de canalizar la corriente y el uso de los motores. En este brazo biónico hay 25 microprocesadores y 80 sensores táctiles construidos en los dedos, huellas dactilares, mano, muñeca y codo. El Proto 2 incorpora avances muy significativos en la tecnología de los brazos robóticos, proclamándose como líder en el diseño de miembros protésicos modulares.



Ilustración 31. Brazo biónico Proto 2.

3.1.3. Miembros protésicos modulares – Universidad John Hopkins.

La universidad John Hopkins es pionera en el diseño e investigación sobre los miembros protésicos modulares. Estos son capaces de efectuar prácticamente todos los movimientos del brazo y de la mano. Los miembros protésicos

modulares (MLP) son los diseños mundialmente más sofisticados en cuanto a prótesis del miembro superior. Actualmente hay diez miembros protésicos modulares usados para estudios de neurorrehabilitación en todo EEUU.



Ilustración 32. MLP por la Universidad John Hopkins.

3.1.3.1. Sensores de los miembros protésicos modulares.

La fotografía de la [Ilustración 32] muestra la localización de los más de 100 sensores establecidos entre la mano y la parte superior del brazo. En las articulaciones individuales los sensores miden el ángulo, la velocidad y la torsión. Los sensores adicionales que encontramos en las huellas dactilares miden la fuerza, vibración, temperatura y flujo de calor.

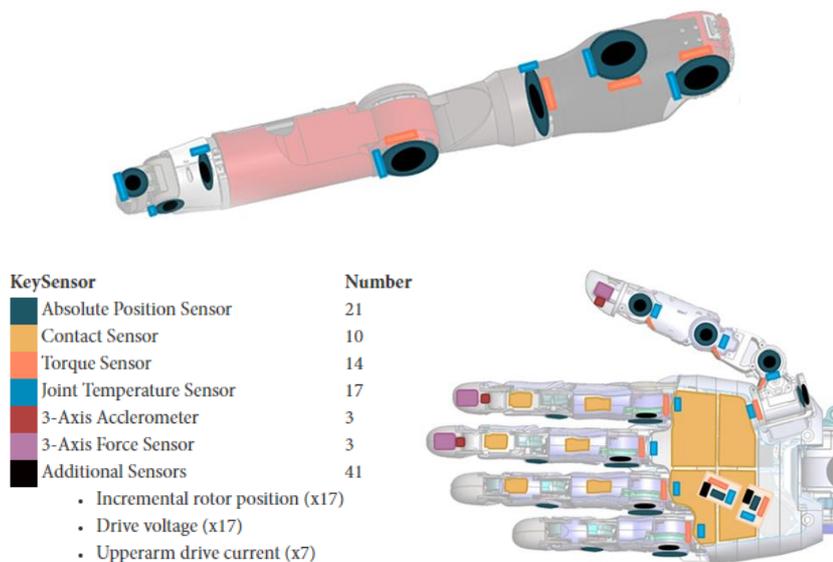


Ilustración 33. Localización de los sensores en miembros protésicos modulares.

3.1.3.2. Características de los miembros protésicos modulares.

- Factor de forma y apariencia antropomórficos (realistas).
- Fuerza y destreza humanas.
- Sensores táctiles y de posición de alta resolución.
- Interfaz neuronal para un control de bucle cerrado intuitivo y natural.

3.1.3.3. Parámetros de los miembros protésicos modulares.

Tabla 1. Parámetros de los miembros protésicos modulares.

Parámetros	Valor	Unidades
Grados de Libertad	26	DOF
Motores (Grados de Control)	17	DOC
Controladores de motor a bordo	Incrustado personalizado	
Acondicionamiento y digitalización de sensores integrados	Incrustado personalizado	
Masa de la mano y muñeca	1,31	kg
Masa del brazo superior con batería	3,45	kg
Capacidad de carga útil (muñeca activa)	6,8	kg
Capacidad de carga útil (muñeca estática y brazo superior activo)	15,9	kg
Fuerza de agarre cilíndrica	31,75	kgf
Fuerza de pellizco de dos mordazas	6,8	kgf
Fuerza de pellizco de tres mordazas	11,34	kgf
Fuerza de pellizco lateral	11,34	kgf
Velocidad articulación brazo superior	120*	grad/s
Velocidad articulación de la muñeca	120*	grad/s
Tiempo de abrir o cerrar la mano	300	ms
Voltaje	24	volt
Comunicaciones	CAN	

3.1.4. Diseño de brazo robótico Easton LaChappelle.

Easton LaChappelle creó en 2011 un brazo biónico diseñado con piezas impresas en 3D en su mayoría. Este brazo se conecta a un microchip que lee las ondas cerebrales del usuario, de modo que cuando este se concentra en realizar un movimiento con la mano los estímulos son interpretados por el brazo y actúa como el usuario desea. Además, el brazo tiene un sistema de retroalimentación con un sensor de fuerza y un motor de vibración para dar al usuario una sensación de tacto.

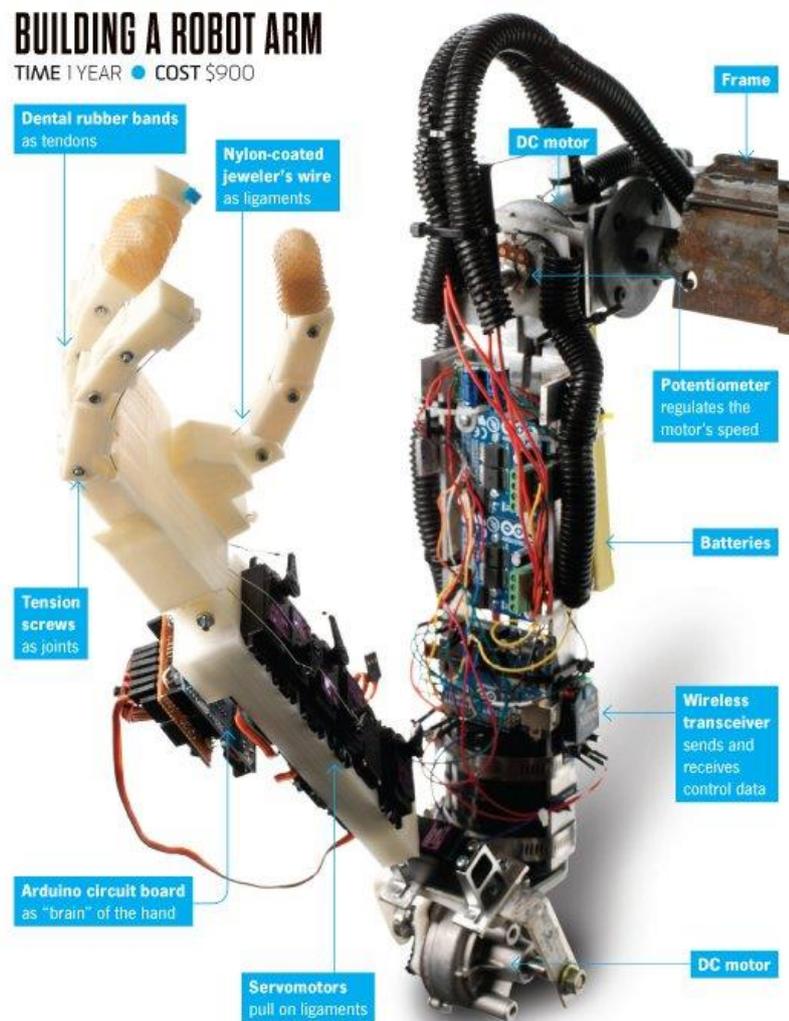


Ilustración 34. Partes del brazo robótico LaChappelle.

3.1.5. Exoesqueleto mecánico.

Este exoesqueleto nos sirve para fijarnos en los motores que se usaron en él, los cuales nos pueden servir para construir nuestro prototipo inicial de brazo.

Hablamos de exoesqueleto para referirnos a un dispositivo que consiste en un armazón externo acoplado en el cuerpo o en cualquiera de sus partes. Lo puede llevar puesto una persona con un sistema de potencia de motores que proporciona al menos parte de la energía para el movimiento de los miembros, ayuda a su portador a moverse y a realizar cierto tipo de actividades.

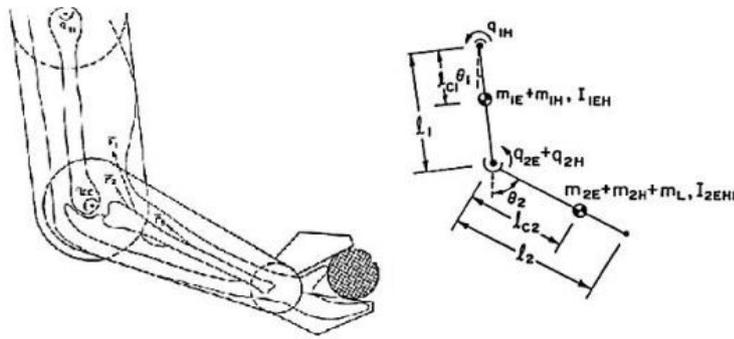


Ilustración 35. Sistema mecánico equivalente a un exoesqueleto unido al brazo.

Este exoesqueleto se ha construido con un Servomotor LEGO, Servomotores Dynamixel AX-12A Robot Actuator de Robotis y NXT Intelligent Brick.





Ilustración 36. Exoesqueleto fabricado con Servomotor LEGO.

3.1.6. Brazo robótico para aplicaciones fitosanitarias.

Este proyecto creado por la Universidad Politécnica de Valencia sirve de inspiración para el prototipo de brazo que se pretende realizar. En este se observan una serie de piezas sencillas cuyo ensamblado permite la rotación y el movimiento con 7 grados de libertad.

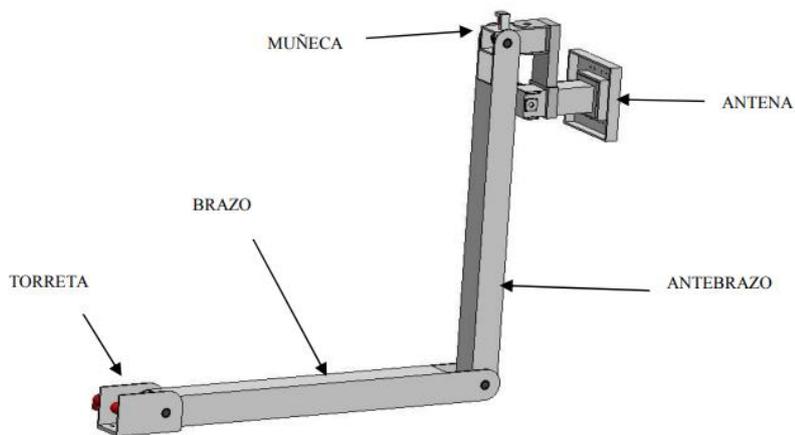


Ilustración 37. Diseño del brazo articulado

Información del proyecto en:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14397/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

3.2. INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA.

3.2.1. ONDAS DEL EEG.

El brazo robótico que vamos a diseñar realizara los movimientos gracias a las señales EEG (Electroencefalograma). El EEG es un examen que sirve para medir la actividad eléctrica del cerebro. Este procedimiento realiza un seguimiento de las ondas cerebrales y las registra, para ello se colocan pequeños discos metálicos con cables delgados (electrodos) sobre el cuero cabelludo y después se envían señales a una computadora para registrar los resultados. La actividad eléctrica normal del cerebro forma un patrón reconocible el cual podemos interpretar y así programar una aplicación la que se le enseñe al brazo cuando tiene que realizar cada movimiento.

La EEG es la técnica que más se usa hasta el momento para registrar la actividad eléctrica cerebral debido a su bajo costo y a su fácil implementación. Aun así, este método tiene algunas complicaciones ya que la calidad de los registros que obtenemos con estos procedimientos no son los mejores debido al ruido que encontramos en las ondas.

Estas ondas poseen amplitudes comprendidas entre los 10mV en los registros sobre el córtex, hasta los 100 μ V en el cuero cabelludo. Las frecuencias de las ondas EEG oscilan entre 0,5 y 100Hz y las clasificamos en ondas Delta, Theta, Alpha y Beta.

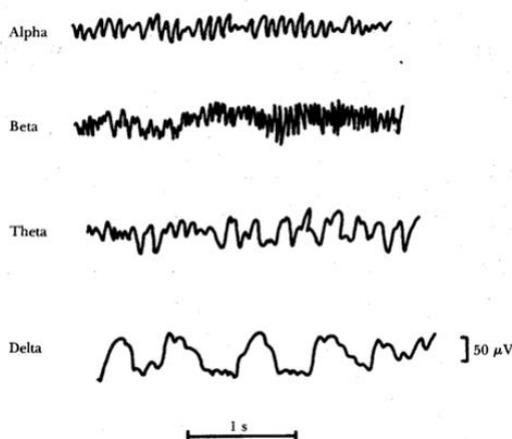


Ilustración 38. Ondas del EEG.

Sin embargo, hay estudios en los que se propone un modelo basado en la transformada de wavelet discreta (DWT) combinada con la cancelación de ruido adaptativo (ANC) que permiten reducir el impacto de los artefactos y así mejorar la calidad de la señal. En otros se utiliza el método de agrupamiento automático K-means, el cual logra realizar una reducción de los artefactos oculares sobre las señales EEG, permitiendo que la caracterización y clasificación de tareas motoras imaginarias tenga un acierto del 88%. Otros trabajos proponen el uso de la transformada de Fourier, la transformada de wavelet discreta (DWT), el análisis de componentes independientes (ICA) y el uso de filtros adaptativos basados en redes neuronales con el fin de minimizar los efectos de los artefactos y mejorar la calidad de las señales EEG a fin de ser usadas en aplicaciones de BCI.

3.2.2. INTERFAZ CEREBRO-ORDENADOR.

Una interfaz cerebro ordenador BCI por sus siglas en inglés, es un sistema basado en la recepción de ondas o señales cerebrales las cuales son posteriormente interpretadas y procesadas por un ordenador permitiendo así controlar ciertos dispositivos, convirtiéndose en una nueva alternativa de comunicación para las personas cuyos impulsos nerviosos musculares se encuentran dañados. Esta técnica alcanza un elevado grado de desarrollo en el año 2000 aunque nació en los años 80, ya que en este nuevo siglo se impulsan los conocimientos sobre la tecnología computacional y la señal EEG, la cual va intrínseca a los sistemas BCI.

Los procesos mentales que sigue el usuario (por ejemplo, imaginar el movimiento de la mano) se codifican en una serie de comandos programados posteriormente al filtrado de las diferentes frecuencias de la señal del encefalograma.



Ilustración 39. Funcionamiento básico de una interfaz cerebro-computadora.

La BCI, mediante técnicas de procesado avanzadas es capaz de controlar un dispositivo externo mediante la decodificación de la señal del encefalograma, de tal manera que el usuario es capaz de controlar un dispositivo externo únicamente con las ondas que genera su pensamiento.

Estos sistemas benefician a sujetos con alteraciones neuromusculares o con algún tipo de parálisis, ya que permiten la comunicación del usuario con el exterior.

Podemos clasificar los BCI según el modo en el que queremos recibir la señal:

- Online: Implementación a tiempo real. Los sistemas BCI online adquieren la señal EEG todo el tiempo desde el usuario y las procesan en tiempo real.
- Offline: El análisis offline se realiza sobre datos ya grabados, este puede hacerse con datos disponibles y puede ser probada según su eficiencia y precisión. La implementación no se realiza a tiempo real por lo que no necesitamos de forma constante un dispositivo de adquisición.

3.2.3. BASE DE DATOS.

En el estudio que se propone para el movimiento de este brazo se hace uso de un conjunto de registros de señales EEG. Estos datos se han extraído de la base científica Physionet, un recurso de investigación para señales fisiológicas complejas. Esta base de datos es de libre acceso y se encuentra disponible en la siguiente dirección: <https://physionet.org/content/eegmidb/1.0.0/>

La base de datos utilizada se realizó con la participación de 109 sujetos, esta se compone de más de 1500 registros EEG entre uno y dos minutos. A los sujetos se les pidió realizar distintas actividades motrices como abrir o cerrar el puño derecho o bien imaginárselo mientras que las señales EEG eran registradas. Estas señales se registraron gracias a la colocación de 64 electrodos en la superficie del cuero cabelludo mediante el sistema internacional 10-20, disposición que se observa en la figura.

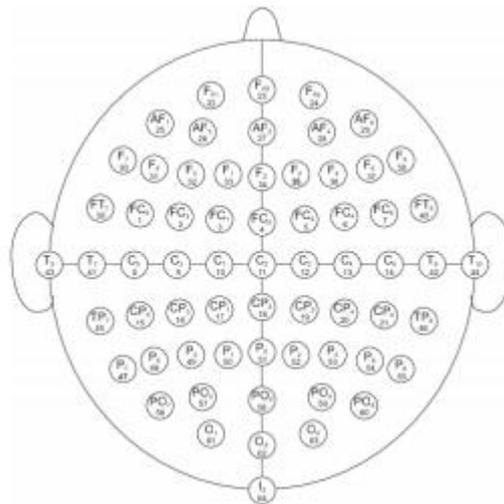


Ilustración 40. Ubicación de los electrodos EEG mediante el sistema internacional 10-20.

Las tareas que se le ordenaron a los diferentes sujetos mientras que se grababa la señal EEG fueron las siguientes:

- Un minuto con los ojos abiertos.
- Un minuto con los ojos cerrados.

- Tres ciclos de dos minutos cada uno abriendo y cerrando el puño correspondiente mientras un objeto aparece en la parte derecha o izquierda de una pantalla.
- Tres ciclos de dos minutos cada uno imaginándose abriendo y cerrando el puño correspondiente mientras un objeto aparece en la parte derecha o izquierda de una pantalla.
- Tres ciclos de dos minutos cada uno abriendo y cerrando ya sea ambos puños o ambos pies mientras un objeto aparece en la parte superior o inferior de una pantalla.
- Tres ciclos de dos minutos cada uno imaginándose abriendo y cerrando ya sea ambos puños o ambos pies mientras un objeto aparece en la parte superior o inferior de una pantalla.

De la base de datos completa se van a usar los datos de la parte del estudio en la que abren y cierran el puño, y la parte en la que se imaginan abriendo y cerrando el puño que según la bibliografía corresponden con 6 canales específicos. En este caso se descartan las señales de los pies. Para poder procesar estas señales se deben descargar como archivos en formato EDF.

3.2.4. SOFTWARE PROCESADOR DE LA SEÑAL EEG.

Para procesar las señales EEG en el estudio se va a emplear el software MatLab, este es un software desarrollado por Mathworks con un entorno de programación para el desarrollo de algoritmos, análisis de datos, visualización y cálculo numérico.

Dentro de este programa se empleará la extensión “EDF Browser” para convertir los archivos con formato EDF extraídos del estudio de libre acceso de la web Physionet. Así, se podrán obtener las matrices de datos dentro de MatLab y posteriormente trabajar sobre ellas. Una vez extraídas las ondas se debe proceder a un filtrado de la señal para la eliminación del ruido y a continuación comenzar la búsqueda de patrones para identificar el momento en el que el sujeto piensa en abrir el puño o cerrarlo.

PARTE III.

4. IMPRESIÓN, MONTAJE Y ENSAMBLADO DEL PROTOTIPO.

4.1. INTRODUCCIÓN.

Ya que el diseño de brazo que se pretende realizar en este proyecto no podría llevarse a cabo debido a los altos costes e instalaciones imprescindibles que este objetivo requeriría, procedemos a realizar un prototipo de este brazo. El prototipo probaría el estudio realizado por el departamento de Señal y Telecomunicación de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, asegurando que estas señales podrían mover cualquier brazo con mayores especificaciones que el prototipo.

4.2. FABRICACIÓN. HARDWARE Y SOFTWARE EMPLEADO.

4.2.1. IMPRESORA 3D.

Se realizará el prototipo mediante impresión 3D. Este se fabricará con la impresora Ultimaker² Extended+.



Ilustración 41. Fotografías de la impresora Ultimaker2 Extended+.

La impresora 3D Ultimaker 2 Extended plus es la versión más grande de la impresora Ultimaker 2+. El volumen de la impresión de esta impresora es de $223 \times 223 \times 305 \text{ mm}^3$.

Propone una resolución muy alta, con 20 micrones de espesor de capa. Lo que más la diferencia de la Ultimaker 2, es su nuevo extrusor polivalente, que permite al usuario cambiar la boquilla de su impresora y jugar con los diferentes tamaños de boquillas y filamentos. Además, dispone de una plataforma calefactada, lo que permite trabajar con distintos materiales y lograr mejores resultados. Esta impresora trabaja con el software Cura de código abierto y gratuito desarrollado por Ultimaker.

4.2.2. MATERIAL EMPLEADO PARA LA IMPRESIÓN.

Para la impresión de las piezas se va a usar PLA. Este ofrece una buena resistencia a la tracción y calidad superficial, facilita el trabajo a altas velocidades de impresión, simplifica el uso en entornos domésticos y de oficina, y permite la creación de piezas de alta resolución.

- Sus aplicaciones principales son: Herramientas domésticas, juguetes, proyectos educativos, objetos de exposición, prototipado, modelos arquitectónicos y también métodos de fundición a la cera perdida para crear piezas de metal.
- No es adecuado para: Aplicaciones en contacto con alimentos en vivo. Uso prolongado en exteriores o aplicaciones en las cuales la parte impresa está expuesta a temperaturas superiores a 50 °C.

Tabla 2. Propiedades del PLA para impresión 3D.

<u>Propiedades mecánicas (*)</u>	<u>Moldeo por inyección</u>		<u>Impresión 3D</u>	
	Valor típico	Método de ensayo	Valor típico	Método de ensayo
Módulo de elasticidad a la tracción	-	-	2346,5 MPa	ISO 527 (1 mm/min)
Esfuerzo de tracción a la deformación	-	-	49,5 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Esfuerzo de tracción a la rotura	-	-	45,6 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Alargamiento a la deformación	-	-	3,3 %	ISO 527 (50 mm/min)
Alargamiento a la rotura	-	-	5,2 %	ISO 527 (50 mm/min)
Resistencia a la flexión	-	-	103,0 MPa	ISO 178
Módulo de flexión	-	-	3150,0 MPa	ISO 178
Resistencia a la prueba de impacto Izod, con mella (a 23 °C)	-	-	5,1 kJ/m ²	ISO 180
Resistencia a la prueba de impacto Charpy (a 23 °C)	-	-	-	-
Dureza	-	-	83 (Shore D)	Durómetro



Ilustración 42. Material PLA.

4.2.3. ARCHIVOS PARA EL PROTOTIPO.

Los archivos para la realización del prototipo combinan distintos proyectos de código libre con la creación y modificación de las cotas de los archivos STL.

Los archivos se han extraído de la página web de Thingiverse, esta es una web gratuita que se dedica a la creación y publicación de archivos de diseño digital creados por los usuarios de esta comunidad. La web proporciona los archivos STL de piezas previamente modeladas en un software de creación 3D.

4.2.3.1. Base.

Los archivos que componen la base se han diseñado con Autodesk Inventor de manera que cuadre perfectamente con el resto de los modelos escogidos para el diseño del brazo.

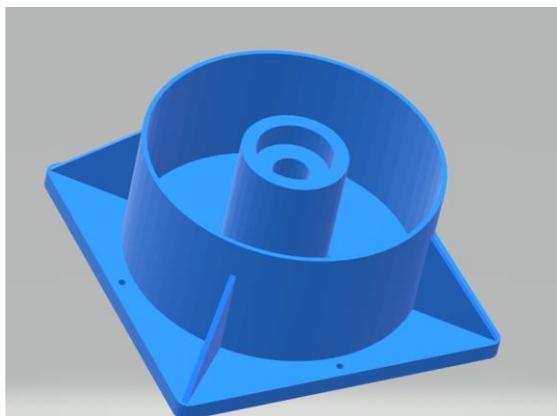


Ilustración 43. Base principal.

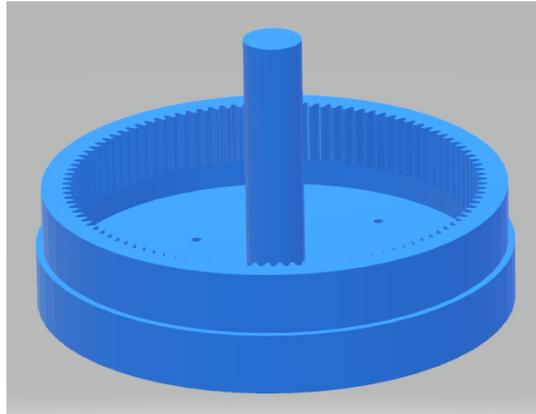


Ilustración 44. Base de conexión dentada.

4.2.3.2. Pinza.

Los archivos para la creación de la pinza se han extraído de la siguiente dirección web: *Robot Arm. Mini Servo Gripper*:

<https://www.thingiverse.com/thing:4394894>

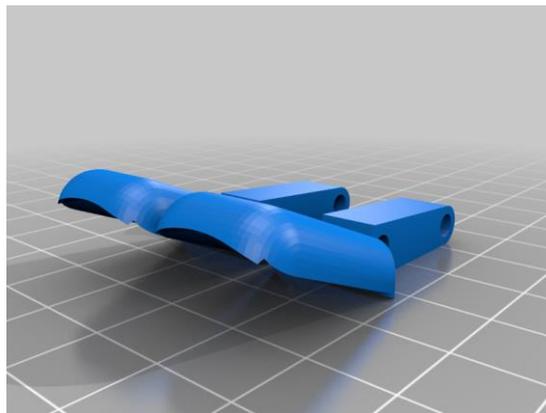


Ilustración 45. Parte de agarre.

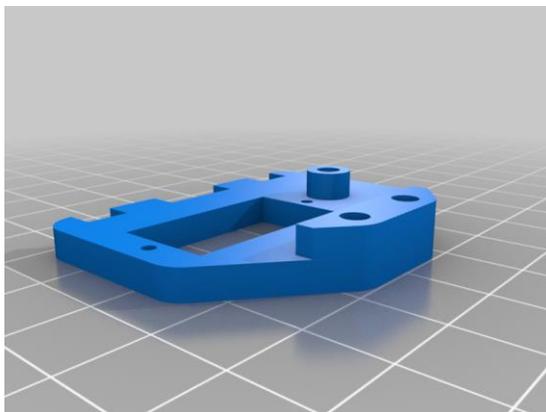


Ilustración 46. Placa para servomotor.

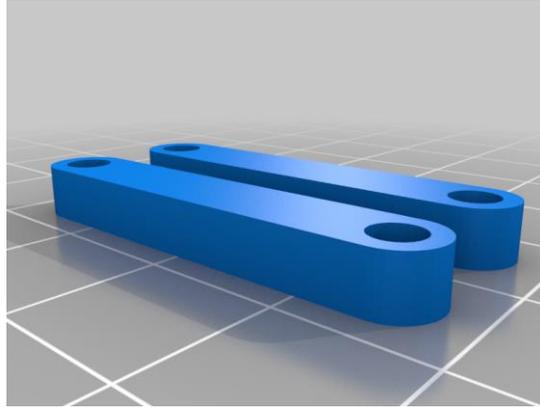


Ilustración 47. Barras paralelas.

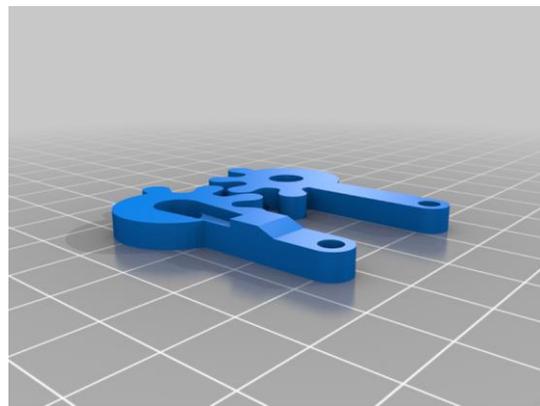


Ilustración 48. Engranajes.

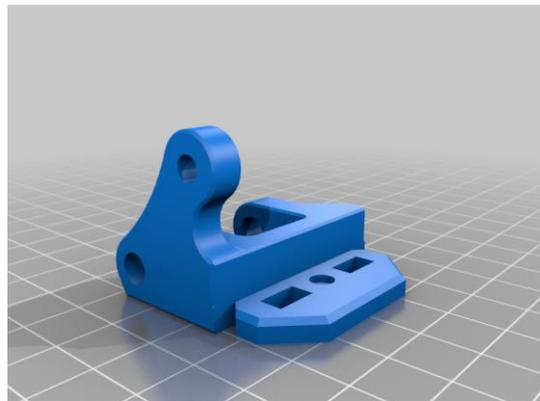


Ilustración 49. Manipulador.

4.2.3.3. Brazo.

Los archivos para la creación del brazo se han extraído de los planos de trabajo del TFG de Guillermo Alandí Martín “*Diseño, desarrollo y fabricación del prototipo de un brazo robótico articulado controlado por Arduino para la extracción de piezas en impresoras 3D.*” Gracias a los planos y la investigación de este trabajo hemos podido realizar los archivos del brazo del prototipo mediante Autodesk Inventor y aplicarlos a nuestro trabajo.

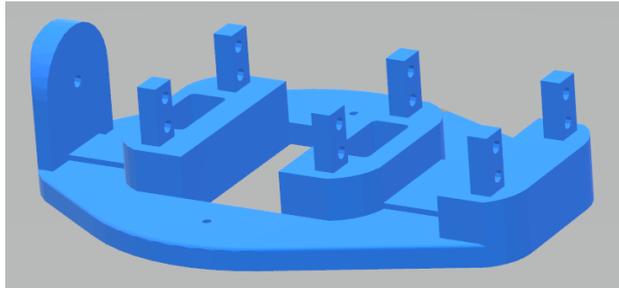


Ilustración 50. Base y espacios para los servomotores.

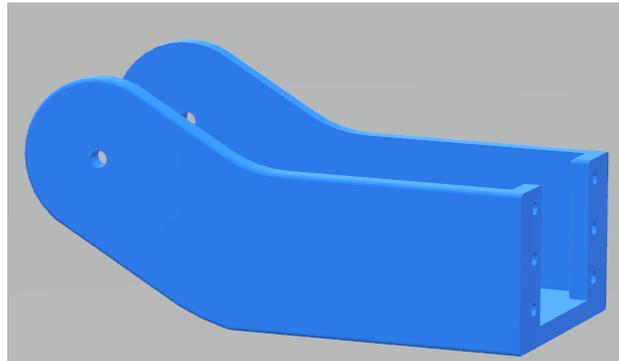


Ilustración 51. Extensión del brazo.

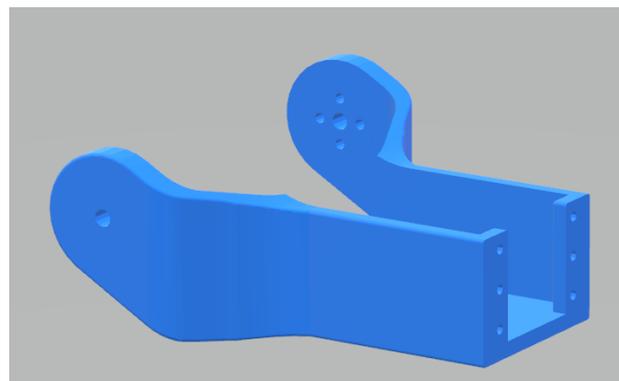


Ilustración 52. Enganche entre la extensión y la base.

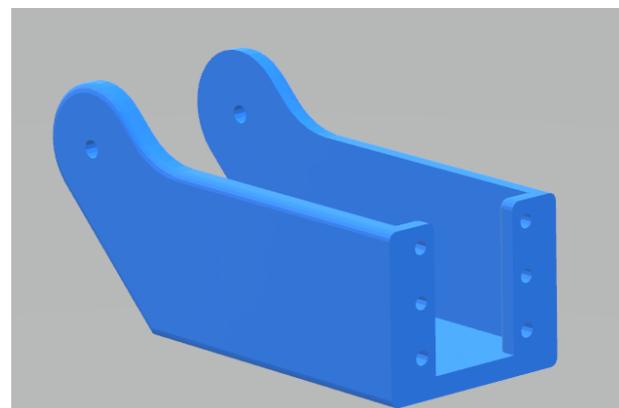


Ilustración 53. Extensión del brazo 2.

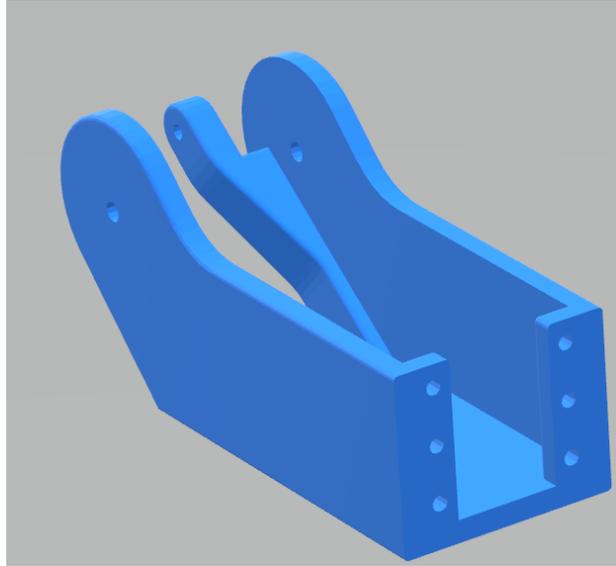


Ilustración 54. Extensión de unión con la pinza.

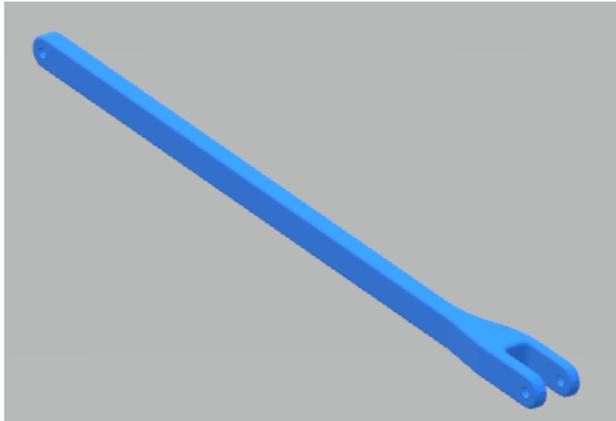


Ilustración 55. Enganche con servomotor para el movimiento (2 piezas).

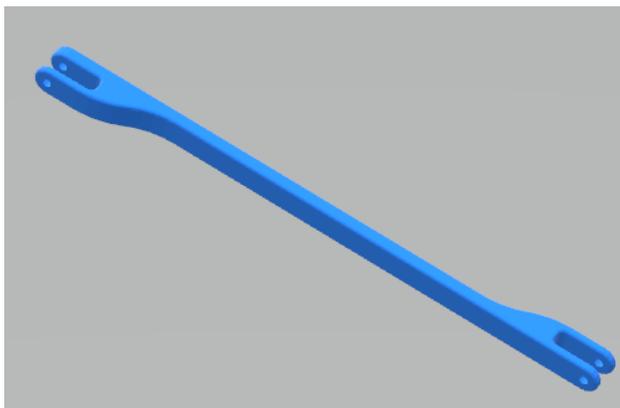


Ilustración 56. Enganche entre servomotor y pinza.

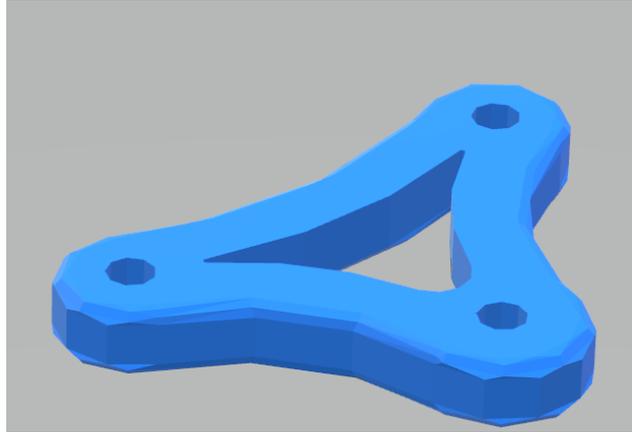


Ilustración 57. Unión para los enganches.

4.2.4. PROCESO DE OBTENCIÓN DE LAS PIEZAS IMPRESAS.

- **Colocación en el plano de trabajo del software Cura.**

Para la impresión de estas piezas necesitamos el código CNC que se envía a la impresora. Este código lo extraemos mediante el software Cura de código abierto y gratuito desarrollado por Ultimaker.

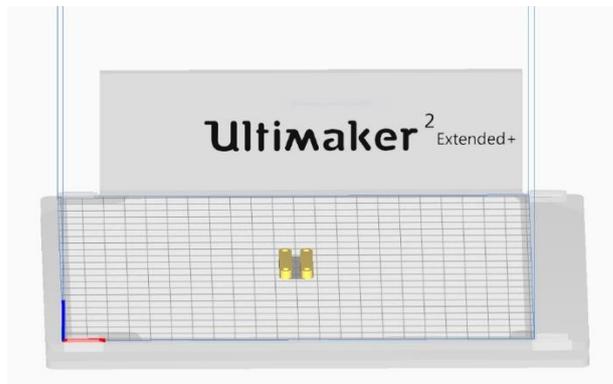


Ilustración 58. Preparación de piezas tirada 1. Prueba.

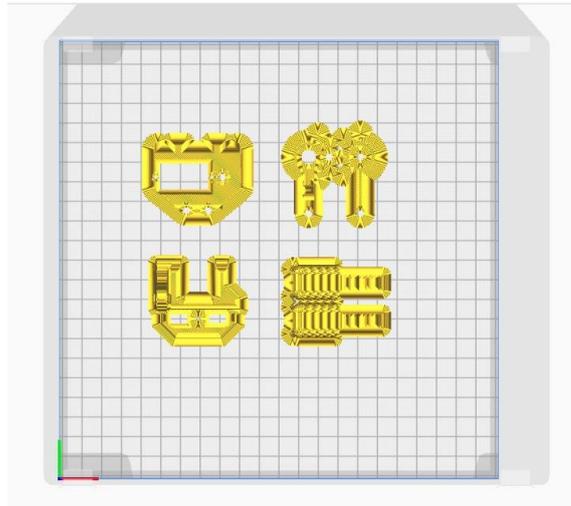


Ilustración 59. Preparación de piezas tirada 2.

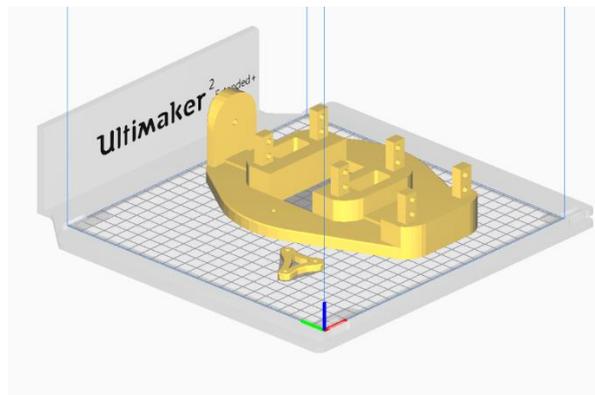


Ilustración 60. Preparación de piezas tirada 3.

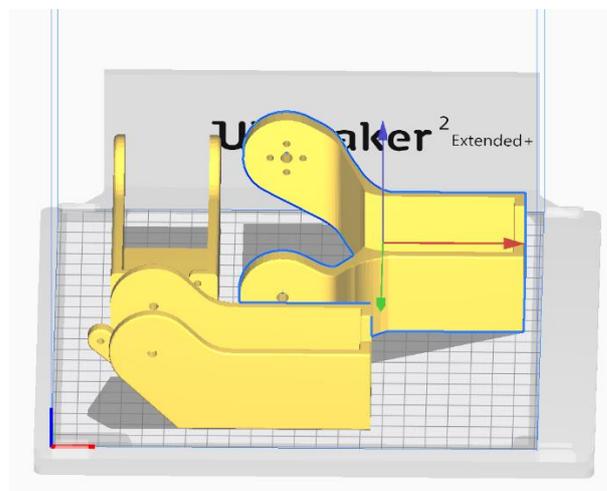


Ilustración 61. Preparación de piezas tirada 4.

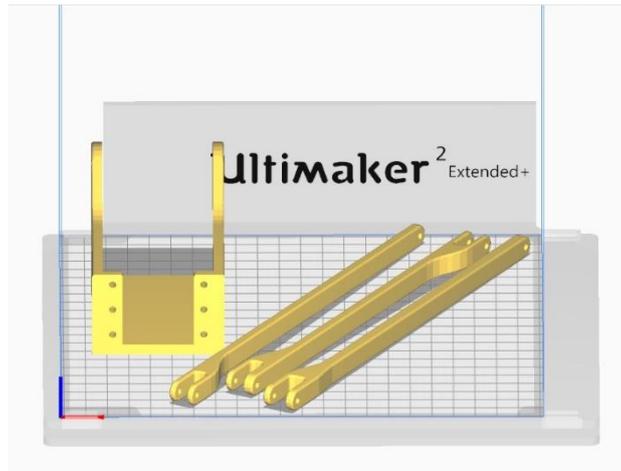


Ilustración 62. Preparación de piezas tirada 5.

- Impresión de las piezas.

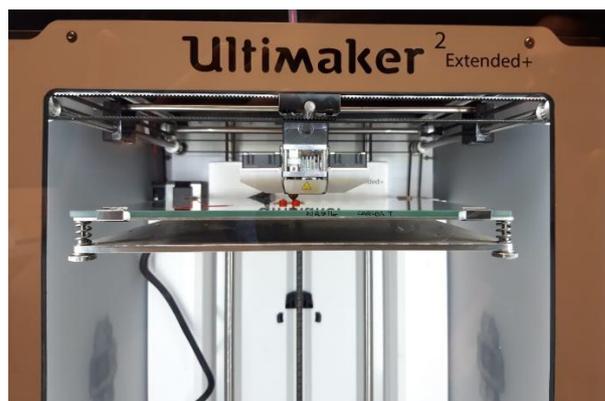


Ilustración 63. Impresora Ultimaker2 Extended+ en el momento de la impresión.

- Resultado de la impresión.



Ilustración 64. Piezas impresas tirada 1.

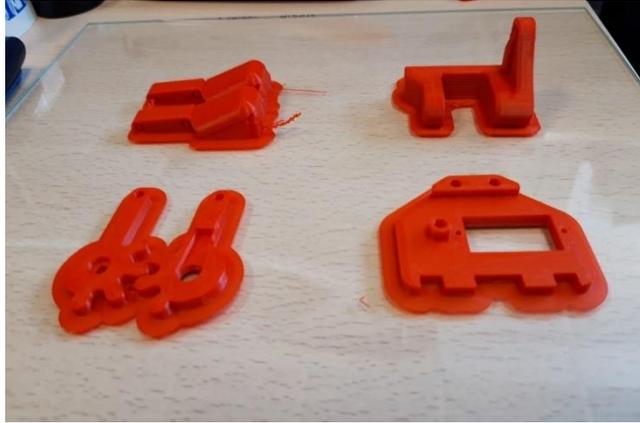


Ilustración 65. Piezas impresas tirada 2.



Ilustración 66. Piezas impresas tirada 3.



Ilustración 67. Piezas impresas tirada 4.

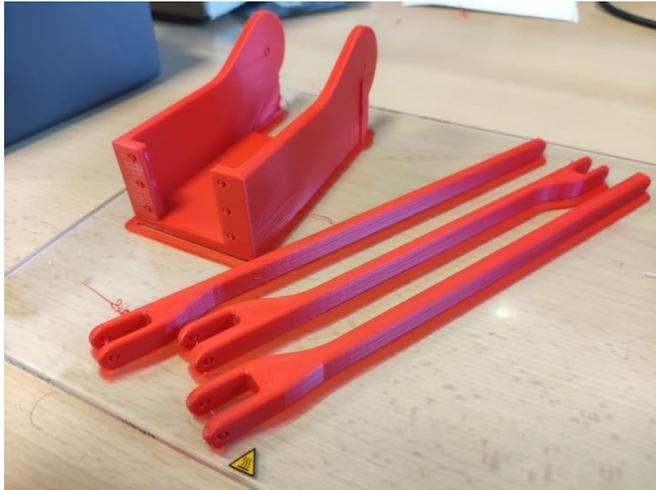


Ilustración 68. Piezas impresas tirada 5.



Ilustración 69. Conjunto de las piezas impresas.

4.2.5. SERVOMOTORES.

La característica principal de un servomotor es su capacidad de controlar la posición del eje y su velocidad variable o constante con gran exactitud, lo cual nos sirve para realizar el movimiento que buscamos en la articulación del hombro de nuestro brazo robótico. Un servomotor tiene una parte mecánica (caja de engranajes), una parte eléctrica (motor) y una parte electrónica (controlador). Su campo de aplicación es muy amplio, sirve para casi cualquier máquina que requiera un control de velocidad y posicionamiento controlables.

Los servomotores poseen tres cables, a diferencia de los motores comunes que sólo tienen dos. La necesidad de una señal de control para el funcionamiento

de este tipo de motores hace que sea imposible utilizarlos sin un circuito de control adecuado. Esto se debe a que para que el circuito de control interno funcione, es necesaria una señal de control modulada. Para esto se utiliza modulación por ancho de pulsos, es decir, PWM.

El diagrama de bloque del servomotor [Ilustración 70] representa de forma visual el servomotor como un sistema. El circuito electrónico es el encargado de recibir la señal PWM y traducirla en movimiento del Motor DC. El eje del motor DC está acoplado a un potenciómetro, el cual permite formar un divisor de voltaje. El voltaje en la salida del divisor varía en función de la posición del eje del motor DC.

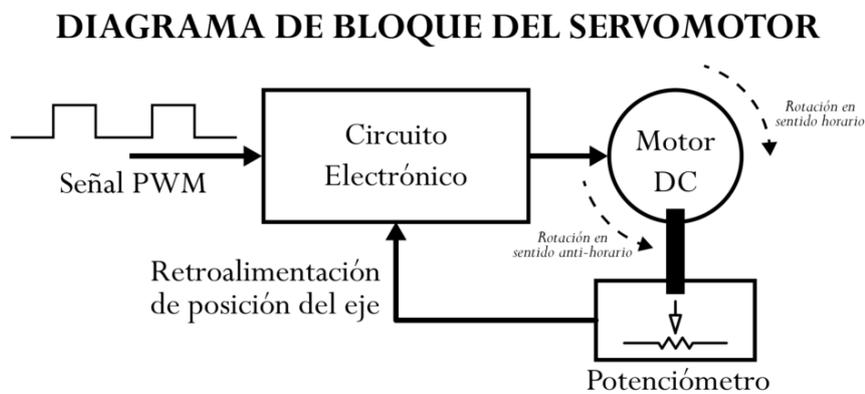


Ilustración 70. Diagrama de funcionamiento de un servomotor.

Las señales de PWM requeridas para el correcto funcionamiento del circuito de control electrónico son similares para la mayoría de los modelos de servo. Esta señal tiene la forma de una onda cuadrada. Dependiendo del ancho del pulso, el motor adoptará una posición fija que va desde los 0° hasta los 180°.

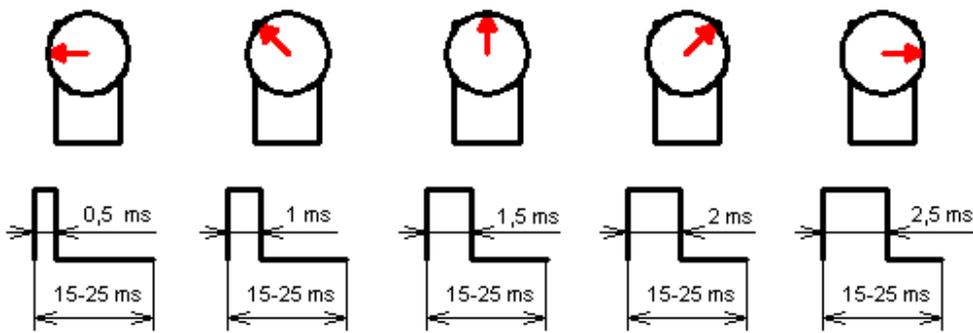


Ilustración 71. Ancho de pulsos para lograr diferentes posiciones en un servomotor (180°, 135°, 90°, 45°, 0°)

4.2.5.1. Hoja de datos del Servo Motor SG90.

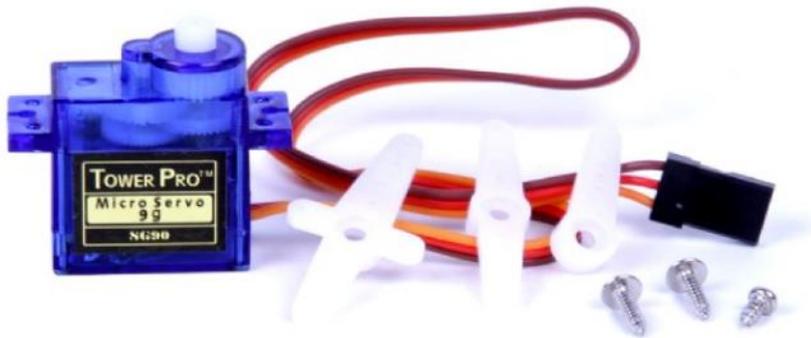


Ilustración 72. Imagen Servo Motor SG90.

Este Servo es pequeño y ligero con una potencia de salida muy alta. Puede rotar 180 grados aproximadamente (90 en cada dirección), y trabaja como los tipos estándar con la diferencia de que es más pequeño. Se puede usar cualquier código de servo, hardware o librería para controlarlo. Viene con 3 brazos y el hardware necesario para su uso.

Dimensiones y especificaciones.	
A (mm)	32
B (mm)	23
C (mm)	28.5
D (mm)	12
E (mm)	32
F (mm)	19.5
Velocidad (seg)	0.1
Esfuerzo de torsión (kg-cm)	2.5
Peso (g)	14.7
Voltage	4.8 - 6

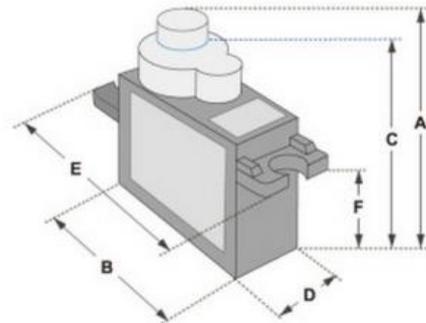


Ilustración 73. Especificaciones Servo Motor SG90.

La colocación de los cables a tierra y a la señal de pulso se establece con el siguiente código de colores:

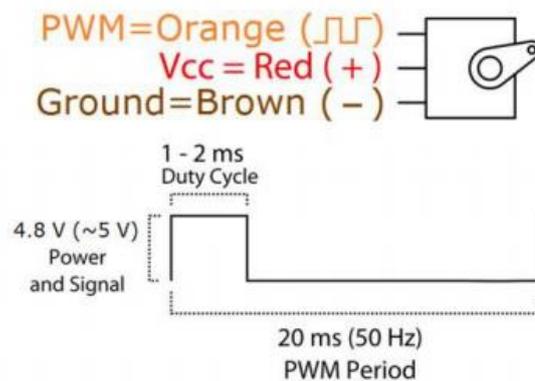


Ilustración 74. Pulso y cables del Servo Motor SG90.

4.2.6. ARDUINO.

En la realización de este proyecto se va a necesitar una placa Arduino para poder implementar la programación del prototipo de brazo robótico. Arduino es una plataforma de creación electrónica de código abierto basada en el funcionamiento de herramientas sencillas de hardware y software. Las tarjetas Arduino son capaces de recibir señales de entrada y convertirlas en una señal de salida, para ello se programa la tarjeta con una serie de instrucciones

implementadas en el microcontrolador de esta con el lenguaje de programación y el software de Arduino1.

Además, en lo que a la programación concierne, Arduino dispone de una gran cantidad de librerías que permiten controlar de manera más eficiente dispositivos como motores servo, motores a paso, etc.

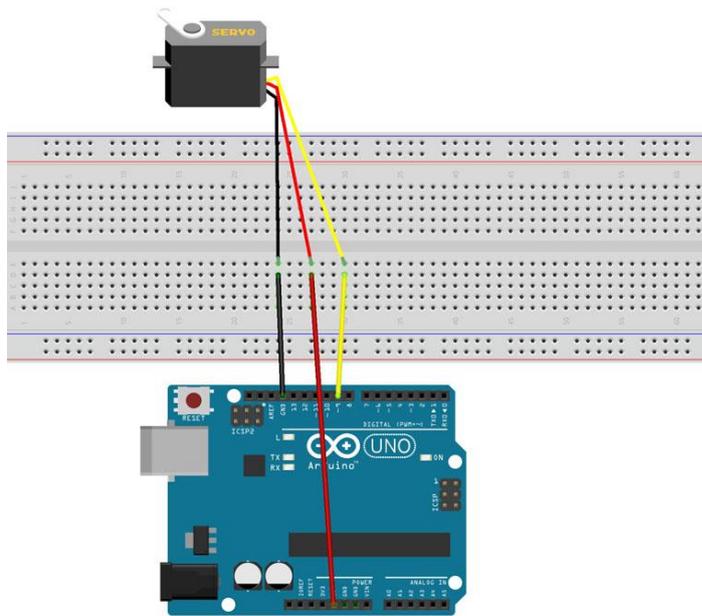


Ilustración 75. Ejemplo de conexión con Arduino y un servomotor.

4.3. MONTAJE Y ENSAMBLADO.

Tras la impresión de todas las piezas se ha procedido al montaje y ensamblado de estas. También se han realizado pruebas de funcionamiento de la pinza con un servomotor para comprobar que el diseño es correcto.

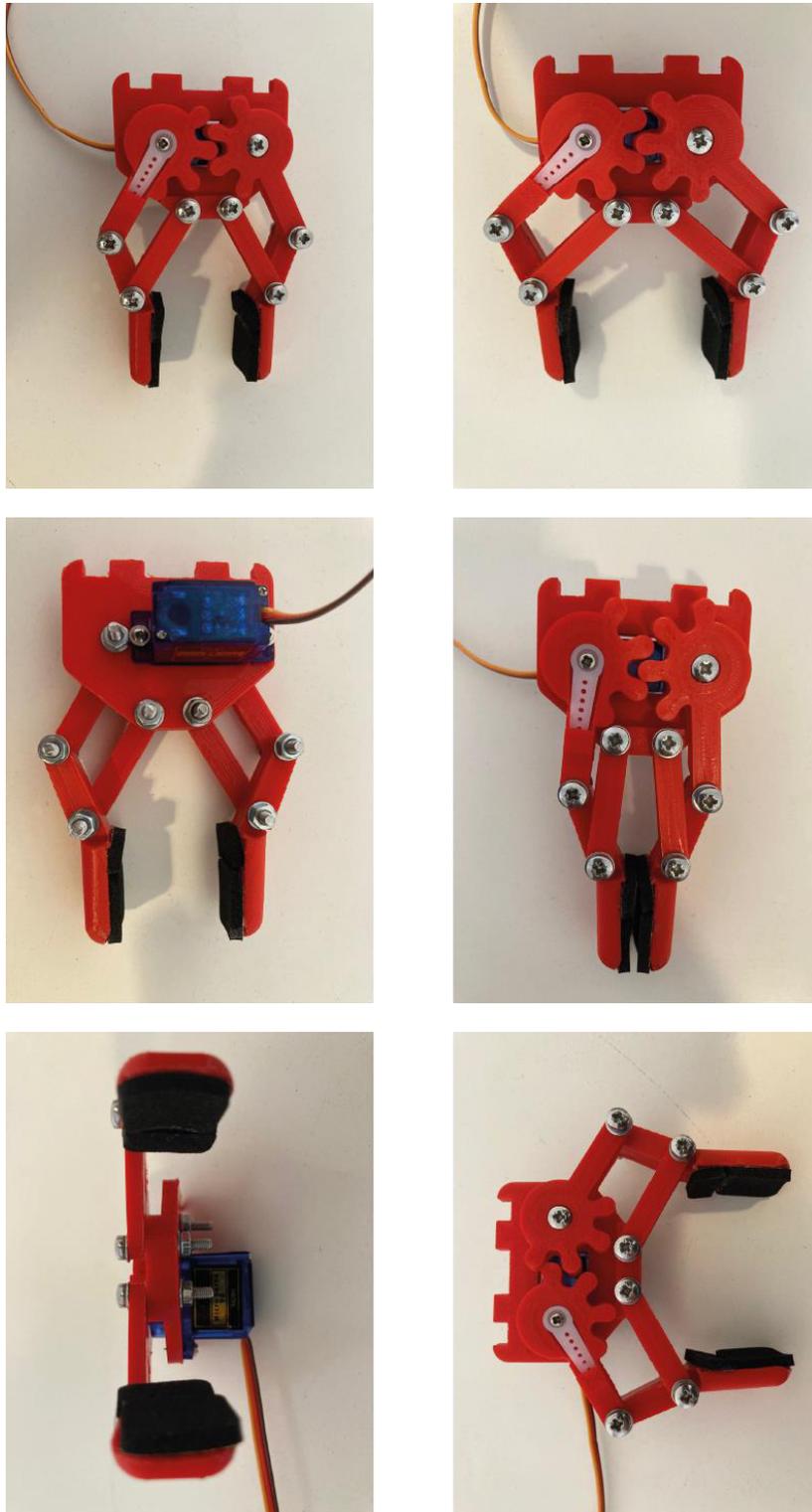


Ilustración 76. Ensamblaje de la pinza.

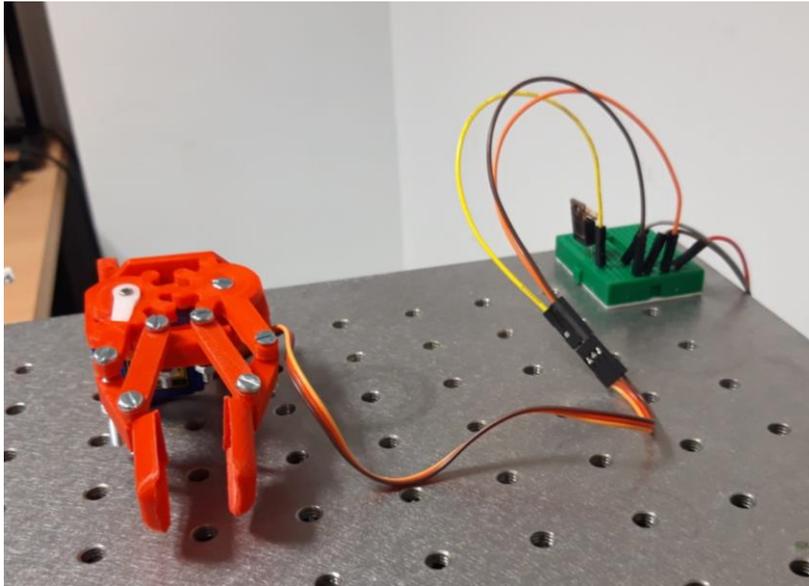


Ilustración 77. Prueba de funcionamiento de la pinza con el Servomotor.

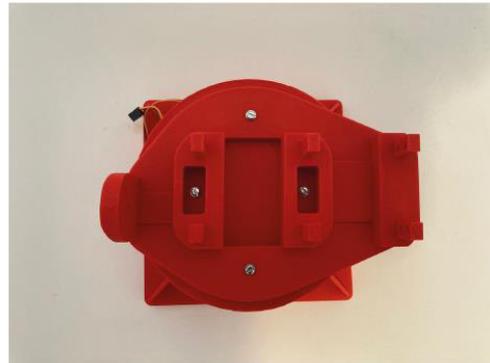


Ilustración 78. Ensamblaje de la base

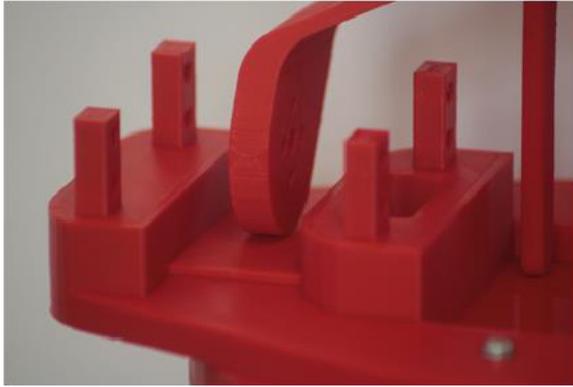


Ilustración 79. Ensamblaje de las piezas.



Ilustración 80. Brazo final.

5. PUESTA EN MARCHA.

5.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Se ha conseguido realizar una buena armadura para el prototipo que se buscaba, se han obtenido unos resultados muy buenos de las piezas impresas y de las cargas que podría soportar dicha estructura. En el prototipo se han conseguido los mismos grados de libertad que un robot rotacional.

- Rotación de 360 grados en la base.
- Movimiento de 180 grados en la articulación que simula el hombro.
- Movimiento de 180 grados en la articulación que simula el codo.
- Movimiento de 180 grados en la articulación que simula la muñeca.
- Abrir y cerrar la pinza.

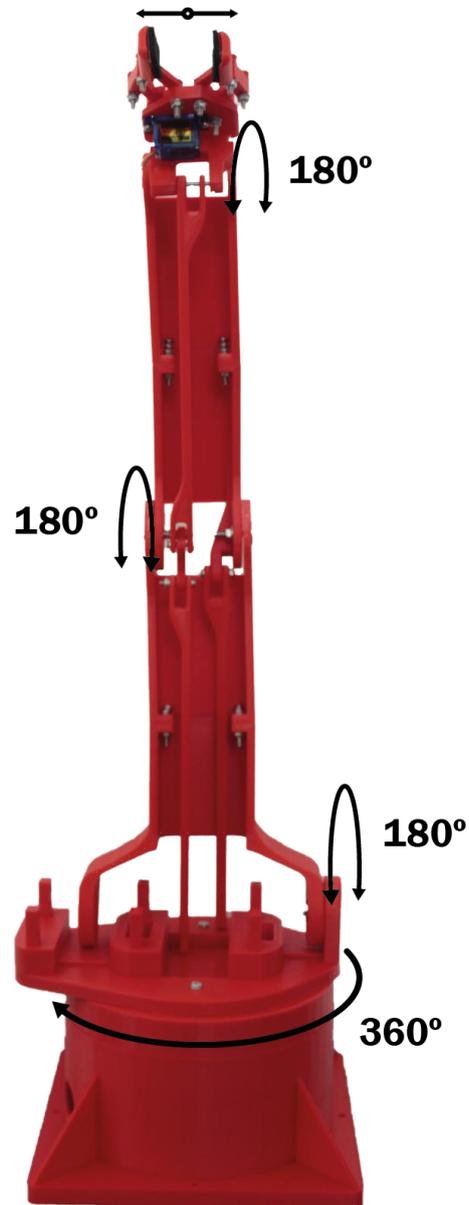


Ilustración 81. Movimientos que podría realizar el prototipo.

Dado que el periodo de prácticas era limitado muchas de las investigaciones realizadas y que se pretendían llevar a cabo no han sido posibles.

Se ha fallado con los Servomotores elegidos ya que este modelo no es capaz de aplicar tanta fuerza como se necesitaría en el prototipo, aunque sí que se ha conseguido generar movimiento en la pinza con los Servomotores SG90.

En cuanto a la investigación realizada sobre el código y placa Arduino se tendría que trasladar a líneas futuras, ya que los tiempos de la impresión y creación de las piezas, junto con la baja fuerza de los Servomotores SG90 han dificultado la programación que se ha estudiado para la placa Arduino.

PARTE IV.

6. DISEÑO DE CAMPAÑA DE CONCIENCIACIÓN.

6.1. CONTEXTO SOCIAL Y REFLEXIÓN.

6.1.1. INTRODUCCIÓN.

Actualmente el número de pacientes amputados en los países occidentales mantiene un incremento anual que se debe fundamentalmente al envejecimiento de la población. En cuanto a la extremidad superior las causas principales de estas amputaciones se deben a enfermedades traumáticas, mientras que las causas de las amputaciones de la extremidad inferior se atribuyen principalmente a problemas vasculares asociados con la diabetes.

Si hablamos de cifras, España es el segundo país del mundo, por detrás de Estados Unidos, con más amputaciones de miembros inferiores a causa de la diabetes, pues siete de cada diez casos se deben a esta patología. La OMS y la OPS informan que del total de estas amputaciones entre 40 y 85% están relacionadas con problemas vasculares asociados con la diabetes. En la gran mayoría dichas amputaciones se podrían haber evitado si la persona hubiera llevado un control con conocimiento del trastorno metabólico y la hipertensión arterial, además de unas medidas preventivas adecuadas.

Dentro de estas cifras es necesario hablar de la obesidad, la enfermedad metabólica más prevalente del mundo en los países occidentales y que en la actualidad es una de las principales causas de morbimortalidad. El aumento del consumo de grasa en la dieta, el sedentarismo y otros malos hábitos alimentarios ha conllevado que la población infantil y juvenil con sobrepeso y obesidad sea cada vez mayor. Por ello, la prevención de la obesidad infantil debe ser una prioridad con el fin de reducir el riesgo de sufrir las complicaciones de la obesidad como diabetes, hipertensión, enfermedades cardiovasculares, cáncer o artrosis.

Para evitar estos riesgos se requiere de un aumento de la educación nutricional y el ejercicio físico en las escuelas, haciendo hincapié en la reducción de los malos hábitos como el tabaquismo y el alcoholismo, los cuales suponen un factor de riesgo añadido a la diabetes.

Dentro de las causas de las amputaciones también hay que hablar de la agenesia, esta es una anomalía que ocurre en las primeras etapas del embarazo. La causa de las anomalías congénitas de la mano es totalmente desconocida. Esto puede llevar, según el tipo y el tamaño, a una adaptación por parte del niño y un desempeño adecuado o a la necesidad de enfrentarse a mayores problemas a medida que crecen:

- Problemas de desarrollo como destrezas motoras tardías o deficientes.
- Dificultades para realizar las actividades de la vida diaria y las destrezas básicas para el cuidado personal.
- Limitaciones para realizar ciertos tipos de deportes y ejercicios.

- Problemas sociales y emocionales a causa de las burlas infantiles debido a la apariencia.

Además, cabe destacar los problemas en el ámbito socioeconómico que sufren las personas con amputaciones y sus familias. Las amputaciones causan un gran impacto a nivel físico, emocional, familiar y social, la pérdida de una extremidad repercute en la salud psicológica de la persona amputada con altos porcentajes de ansiedad y depresión. Esta pérdida provoca que las personas amputadas sufran una disminución de movimientos y sientan una ausencia de libertad, convirtiéndose durante un tiempo en personas dependientes.

Es importante conocer también los altos costes de las prótesis, un brazo biónico en el mercado vale alrededor de 10.000€ a esto se le suman los costes de una buena rehabilitación y una atención psicológica del amputado. Dichas cantidades tan elevadas provocan que un porcentaje bajo de la población pueda permitirse volver a recuperar los movimientos de su miembro amputado de forma biónica.

A raíz de esta investigación hemos comprendido que se necesita un conocimiento más profundo de esta rama. Por ello se ha decidido ahondar en estos problemas e intentar empatizar con las personas que han sufrido dichas complicaciones.

6.1.2. RECHAZO Y FALTA DE FINANCIACIÓN.

La calidad de vida de un amputado depende de su nivel económico. Tras una entrevista con la Asociación Nacional de Amputados de España ANDADE hemos entendido la necesidad de visibilización de las personas con amputaciones y sus causas, además de conocer la lucha en la que llevan tantos años.

La falta de empatía con este colectivo genera numerosos problemas a la hora de que un amputado pueda vivir con las mínimas complicaciones en su día a día. El mayor rechazo que sienten las personas amputadas en España es debido a la descentralización de la sanidad pública, según en qué comunidad autónoma vivas o según la causa de tu amputación tienes un tratamiento u otro. Como ha comentado la presidenta de ANDADE, Noemi Antolín Cerezo, tus derechos como persona distan mucho si eres amputado en Andalucía o lo eres en Madrid, esto depende de la cantidad de presupuesto que decida destinar cada comunidad a dicha rama. En ciertas comunidades la persona amputada no tiene una libre elección del tipo de prótesis que desea utilizar. Por otro lado, si ha sido un accidente laboral o de tráfico, y lo cubre una mutua, puedes acceder a una prótesis de mejor calidad. En cambio, si se debe a un proceso infeccioso o a una diabetes, la Seguridad Social solo cubre la más básica.

Otro motivo por el cual las personas amputadas en España se sienten desamparadas, es la falta de acompañamiento por parte de la sanidad pública tras sufrir la amputación. El protocolo que se debería seguir después de la

operación sería una buena rehabilitación por parte de un especialista en fisioterapia, la ayuda de un profesional en terapia ocupacional y un seguimiento psicológico de la persona y de sus familiares cercanos. Todo esto no lo cubre la seguridad social por lo tanto se genera un rechazo hacia esas personas que económicamente no pueden permitirse este proceso.

Además, cabe destacar la lucha durante más de dos años que están llevando en ANDADE y en más asociaciones españolas, con el fin de ampliar y renovar el catálogo de prótesis que acepta el BOE para que las cubra parte de la Seguridad Social. El actual catálogo se encuentra obsoleto y es muy precario, por ello las personas que reciben su prótesis por medio de esta vía se sienten muy limitadas a la hora de elegir el modo de vida que quieren llevar.

En numerosos artículos se denuncia la soledad del amputado durante el proceso que debe afrontar, apenas reciben atención psicológica ni formación sobre los trámites. En estas denuncias se exige una atención integral llevada a cabo por un equipo multidisciplinar, una buena rehabilitación, un catálogo amplio de prótesis y un pago en plazo.

Con esta campaña se pretende reducir el rechazo y aumentar el conocimiento de la población sobre la lucha de este colectivo, con el fin de construir una relación de empatía que promueva la mejora en la gestión del proceso previo y posterior a la amputación.

6.2. DISEÑO DE LA CAMPAÑA.

6.2.1. OBJETIVOS.

La visibilización de los factores analizados anteriormente es uno de los puntos imprescindibles para esta campaña. Con ello se pretende generar en la persona a la que impacta la campaña los diferentes sentimientos:

- Empatía con el problema que sufren los amputados en España y conocimiento de la realidad.
- Donación para la mejora de las tecnologías que engloban las prótesis. Invertir en investigación de materiales y tecnología provocaría una disminución, a largo plazo, del coste de las prótesis. Además de una mejora en el mecanismo, con el fin de que la persona amputada pueda recuperar prácticamente todos los movimientos que ha perdido a causa de la amputación.
- Conocer las causas de las amputaciones en España.
- Conocimiento sobre los hábitos de vida que disminuyen la posibilidad de padecer ciertas enfermedades causantes de un alto porcentaje de amputaciones.

Tras este trabajo que ha seguido un recorrido por la investigación de las amputaciones, las prótesis que existen en el mercado y sus principales causas, se considera necesario realizar una campaña de concienciación que acompañe el proyecto.

6.2.2. CONCEPTO

Gracias a la comunicación directa y al tiempo que nos han dedicado la Asociación Nacional de Amputados de España ANDADE y la Asociación de Familias de Niños con Prótesis AFANIP hemos construido el concepto por el cual es necesaria esta campaña.

Durante los últimos 2 años ambas asociaciones luchan por instaurar el día 12 de abril como el “Día de las Personas con Extremidades Diferentes” para hacer visible a las personas con amputaciones y su lucha diaria.

Desde AFANIP expresan lo siguiente en cuanto a la necesidad de instaurar este día:

- Hay tres puntos clave que no se ven si uno no busca específicamente sobre este tema: En España hay más de 59.000 personas amputadas, el catálogo ortopédico lleva casi 20 años sin actualizarse y España está a la cola de Europa en financiación de prótesis.
- Su objetivo es alcanzar la igualdad visibilizando lo que nos hace comunes a todas las personas: nuestras diferencias.
- Es necesario para ayudar a las personas con amputaciones a tener acceso a una prótesis adecuada la cual les permita que alcancen la máxima funcionalidad y un correcto desarrollo físico.
- Además, que las personas con amputaciones encuentren en el deporte una pasión, no una limitación.

Este día 12 se eligió por la simbología del número. 1 mano – 2 pies o 1 pie – 2 manos.

El reconocimiento de este día conseguiría que la ONU integre en la agenda las acciones por la igualdad que tienen asociaciones como AFANIP y ANDADE, además de conseguir visibilizar a un colectivo que sigue siendo minoría entre las minorías.

Estos últimos años se ha lanzado la iniciativa llamada “Mangas Disparejas” proponiendo compartir por redes sociales una fotografía con una manga subida y otra bajada como símbolo de empatía por el colectivo.

Por ello, el concepto de la campaña que se va a desarrollar en la última parte del proyecto se centrará en dar visibilidad a la iniciativa para instaurar el 12 de abril como “Día de las Personas con Extremidades Diferentes”. Ya que se considera que celebrando este día de forma oficial, todos los motivos que se denuncian en apartados anteriores podrían llegar a tener un impacto constante y con ello generar el cambio tan necesario.

6.2.3. SIMBOLOGÍA.

La campaña consta de dos soportes diferentes, audiovisual y gráfico. En ambos se emplea como elemento principal las manos, una de las manos representa a la de una persona sin amputación y la otra representa a una persona con amputación y con un brazo biónico.

Las manos son un símbolo de unión y empatía entre nosotros. Se ha querido representar la unión de dos manos de personas diferentes realizando la mano izquierda en ambas, y con ello simbolizar la ayuda de unos a otros.

Además, se escogen las manos como símbolo para dar importancia a las personas con amputaciones en extremidad superior. Estas personas sienten que son los grandes olvidados. La presidenta de ANDADE, amputada de brazo izquierdo, nos explica que por motivos burocráticos tienen que seguir un largo proceso para conseguir que se les acepte la movilidad reducida, esto se debe a que ellos sí son capaces de caminar y moverse sin ayuda de nada ni nadie. Olvidándose así de las dificultades que tienen en su día a día, como por ejemplo pagar en un parquímetro sin brazo izquierdo, comprar en el supermercado, incluso realizar una tarea que a nosotros no nos supone ningún esfuerzo como sería comerse un yogur.

6.2.4. ESTILO.

Se ha optado por diseñar la campaña con un estilo infantil, realizando el modelado de las manos similar al de una película de animación infantil.

Hemos elegido esta forma de impactar en el espectador ya que tener una extremidad diferente en la niñez se ve afectado por la poca aceptación que expresan el resto de los niños hacia esta diferencia, pudiendo llegar a sufrir bullying a causa de la amputación. Esto supone un crecimiento del niño en algunos casos muy traumático.

Además, como observamos en la composición que se muestra a continuación, en las campañas que se han realizado previamente observamos un claro toque infantil que debemos mantener.



Ilustración 82. Carteles de años anteriores.

6.2.5. PROCESO DE DISEÑO DEL SOPORTE GRÁFICO.

Modelado con software 3D del cartel.

Las manos se han modelado con el software libre de modelado y animación 3D Blender. Tras el modelado se procede a la colocación de la armadura que simula las articulaciones de los dedos, gracias a esto podremos crear movimiento en la mano.

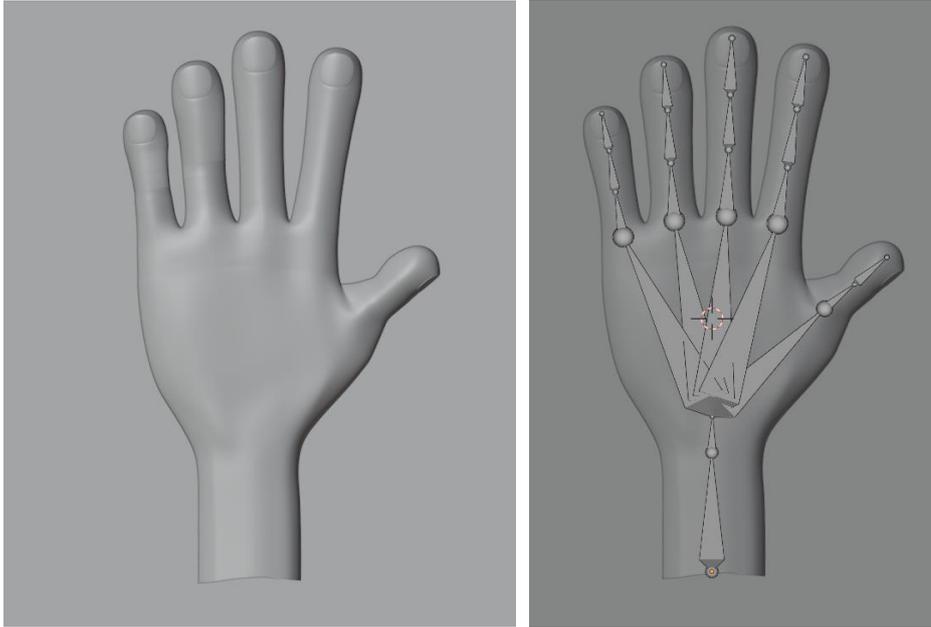


Ilustración 83. Modelo final de la mano y colocación de la armadura.

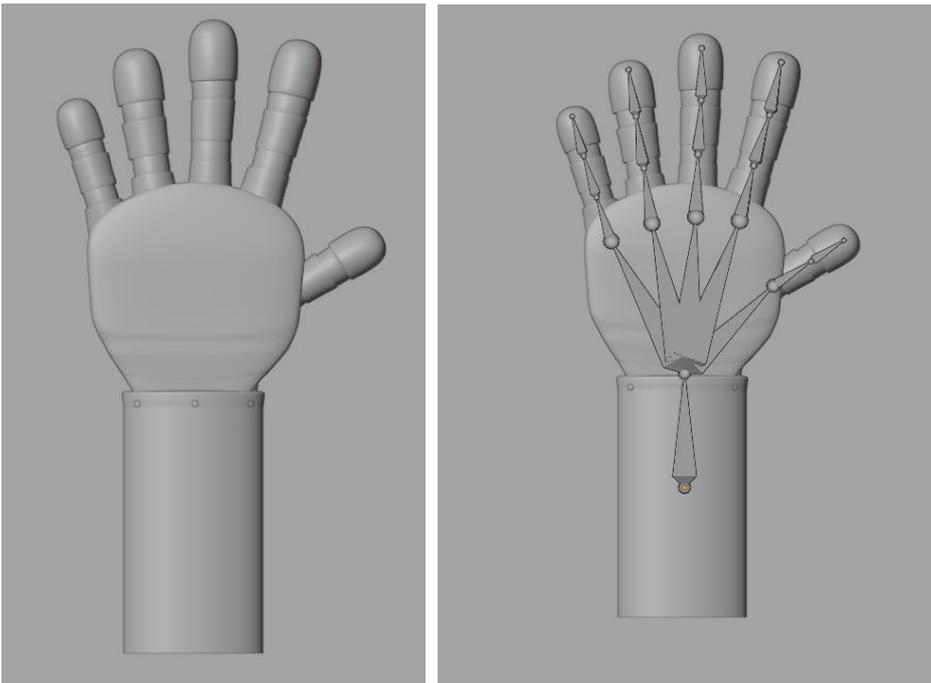


Ilustración 84. Modelo final de la mano robótica y colocación de la armadura.

Asignación de materiales y texturas a los modelos.

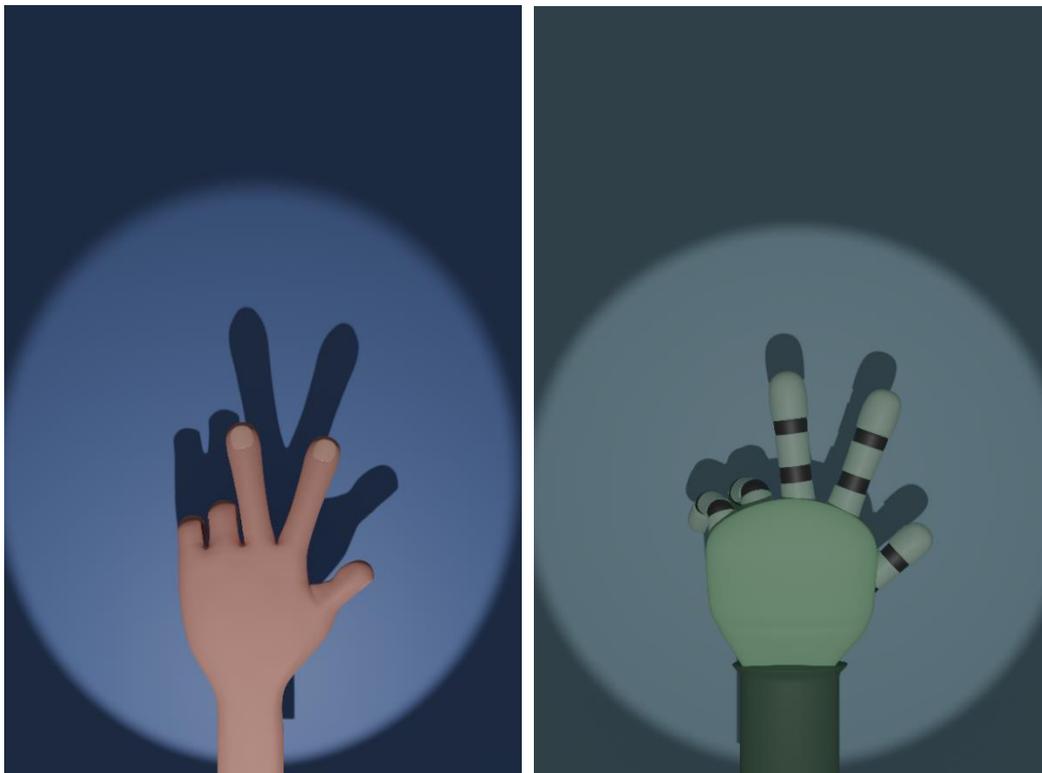


Ilustración 85. Primeros materiales y texturas.

Disposición y colores del cartel. Proceso.

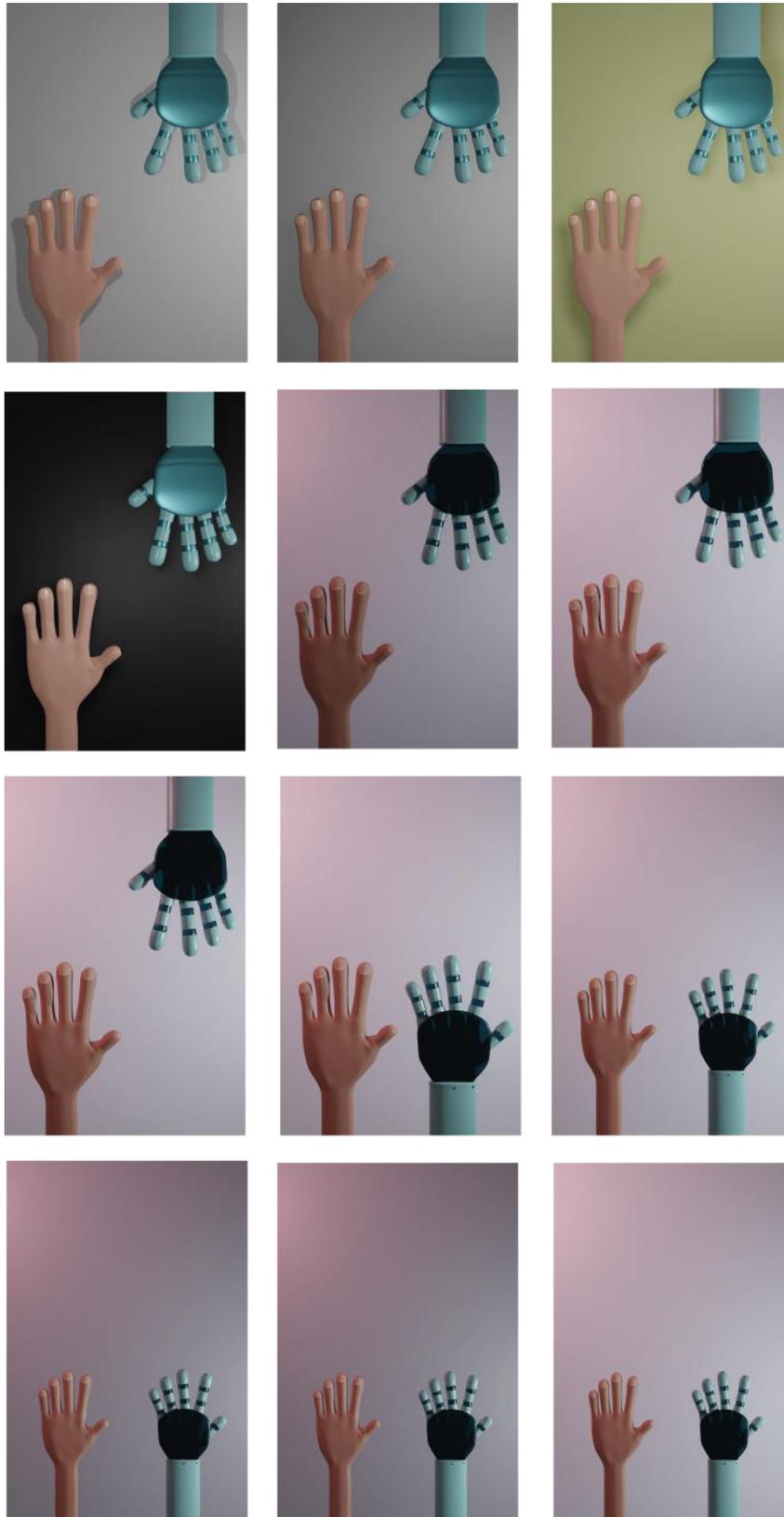


Ilustración 86. Proceso de disposición y colores del cartel.

Combinación del 3D y 2D para estructurar la información.



Ilustración 87. Pruebas de diseño del cartel.

Cartel final.



Ilustración 88. Cartel final.

MockUps.

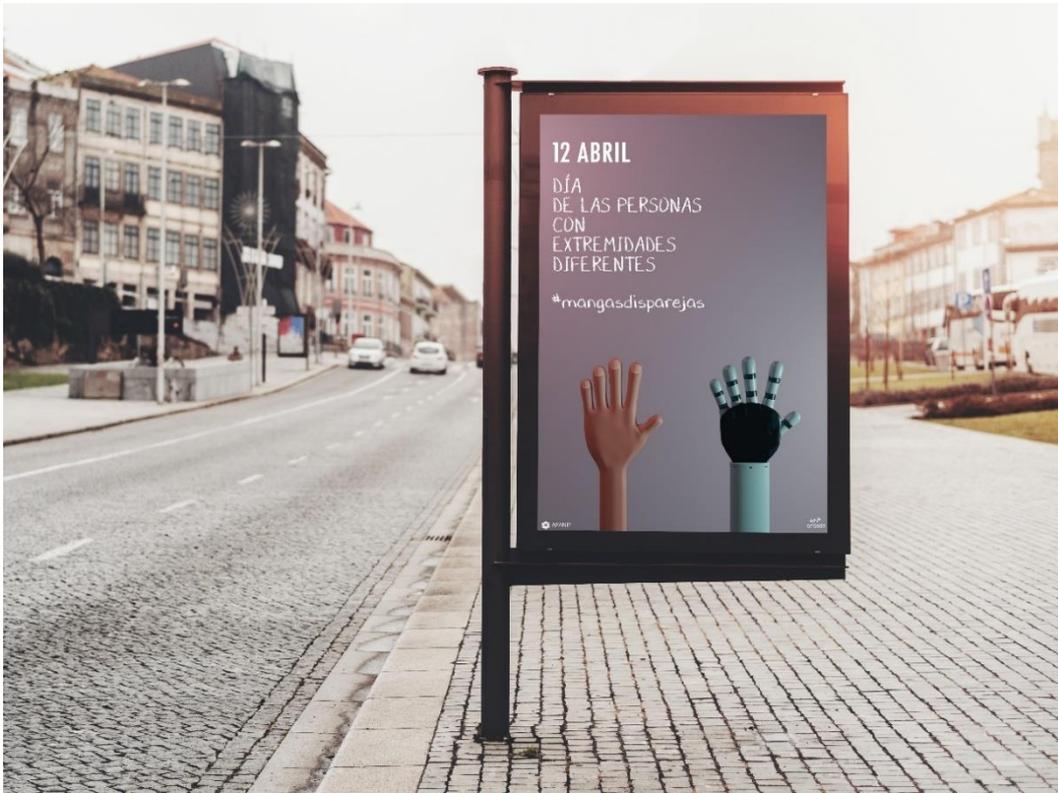


Ilustración 89. MockUps Exposición del cartel.

6.2.6. PROCESO DE DISEÑO DEL SOPORTE AUDIOVISUAL.

El video se desarrolla en aproximadamente 20 segundos con una combinación de fotogramas mostrando ambas manos realizando diferentes movimientos. En el transcurso aparece la siguiente frase: “Porque todos tenemos derecho a hacer las mismas cosas, aunque sea de forma distinta.”. Tras este mensaje aparece el día y el motivo de la campaña, acompañado de una llamada a la donación en las asociaciones que están detrás de dicho proyecto.

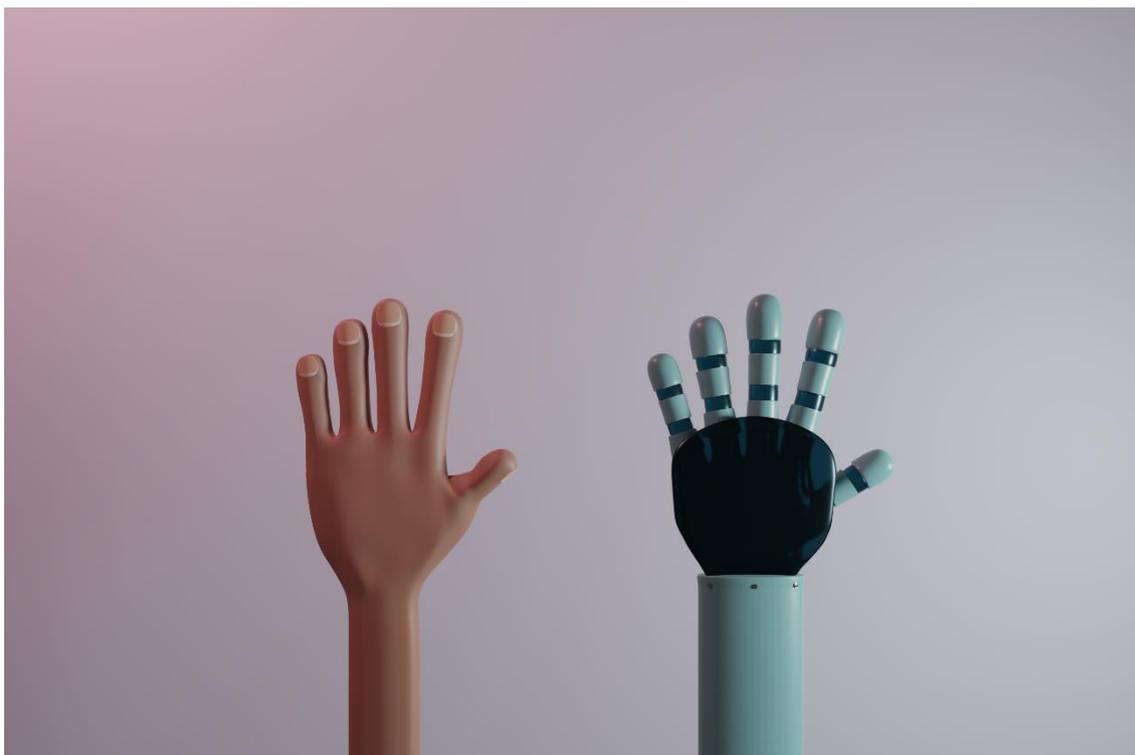


Ilustración 90. Animación 1.

PORQUE TODOS TENEMOS DERECHO A HACER LAS
MISMAS COSAS AUNQUE SEA DE FORMA DISTINTA



Ilustración 91. Animación 2.

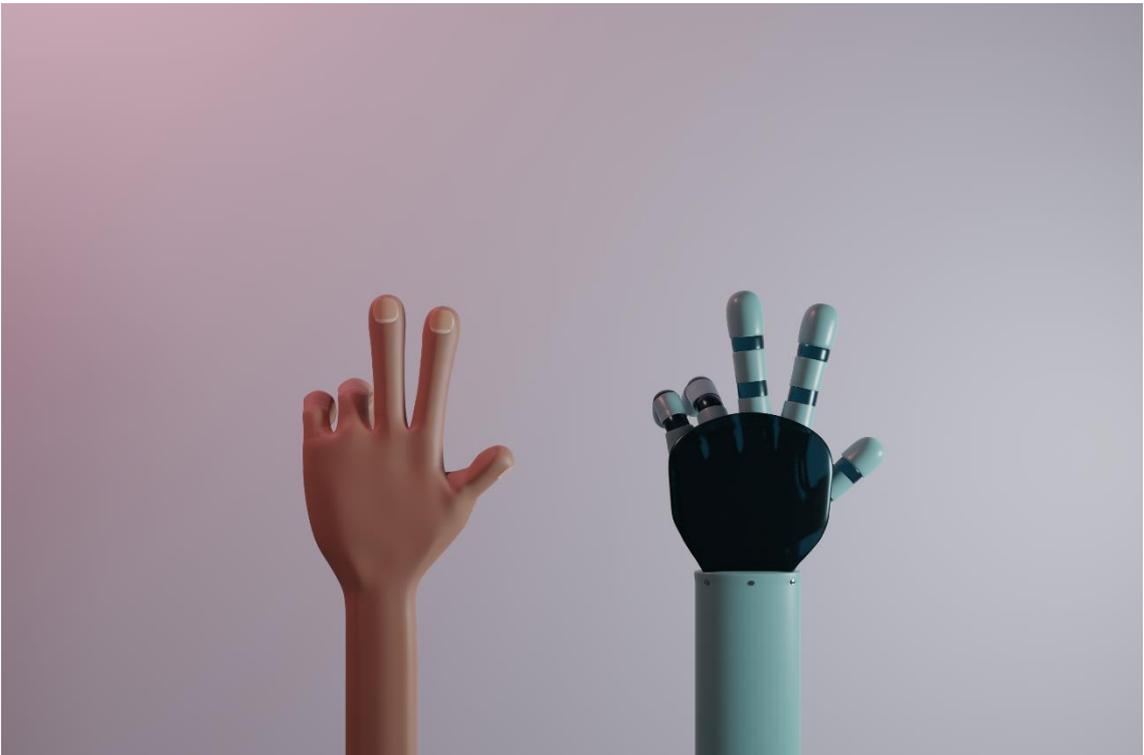


Ilustración 92. Animación 3.

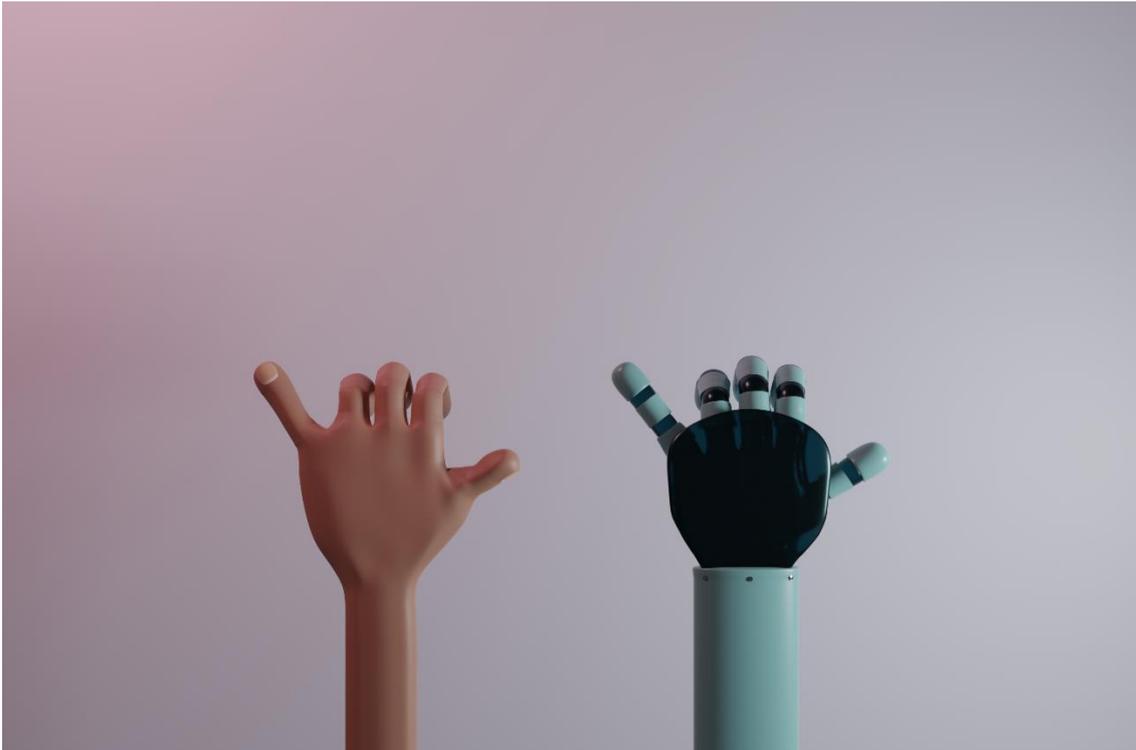


Ilustración 93. Animación 4 con texto.



Ilustración 94. Animación 6 con texto.

12 ABRIL

DÍA DE LAS PERSONAS CON
EXTREMIDADES DIFERENTES

#mangasdisparejas

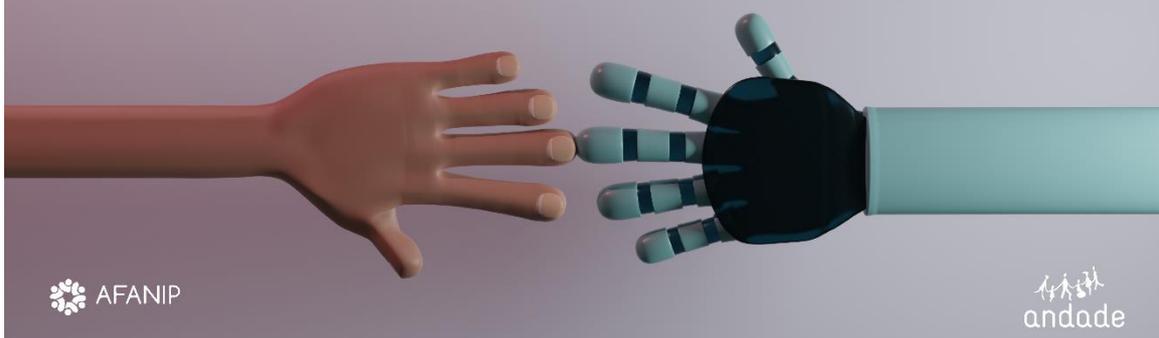


Ilustración 95. Animación 7 con texto.

Fotogramas de unión.

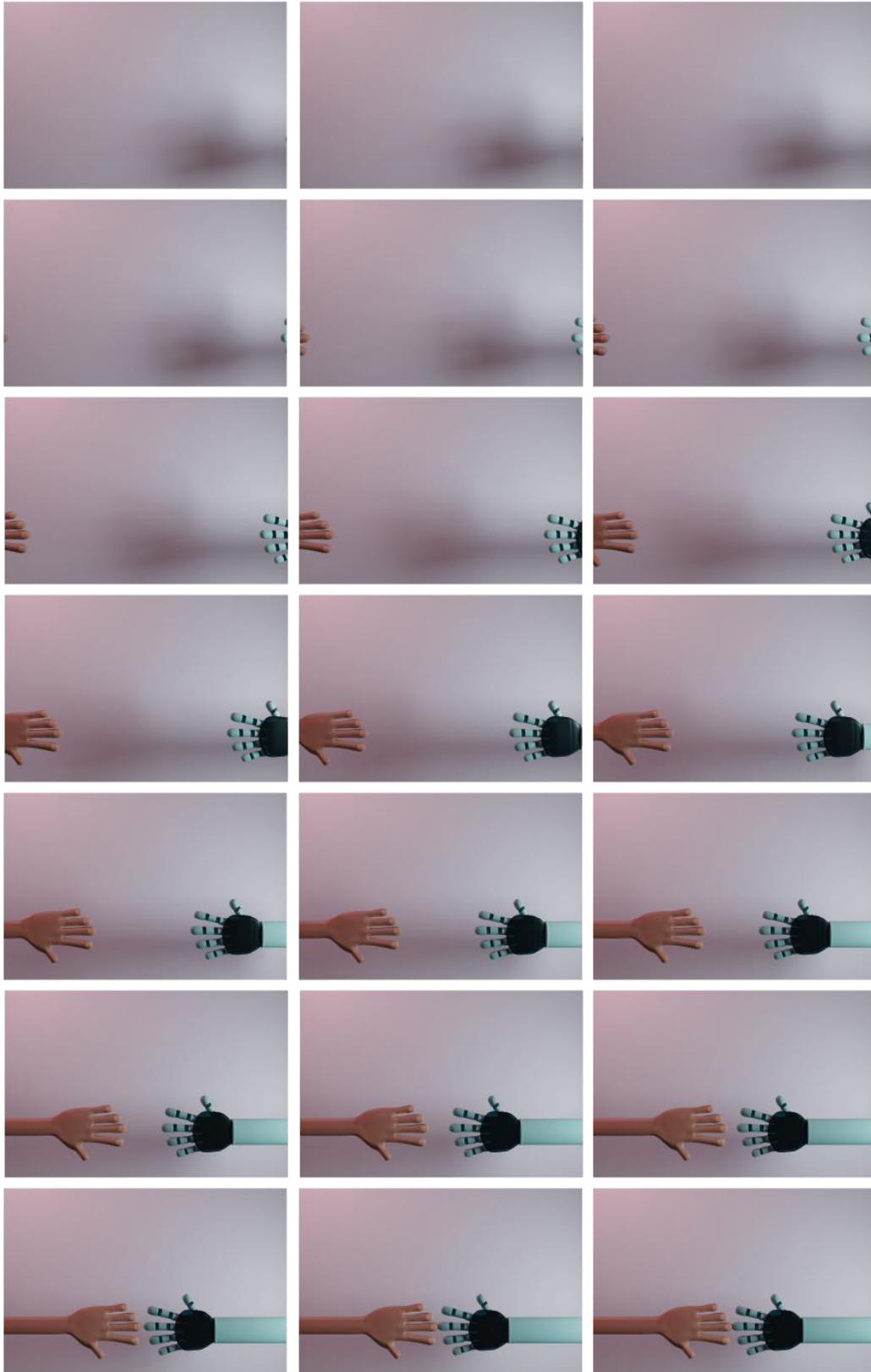


Ilustración 96. Fotogramas unión de ambas manos (no insertado en el video final).

Fotogramas de unión.

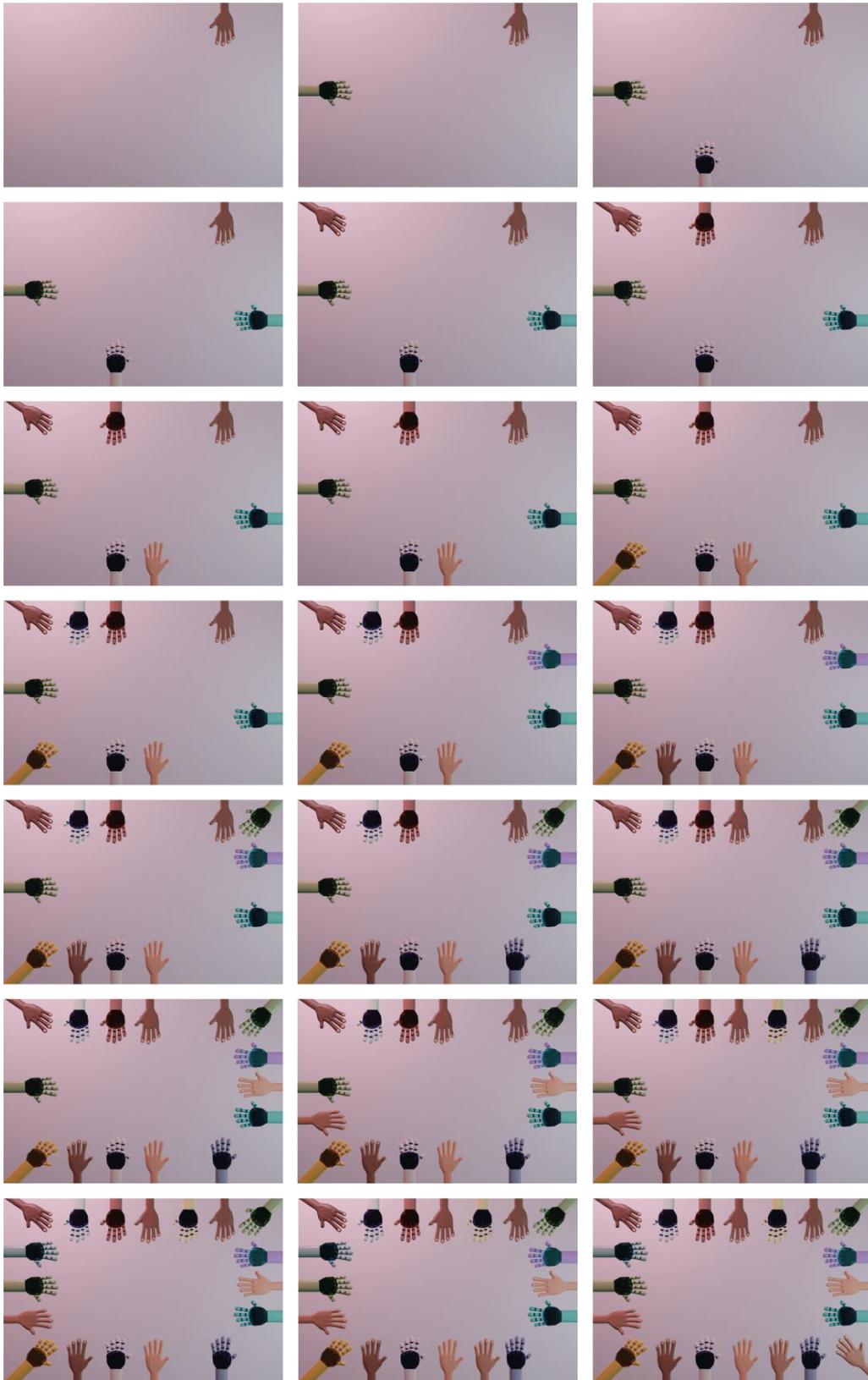


Ilustración 97. Fotogramas finales para el video.

QR de acceso al video final (YouTube).



Ilustración 98. Código QR para acceder al video.

PARTE V.

7. CONCLUSIONES.

- Se ha investigado a fondo y entendido los movimientos que realiza la extremidad superior al igual que la fisiología interna de este.
- Se ha realizado un recorrido sobre la tecnología más avanzadas de los brazos robóticos ya existentes. Hemos conseguido entender las complicaciones de la tecnología en este ámbito y se ha explorado un progreso y una dedicación por parte de los profesionales en este ámbito para acercarse cada vez más a los movimientos y las sensaciones que realiza el brazo humano, con el fin de trasladarlas a las personas con amputaciones. Además, se ha visto una gran disminución del precio de las prótesis gracias a la impresión 3D y una mejora de la parte estética de las prótesis gracias a los diseñadores.
- Se han conocido y aportado datos sobre la señal EEG y el funcionamiento de los sistemas BCI a la tesis desarrollada en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria sobre este tema concreto.
- Se ha fabricado un prototipo gracias a la impresión 3D que podría replicar los movimientos del brazo humano para apoyar la tesis comentada anteriormente.
- Se ha ahondado en los problemas de las personas con amputaciones. Hemos conseguido realizar una entrevista a las asociaciones de ANDADE y AFANIP, gracias a las cuales se han podido entender tanto las dificultades que sufre este colectivo a la hora de realizar actividades cotidianas, como la falta de ayuda y concienciación que existe por parte de la población hacia dichos problemas.
- Se ha creado una campaña de visibilización del colectivo de personas con amputaciones para el día 12 de abril de 2022. Apoyando la causa en la que cada vez hay más personas y asociaciones implicadas: la instauración de este día como “Día Internacional de las Personas con Extremidades Diferentes”.

7.1. PROBLEMAS.

Dentro de este proyecto nos hemos encontrado con algunos problemas que han dificultado la fluidez del trabajo y han complicado llegar a algunos objetivos marcados en el inicio.

Ya que la realización del prototipo del brazo robótico (PARTE III) de este proyecto estaba relacionada con la asignatura “Prácticas de Empresa”, se disponía de unos recursos muy concretos y un tiempo cerrado para la elaboración de la parte III. Nos hemos encontrado problemas a la hora de conseguir unos Servomotores más potentes dentro del tiempo del que se disponía, esto ha llevado a la imposibilidad de conectar todo el sistema a la placa Arduino y por lo tanto no se ha conseguido el movimiento del prototipo.

7.2. FUTURAS LÍNEAS ABIERTAS DE INVESTIGACIÓN.

Dentro de las futuras líneas abiertas de investigación cabe destacar los siguientes puntos:

- Instalación de unos Servomotores más potentes en el prototipo de brazo.
- Conexión de los Servomotores a la placa Arduino y programación de esta.
- Realización de una aplicación móvil o página web dinámica que acompañe a la campaña realizada. Esta invitaría a explorar las causas de las amputaciones y motivaría a la población a realizar donaciones a ciertas asociaciones. Además, se establecería un apartado que explique la necesidad de luchas por la instauración del 12 de abril como “Día Internacional de las Personas con Extremidades Diferentes”.

Bibliografía.

- Abad Pérez, P. (2017). *Diseño y desarrollo de un sistema para el registro multicanal de EEG*. Valencia, España.
- Alandí Martín, G., Albert Gil, F.E. y Aleixos Borrás, M.N. (2018). *Diseño, desarrollo y fabricación del prototipo de un brazo robótico articulado controlado por Arduino para la extracción de piezas en impresoras 3D*. Valencia, España.
- Aristizábal Torres, D. (2009). *Diseño de un brazo robótico para aplicaciones fitosanitarias*. Valencia, España.
- Beppu, B. (2012). *The Seventeenth International Symposium on Artificial Life and Robotics*. Oita, Japan: AROB.
- Bustamante Gómez, S. (2015). *Prótesis robótica de miembro superior controlada por medio de interfaces neuronales*. Medellín, Colombia.
- Cruz Ramírez, A.P. (2011). *Control no lineal de un robot esférico de 3gl con técnicas de control de linealización exacta*. Callao, Perú.
- Dorador González, J.M. (2005). *Robótica y prótesis inteligentes*. Revista Digital Universitaria. 6(1). 1067-6079. Ciudad de México, México.
- García Sánchez, J. (2015). *Módulo de bases anatómicas y fisiológicas del deporte. Extremidad Superior*. Madrid, España.
- Henríquez Muñoz, C.N. (2014). *Estudio de técnicas de análisis y clasificación de señales EEG en el contexto de sistemas BCI*. Madrid, España.
- Jara Ruiz, R., Rodríguez Franco, M.E., López Álvarez, Y.F. y Robles Valenciano, R.D. (2018). *Control de un robot cilíndrico*. Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología. 2-5: 22-28. Aguascalientes, México.
- Kuiken, T., Blair, G.L., Robert, L., Laura, L., Miller, K., Stubblefield, A. and Englehart, K. (2009). *Targeted Muscle Reinnervation for Real-time Myoelectric Control of Multifunction Artificial Arms*. Göttingen, Alemania.
- Martínez, J., Ranko, B. (2015). *Diseño e implementación de un brazo robot para discapacitados*. Zotovic Stanisic. Valencia, España.

- Palastanga, N., Field, D., Soames, R. y González del Campo Román, P. (2007). *Anatomía y movimiento humano estructura y funcionamiento*. Barcelona, España.
- Patiño Noguera, M.A., Medina Ortega.C.E, Castro. W. y Ordoñez Pelufo, D.H. (2016). *Análisis de señales EEG para detección de intenciones motoras aplicadas a sistemas BCI*. Pasto, Colombia.
- Rodríguez Rodríguez, C.L. (2017). *Diseño y construcción de un robot cartesiano con un control de posición punto a punto*. Bogotá, Colombia.

Webgrafía.

Arduino.

- <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#how-do-i-use-arduino>
(25 Febrero 2021)
- <https://www.arduino.cc/en/software> (25 Febrero 2021)
- <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno> (25 Febrero 2021)
- https://create.arduino.cc/projecthub/doug-domke/tiny-internet-weather-station-5fca4e?ref=platform&ref_id=424_trending___&offset=6 (25 Febrero 2021)
- <http://docs.blynk.cc/> (26 Febrero 2021)
- <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/blynk/#:~:text=Blynk%20es%20una%20plataforma%20que,y%20sin%20ning%C3%BArn%20gasto%20extra.> (26 Febrero 2021)
- <https://programarfacil.com/tutoriales/fragmentos/servomotor-con-arduino/> (1 Marzo 2021)
- <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/arduino-uno-r3/> (1 Marzo 2021)

Articulaciones.

- http://www.tafadycursos.com/load/fundamentos_biológicos/aparato_locomotor/ejes_planos_anatómicos/85-1-0-940 (23 Enero 2021)
- <https://www.diferenciador.com/tipos-de-articulaciones/> (25 Enero 2021)
- <https://grupocolaborativoui1.wordpress.com/2014/12/13/clases-de-articulaciones/> (26 Enero 2021)
- <https://slideplayer.es/slide/3380659/> (26 Enero 2021)
- <https://www.visiblebody.com/es/learn/skeleton/joints-and-ligaments>
(26 Enero 2021)

Brazos robóticos existentes.

- https://feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria22/feria262_01_exoesqueleto_mecanico.pdf (27 Enero 2021)
- <https://ifr.org/> (29 Enero 2021)
- <https://www.timetoast.com/timelines/protesis-ad38fc97-8857-447b-9fe5-ee10a0a06b3d> (30 Enero 2021)
- <https://www.fisioterapia-online.com/glosario/denervado#:~:text=Un%20m%C3%BAsculo%20de%20nervado%20quiere%20decir,encarga%20de%20realizar%20la%20inervaci%C3%B3n> (30 Enero 2021)
- <https://ingbiomedico.wordpress.com/2010/04/29/protesis-controladas-por-el-cerebro/> (1 Enero 2021)
- <https://ingbiomedico.wordpress.com/2010/04/29/protesis-controladas-por-el-cerebro/> (2 Enero 2021)
- <https://www.darpa.mil/about-us/timeline/revolutionizing-prosthetics> (2 Enero 2021)
- https://jetsan2017.sciencesconf.org/data/jetsan2017_Sobot_tutorial.pdf (2 Enero 2021)
- <https://www.neoteo.com/proto-1-un-increible-brazo-protesico/> (2 Enero 2021)
- <https://www.jhuapl.edu/Prosthetics/Program> (2 Enero 2021)
- <https://www.jhuapl.edu/Prosthetics/ResearchMPL> (2 Enero 2021)
- <http://www.print3dworld.es/2013/07/joven-de-17-anos-crea-un-brazo-robotico-impreso-en-3d-y-programado-con-arduino.html> (3 Enero 2021)

Causas de las amputaciones.

- <https://www.di-capacitados.com/blog/la-amputacion-causas-tipos-y-rehabilitacion#:~:text=completa%20del%20pene.-,Causas%20de%20amputaci%C3%B3n,enfermedades%20vasculares%20y%20la%20diabetes.> (11 Mayo 2021)

- <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000688.htm> **(11 Mayo 2021)**
- <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/muscular-dystrophy/symptoms-causes/syc-20375388#:~:text=La%20distrofia%20muscular%20es%20un,muchos%20tipos%20de%20distrofia%20muscular.> **(11 Mayo 2021)**
- <https://www.redaccionmedica.com/secciones/medicina-interna/espana-segundo-pais-del-mundo-con-mas-amputaciones-inferiores-por-diabetes-1696> **(15 Junio 2021)**
- https://www.anmm.org.mx/publicaciones/ultimas_publicaciones/Rehabilitacion.pdf **(15 Junio 2021)**

Circuitos integrados.

- https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/88603/35597171W_trabajo_15047614853967987761720539592773.pdf?sequence=2 **(22 Febrero 2021)**
- <https://www.hackster.io/Marcos10Soares/object-avoiding-fsm-robot-arm-3f1296#toc-1st-step-1> **(23 Febrero 2021)**

EEG y BCI.

- <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003931.htm> **(05 Febrero 2021)**
- <https://www.rchsd.org/health-articles/electroencefalograma-eeg/> **(05 Febrero 2021)**
- https://www.diegopeluffo.com/publicaciones/2016_JornadasFica_Senales_EEG.pdf **(6 Febrero 2021)**
- <https://physionet.org/content/eegmmidb/1.0.0/> **(5 Marzo 2021)**
- <https://hipertextual.com/2012/07/electroencefalograma-eeg-imagenes-enemigo> **(3 Junio 2021)**
- <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5635/pfc6391.pdf?sequence=1&isAllowed=y> **(3 Junio 2021)**

Impresora 3D y archivos.

- <http://ultra-lab.net/producto/ultimaker-2-extended-plus/> (10 Mayo 2021)
- <https://www.3dnatives.com/es/3D-compare/imprimante/ultimaker-2-extended> (11 Mayo 2021)
- <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360011962720-Ultimaker-PLA-TDS> (11 Mayo 2021)
- <https://www.3dnatives.com/es/thingiverse-plataforma-de-archivos-digitales-impresion-3d-070220202/> (3 Junio 2021)

Robots industriales.

- <http://www.udesantia.govirtual.cl/moodle2/mod/book/tool/print/index.php?id=24911> (19 Enero 2021)
- <https://new.abb.com/products/robotics/es/robots-industriales> (20 Enero 2021)
- <https://patents.google.com/patent/US8016542B2/en> (20 Enero 2021)
- https://www.researchgate.net/figure/Figura-11-Arquitectura-del-robot-paralelo-de-3-GDL_fig4_331684175 (23 Enero 2021)

Servomotor.

- <https://www.youtube.com/watch?v=ORI1yhwfM1Q> (9 Febrero 2021)
- <https://www.youtube.com/watch?v=mk9UkQCeENc> (9 Febrero 2021)
- <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/> (10 Febrero 2021)
- http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_data_sheet.pdf (1 Marzo 2021)
- <https://www.luisllamas.es/controlar-un-servo-de-rotacion-continua-con-arduino/> (28 Febrero 2021)

Tipos de prótesis.

- http://www.revista.unam.mx/vol.6/num1/art01/art01_enero.pdf **(29 Enero 2021)**
- <https://aparatosortopedicos.com/protesis-mecanicas-de-brazo/> **(30 Enero 2021)**
- <https://cuidateplus.marca.com/enfermedades/2009/02/11/reinervacion-muscular-mejora-protesis-brazos-11056.html> **(30 Enero 2021)**
- <http://fisioterapia.blogspot.com/> **(1 Enero 2021)**
- <https://aparatosortopedicos.com/como-funciona-una-protesis-mioelectrica/> **(1 Enero 2021)**
- <http://www.arcesw.com/pms1.htm> **(1 Enero 2021)**
- <https://investigacion.pucp.edu.pe/grupos/girab/proyecto/protesis-mioelectricas-personalizadas-de-mano-con-retroalimentacion-haptica-empleando-fabricacion-digital-en-filamentos-plastico-pet/> **(1 Enero 2021)**
- <http://ortopediajensmuller.com/servicio-de-fabricacion/protesis-de-miembro-superior/protesis-mioelectrica/> **(2 Enero 2021)**
- <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14397/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y> **(27 Febrero 2021)**

