



Universitat de Lleida

# TREBALL FINAL DE GRAU



ESCOLA  
POLITÈCNICA SUPERIOR  
UNIVERSITAT DE LLEIDA  
INSPIRING THE FUTURE

Estudiant: Mario Novials Ferrer

Titulació: Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Títol de Treball Final de Grau: **Diseño de un Guante Háptico**

Director/a: **Fernando Guirado Fernández**

Presentació

Mes: Juliol

Any: 2024



# CONTENIDO

1.	RESUMEN .....	3
2.	INTRODUCCIÓN .....	4
3.	OBJETIVOS .....	5
4.	ESTADO DEL ARTE .....	6
5.	DISEÑO .....	12
6.	MONTAJE.....	21
6.1.	ESTRUCTURA DEL GUANTE .....	21
6.2.	ELECTRÓNICA .....	26
7.	SOFTWARE.....	30
7.1.	CÓDIGO .....	30
7.2.	DRIVERS.....	32
8.	DESARROLLO TRACKER.....	34
8.1.	PROTOTIPO 1.....	34
8.2.	PROTOTIPO 2.....	36
9.	RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	38
9.1.	SENSOR DE PRESIÓN .....	38
9.2.	TRACKER .....	41
9.3.	PLANIFICACIÓN TEMPORAL .....	42
10.	PRESUPUESTO .....	43
11.	BIBLIOGRAFÍA .....	45
12.	ANEXO .....	46

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: HaptX Gloves G1.....	7
Figura 2: HaptX Gloves DK2.....	7
Figura 3: Sense Glove .....	8
Figura 4: CaptoGlove.....	9
Figura 5: VRfree.....	10
Figura 6: Gloveone .....	10
Figura 7: Primer boceto.....	12
Figura 8: Segundo boceto.....	13
Figura 9: Primer diseño del dedal .....	14
Figura 10: Primer dedal impreso.....	15
Figura 11: Diseño definitivo del dedal.....	15
Figura 12: Dedal definitivo impreso .....	16
Figura 13: Primer diseño de la plataforma.....	16
Figura 14: Diseño definitivo de la plataforma .....	17
Figura 15: Dedal con su plataforma .....	17
Figura 16: Guía de los hilos .....	18
Figura 17: Soporte del muelle .....	18
Figura 18: Tapa superior del muelle.....	19
Figura 19: Tapa lateral del muelle.....	19
Figura 20: Soporte del potenciómetro y del servomotor .....	20
Figura 21: Base protoboard.....	20
Figura 22: Guante de nylon.....	21
Figura 23: Muelle en espiral.....	22
Figura 24: Potenciómetro 10k Ohms .....	22
Figura 25: Servomotor MG90S.....	22
Figura 26: Potenciómetro con su soporte.....	23
Figura 27: Potenciómetro con el muelle.....	23
Figura 28: Cuerda utilizada.....	23
Figura 29: Cuerda enrollada en la pieza.....	24
Figura 30: Mecanismo del potenciómetro.....	24
Figura 31: Mecanismo completo.....	24
Figura 32: Recorrido de las cuerdas .....	25
Figura 33: Parte mecánica del guante.....	25
Figura 34: ESP32-WROOM-32 .....	26
Figura 35: Índice de los pines de la placa.....	27
Figura 36: Protoboard utilizada.....	28
Figura 37: ESP32 cableado .....	28
Figura 38: Resultado final.....	29
Figura 39: Prototipo 1 .....	35
Figura 40: Modo DFU .....	35
Figura 41: Prototipo 2 .....	36
Figura 42: a) Sensor de presión b) Circuito medidor de presión.....	39
Figura 43: Calculo de la fuerza a partir de Vout.....	39

# 1. RESUMEN

En el presente proyecto se ha desarrollado un guante que facilita a las personas interactuar con entornos virtuales, estimulando el sentido del tacto de los usuarios, siguiendo el movimiento de sus manos y simulando la sensación del tacto al interactuar con un objeto. Para conseguir estas funciones, se han utilizado muelles circulares combinados con potenciómetros que se encargan de seguir el movimiento de los dedos para trasladarlo al entorno virtual. Por otro lado, se han usado servomotores que son los encargados de bloquear el movimiento de los dedos y al mismo tiempo, simular la presión en la yema mediante un mecanismo formado por una cuerda, unas guías y una palanca.

Además, inicialmente se quería desarrollar un sistema propio de seguimiento del guante donde mediante una unidad de medición inercial se pudiera seguir los movimientos de nuestra mano para trasladarlos al entorno virtual, pero por diversas circunstancias no se ha podido llegar a esos resultados. Por lo que en el proyecto se detallarán los problemas que hemos obtenido y posibles soluciones para un futuro.

Finalmente, para el posicionamiento de la mano en el entorno virtual, se ha hecho uso del controlador de movimiento mixed reality que ya trae incorporada su propia tecnología de seguimiento. Para poder hacer el rastreo, fijaremos en nuestra muñeca el controlador y lo sincronizaremos en el entorno virtual con nuestro guante.

En la parte del software, utilizaremos un microcontrolador ESP32 ya que esta placa admite conexiones bluetooth, lo que nos permite conectar nuestro guante inalámbricamente con el ordenador. Para programar este controlador, utilizaremos Arduino IDE y para el entorno virtual, nos moveremos en steamVR donde emplearemos el driver OpenGloves.

Por último, se ha analizado la capacidad que tienen los servomotores instalados en el guante de poder transmitir la sensación de fuerza a los dedos mediante un sensor de presión, se han analizado los resultados del desarrollo del tracker y se ha expuesto la planificación temporal que se ha seguido en el proyecto.

## 2. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la realidad virtual juega un papel muy importante en nuestra sociedad, ya que desde hace años hemos intentado simular cualquier situación de la realidad en entornos virtuales de distinta índole. Aunque actualmente aún no está muy extendida a nivel usuario, en unos años esta tecnología formará una parte importante de nuestras vidas, principalmente en los contenidos multimedia como videojuegos, conciertos, cine o eventos deportivos. Una parte bastante relevante de la realidad virtual es la tecnología háptica.

La tecnología háptica es una herramienta que permite a un usuario comunicarse táctilmente con una interfaz electrónica. Estos dispositivos pueden imitar sensaciones táctiles como textura, fuerza y vibración utilizando sensores hápticos y retroalimentación háptica para mejorar la experiencia del usuario. La háptica se emplea en una variedad de aplicaciones que van desde los videojuegos a los equipos médicos, y está en constante evolución para proporcionar experiencias más realistas y naturales.

La experiencia háptica puede llevarse a cabo en distintas partes del cuerpo, pero la más usada son, sin lugar a duda, las manos ya que tiene una gran versatilidad y movilidad. La forma en la que se aplica la tecnología háptica en las manos es a través de los llamados guantes hápticos.

El sector principal en el desarrollo de los guantes hápticos es el de los videojuegos, donde la experiencia inmersiva es altamente valorada para conseguir una experiencia mayor.

Otros sectores en los que se utiliza la tecnología háptica son la investigación, la medicina y la educación, aunque en estos campos se necesita un mayor desarrollo para asegurar la fiabilidad y eficiencia de los dispositivos hápticos.

### 3. OBJETIVOS

Como objetivo principal de este proyecto está el desarrollo de un guante háptico que cumpla los siguientes puntos:

- Estimulación del sentido del tacto de nuestros dedos.
- Simulación de la forma de los objetos de la realidad virtual.
- Seguimiento del movimiento de los dedos para trasladarlo a la realidad virtual.

El guante ha de ser cómodo y funcional, para permitir al usuario su uso durante periodos largos de tiempo, también se han de usar materiales ligeros pero que a su vez sean resistentes, ya que es un dispositivo que debido a su uso sufrirá golpes y rozamientos. Además, tiene que ser económico para facilitar su desarrollo y el posible futura acceso a nuevos usuarios.

Por otro lado, también se trabajará en el diseño de un sistema de tracking para complementar el montaje del guante háptico. La idea inicial es que este sistema pueda realizar el seguimiento de los movimientos del guante para trasladarlos al entorno virtual.

Por último, en este proyecto se busca profundizar en el mundo de la realidad virtual, tanto en el apartado de las gafas y controladores y las tecnologías utilizadas, como en el mundo de los guantes hápticos y las opciones existentes en el mercado.

## 4. ESTADO DEL ARTE

En este apartado se hablará sobre el estado del arte de los guantes hápticos que existen hoy en día en el mercado, tanto destinados para usuarios particulares o para grandes empresas.

Los guantes hápticos representan una tecnología avanzada en el campo de la interacción entre los humanos y los ordenadores, diseñados principalmente para proporcionar retroalimentación táctil en los entornos virtuales. Actualmente, esta tecnología se encuentra en un estado de desarrollo y perfeccionamiento, integrando sensores de movimiento y actuadores hápticos para simular sensaciones táctiles realistas.

Estos guantes son utilizados en diversas aplicaciones, desde la realidad virtual y aumentada, hasta la rehabilitación médica y la formación profesional. Las innovaciones recientes han mejorado la precisión, la comodidad y la capacidad de respuesta, acercando cada vez más la experiencia virtual a la interacción física tangible.

Hoy en día tenemos una gran variedad de prototipos de guantes hápticos, aunque todavía queda mucho margen de mejora ya que se encuentra en pleno desarrollo. Existen diversos tipos de guantes dependiendo de la función que simulan, desde la simulación del tacto, la forma o la fuerza.

Estos dispositivos se pueden clasificar en dos grandes grupos: los modelos de sobremesa, los cuales tienen una parte del guante fijada en una superficie sólida externa y los modelos integrados donde toda la tecnología está montada en el propio guante. A continuación, vamos a hablar sobre los prototipos más destacados en el mercado y destacar sus principales características:

### **HaptX Gloves G1**

La empresa HaptX ha desarrollado los guantes hápticos de última generación Gloves G1 que funcionan de forma inalámbrica, pero necesitan estar conectados a una especie de mochila llamada airpack. La razón por la que es necesario llevar esta mochila es que los guantes funcionan con aire comprimido que es el encargado de activar los accionadores táctiles que simulan el contacto con los objetos.

Estos guantes tienen un precio inicial de 5.200 euros, pero a esto le hemos de sumar una suscripción de 495 euros al mes para poder usarlos que nos incluirá un soporte personalizado por la empresa. El uso principal de estos guantes es en el ámbito del trabajo y no están diseñados para jugar a videojuegos.



FIGURA 1: HAPT X GLOVES G1

### HaptX Gloves DK2

Estos guantes son una versión mejorada de los HaptX Gloves G1 que destacan principalmente por la reducción de su peso. Este nuevo diseño elimina la necesidad de llevar la mochila, reduciendo el peso de 7.5 kilogramos a apenas 207 gramos, incluyendo las baterías, lo cual es una mejora significativa.

Este logro se debe a la integración de una Raspberry Pi dentro de los guantes, lo que permite disfrutar de hasta 3 horas de autonomía. Además, estos guantes ofrecen un precio mucho más accesible en comparación con el modelo anterior. Están equipados con 160 actuadores dinámicos de retroalimentación háptica, lo que posibilita experimentar sensaciones táctiles muy precisas, como sentir individualmente las cuerdas de un violín virtual.

El guante utiliza un líquido especial que, al contraerse eléctricamente dentro de "burbujas" en los guantes, simula diversas sensaciones táctiles. Mientras que el modelo original con mochila tenía un costo de 5.200 euros y una opción de suscripción mensual de 495 euros, los nuevos HaptX Gloves tienen un precio de venta de 1.000 euros.



FIGURA 2: HAPT X GLOVES DK2

### **Sense Glove**

Los guantes Sense Glove han sido diseñados para transformar las interacciones virtuales, permiten a los usuarios sentir la textura, el tamaño y la resistencia de los objetos digitales como si fueran reales. El diseño ergonómico de los Sense Glove asegura que sean cómodos de usar durante periodos prolongados, lo que es importante para entrenamientos o sesiones de trabajo extendidas, además están diseñados para ser compatibles con una amplia gama de plataformas y sistemas de VR, lo que facilita su integración en diversos entornos de software y hardware.

Fueron presentados en el CES 2018, estos guantes enfocados principalmente al mercado B2B, ofreciendo una herramienta valiosa para aplicaciones empresariales, formación profesional y desarrollo de videojuegos. Los kits de desarrollo están disponibles para pedidos anticipados, prometiendo llevar la interacción en la realidad virtual y la realidad aumentada a un nuevo nivel de realismo. El modelo más reciente y avanzado, diseñado para aplicaciones industriales y de investigación, tiene un precio de aproximadamente 5.000 euros.



**FIGURA 3: SENSE GLOVE**

### **CaptoGlove**

Los CaptoGlove son unos guantes hápticos de realidad virtual financiados por Kickstarter. Este dispositivo incluye múltiples sensores y se conecta de forma inalámbrica a través de Bluetooth 4.0, permitiendo a los jugadores realizar gestos intuitivos como balancear, apuntar y disparar armas, pilotar vehículos y más. Además, cuenta con puntas capacitivas en el índice y el pulgar, lo que permite manipular pantallas táctiles sin necesidad de quitarse el guante. Ofrece hasta 10 horas de juego continuo y es compatible con todos los cascos VR del mercado, prometiendo una experiencia inmersiva en una amplia gama de aplicaciones. Sin embargo, en comparación con otros guantes hápticos más avanzados, la precisión del seguimiento de movimiento de los CaptoGlove puede ser inferior, lo que puede afectar la experiencia del usuario en aplicaciones que requieren alta exactitud.

Inicialmente fueron creados como una herramienta de rehabilitación de la salud para el padre de uno de los miembros del equipo, pero han evolucionado a una interfaz de máquina de mano usable para juegos y dispositivos inteligentes. Se promocionan como el Cadillac de los controladores VR, ofreciendo una experiencia única e inmersiva a través de movimientos naturales de la mano. Tienen un precio de aproximadamente 420 euros.



FIGURA 4: CAPTOGLOVE

### Guantes VRfree

Los guantes VRfree de Sensoryx, destacados por su innovador sistema de sensores, ofrecen una experiencia de realidad virtual más inmersiva al capturar movimientos de manos y dedos en tiempo real. Esta tecnología permite a los usuarios interactuar con entornos virtuales de manera natural, sin necesidad de controladores tradicionales. Presentados en CES, los guantes han generado expectativa por su capacidad de mejorar significativamente la inmersión en juegos y aplicaciones VR.

Los guantes SensoryX VR Free se destacan por su compatibilidad universal y seguimiento completo sin cables. Algunos usuarios han reportado preocupaciones sobre la durabilidad de los guantes, especialmente en entornos de uso intensivo, donde componentes como los sensores y las conexiones pueden ser susceptibles a desgaste. Aunque los VRfree pueden ser más accesibles que algunos guantes hápticos de alta gama, todavía pueden representar una inversión significativa para individuos y pequeñas empresas. El precio aproximado de un par de guantes VRfree es alrededor de 550 a 620 euros.



FIGURA 5: VRFREE

### Guantes Gloveone

Los guantes GloveOne, diseñados por NeuroDigital Technologies, son unos guantes de retroalimentación háptica para realidad virtual que utilizan diez actuadores distribuidos en los dedos y la palma para simular diversas sensaciones, como la lluvia o el tacto de objetos. El guante está en desarrollo para incorporar mejoras en el rastreo y la precisión, planeando incluso integrar la tecnología de rastreo Lighthouse de Valve. En otros aspectos como es el de la imitación del peso, el guante aún presenta ciertas dificultades.

Por otro lado, estos guantes poseen una zona conductiva en la punta de los dedos pulgar, índice y corazón, lo que hace que al juntarlos entre sí o al tocar la palma, se produzcan acciones que pueden ser detectadas por el software, por ejemplo, hacer el gesto “ok” o una pistola. Estos guantes también cuentan con SDKs y herramientas que facilitan la integración con diferentes motores de desarrollo y software, permitiendo a los desarrolladores personalizar y optimizar su uso en aplicaciones específicas. Además, los gloveone disponen de un sensor inercial para poder saber la posición de la mano, aunque por si solos no pueden saber la posición absoluta en el espacio. Es necesario usar alguna tecnología de terceros como LeapMotion, Kinect o RealSense de Intel. Los guantes tienen un precio de 199€.



FIGURA 6: GLOVEONE

A continuación, mostraremos en una tabla una comparativa de las ventajas y desventajas de los ejemplos mostrados:

Prototipo	Ventajas	Desventajas
HaptX Gloves G1	Funcionan de forma inalámbrica, soporte personalizado por la empresa	La necesidad de llevar una mochila y su elevado precio
HaptX Gloves DK2	Ligeros de peso, precio mucho menor que los HaptX Gloves G1 y 160 actuadores dinámicos	3 horas de autonomía, son muy voluminosos y tienen un mantenimiento difícil
Sense Glove	Facilidad de integración, diseño ergonómico	Solo están disponible para empresas, grandes requisitos de hardware
CaptoGlove	Conexión inalámbrica, posibilidad de manipular pantallas táctiles y hasta 10 horas de autonomía	Precisión del movimiento de los dedos y retroalimentación háptica limitada
Guantes Vrfree	Compatibilidad universal y seguimiento completo sin cables	Problemas de durabilidad y precio elevado
Guantes Gloveone	Detección de gestos específicos y facilidad de integración	Están en desarrollo y necesitan trackers externos

De forma general se puede afirmar que los guantes hápticos existentes en el mercado tienen un precio bastante elevado que va desde los 200€ en las versiones más básicas hasta los 5.200€ de las versiones más completas.

Basándonos en las características de los guantes que existen actualmente y como ya se ha comentado en los objetivos, nuestro prototipo tiene que ser principalmente fácil de usar para los usuarios, para que la mayoría del público pueda usarlo y ligero, ya que esto hará que sea más cómodo y ergonómico para la mano. Además, será un prototipo de bajo coste debido a que no tenemos mucho presupuesto para realizarlo y esto permitirá que sea más accesible para los usuarios.

## 5. DISEÑO

En la parte de diseño de nuestro guante háptico se han tenido en cuenta principalmente las funciones que tenía que desempeñar que incluyen:

- El seguimiento del movimiento de nuestros dedos para poder trasladarlo al entorno virtual
- La simulación de la forma de los objetos mediante la limitación del movimiento de los dedos
- La simulación de la presión ejercida por el objeto en la yema de los dedos

En base a esto, se realizan los primeros bocetos con los componentes e ideas básicas con las que se quería partir. La primera idea era usar unas cuerdas que recorrieran la mano a través de unas guías y que estas se adaptaran a la forma de la mano al extenderla y al cerrarla. A partir del movimiento de estas cuerdas al cerrar y abrir la mano y mediante un transductor se trasladaría la posición de los dedos al entorno virtual

En este primer boceto inicial se plasma la idea con la que se quería trabajar donde estaban las cuerdas que recorrían los dedos a través de unas guías y llegaban a un dedal, el cual sería el encargado de simular la presión en las yemas de los dedos.

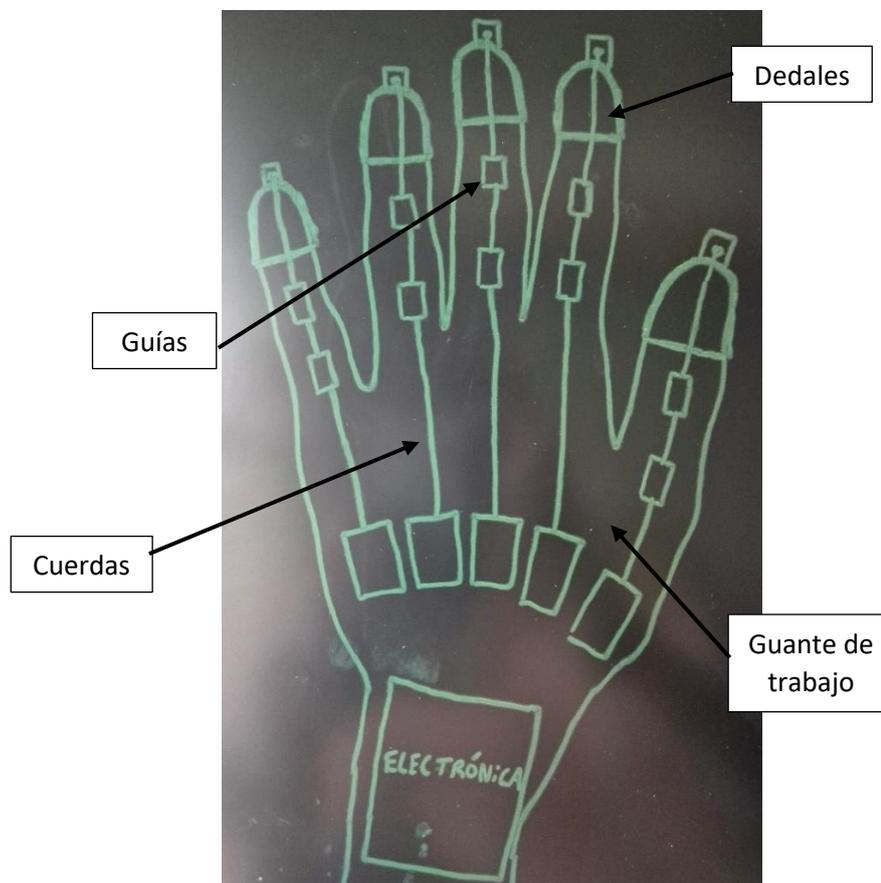


FIGURA 7: PRIMER BOCETO

Para simular la sensación de presión en las yemas en los dedos se opta por añadir una plataforma en el dedal que fuera accionada por las mismas cuerdas que recorren los dedos.

En el siguiente boceto se puede apreciar la idea de la plataforma situada en la parte inferior del dedal, el cual tendría un hueco en esa zona. El dedal serviría como anclaje para las cuerdas y como base para alojar la plataforma.

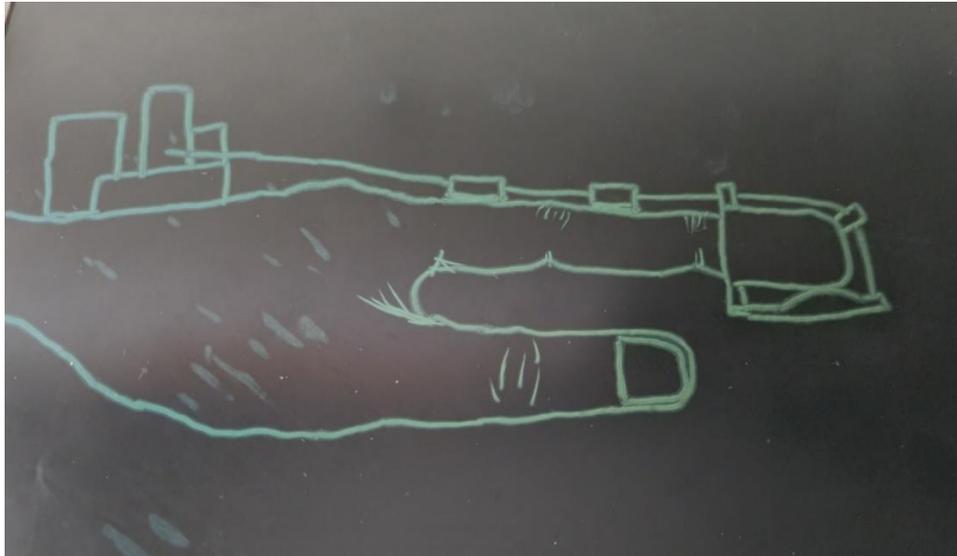


FIGURA 8: SEGUNDO BOCETO

A partir de estos bocetos empezamos a dibujar las primeras piezas de nuestro guante háptico. Los diseños se van a realizar con el software de Autocad 3d, seguidamente se utilizará la aplicación Ultimaker Cura para preparar las piezas y que puedan ser impresas por impresora 3D. Utilizamos la impresora Artillery Genius que tiene unas dimensiones de 220 x 220 x 250 mm (X, Y, Z), es cartesiana y tiene una extrusión de tipo directa. Imprimiremos con PLA genérico y con los siguientes parámetros:

- Densidad de relleno: 20%
- Altura de capa: 0,2mm
- Patrón de relleno: cúbico
- Temperatura de impresión: 200°C
- Temperatura de la base: 60°C
- Velocidad de impresión: 60mm/s

En primer lugar, para el diseño de los dedos se toman medidas de los dedos con un calibre digital, para que se adapten lo mejor posible a estos. Después de tomar las medidas, se opta por hacer un diseño del mismo tamaño para los cuatro dedos, debido a que no hay diferencias significativas de tamaño entre ellos y con una medida algo más grande para el dedo pulgar, ya que este sí que es de un tamaño relativamente superior a los demás.

Para el diseño del dedal, primero se dibuja la parte central con forma cilíndrica pero abierto en la punta para que así se adapte mejor a las diferentes formas de dedos que tiene cada persona.

Seguidamente, se realiza el corte longitudinal en la parte inferior para alojar la plataforma. Este corte ha de ser lo suficientemente ancho para abarcar toda la superficie de la yema, pero no demasiado ancho ya que esto haría que el dedal no se adaptara a la forma de los dedos.

También se añade un tubo cilíndrico transversal en la zona inferior interna del dedal para servir de guía de la plataforma. Por último, se añaden dos agujeros salientes por donde se pasaría la cuerda.

La razón por la que se decide alejar estos agujeros del dedal es para que la cuerda no haga contacto con nuestro dedo en la zona superior y para que pueda hacer la fuerza de una forma más directa sobre la plataforma sin roces innecesarios.



**FIGURA 9: PRIMER DISEÑO DEL DEDAL**

Una vez dibujada la pieza, procedemos a imprimirla con la impresora 3d para comprobar que las dimensiones sean correctas y probar su funcionalidad.



**FIGURA 10: PRIMER DEDAL IMPRESO**

Al probar el dedal en nuestro dedo, vemos que el soporte de la futura plataforma está demasiado pegado a la piel, lo que hace que sea un poco molesto. Por lo que volvemos a realizar otro dibujo mejorando este apartado.

Para ello dibujo un alargue en cada lado del dedal para poder separar la guía de nuestro dedo. Esto hará que esta zona ya no haga contacto con el dedo, permitiendo obtener una sensación más realista y limpia en el futuro.



**FIGURA 11: DISEÑO DEFINITIVO DEL DEDAL**

Imprimimos nuestra pieza y podemos comprobar que se adapta mucho mejor a nuestros dedos que antes.

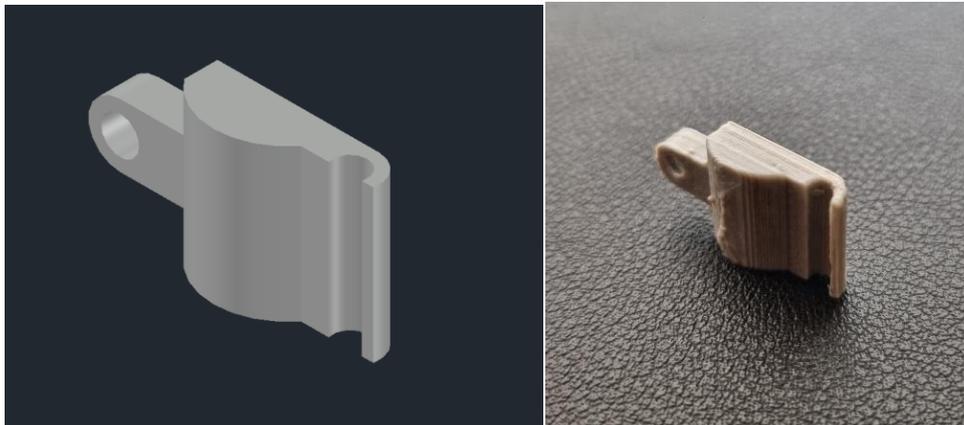


**FIGURA 12: DEDAL DEFINITIVO IMPRESO**

Una vez finalizado el diseño de nuestro dedal, comenzamos con el de la plataforma. Esta tendrá que ser proporcional a las medidas del dedal.

Para diseñarla tenemos en cuenta la hendidura que hemos realizado en el dedal ya que este será el ancho que necesitaremos. También realizamos un agujero transversal basándonos en la medida del tubo del dedal, este será el punto de unión de las dos piezas y lo que permitirá que la plataforma tenga movimiento.

A continuación, añadimos una zona curva con un grosor mayor para facilitar el contacto con nuestro dedo y también colocamos anclaje en la parte superior que servirá como fijación con el hilo.



**FIGURA 13: PRIMER DISEÑO DE LA PLATAFORMA**

Después de imprimir la pieza, comprobamos si se adapta bien a nuestro dedal. Vemos que esta no se fijaba adecuadamente con la otra parte y se caía fácilmente, por lo que la hendidura tenía que ser más profunda. Por lo que aumentamos el ángulo del semicírculo encargado del anclaje, lo que ayudado con la forma curva diseño hará que quede encajada con el dedal.

Además, comprobamos que la pieza tenía que ser más larga para tener un mejor funcionamiento y favorecer el trabajo de la cuerda. A causa del aumento de la longitud de la pieza, se tuvo que reforzar el pasahilos para evitar que se rompiese con la tensión generada.



**FIGURA 14: DISEÑO DEFINITIVO DE LA PLATAFORMA**

Después de imprimirlo y comprobar su funcionalidad, vemos que se han solucionado los problemas que teníamos con la pieza anterior y que se adapta mejor a nuestro dedo. Al colocarla en el dedal, nos quedará como podemos observar en la siguiente imagen.

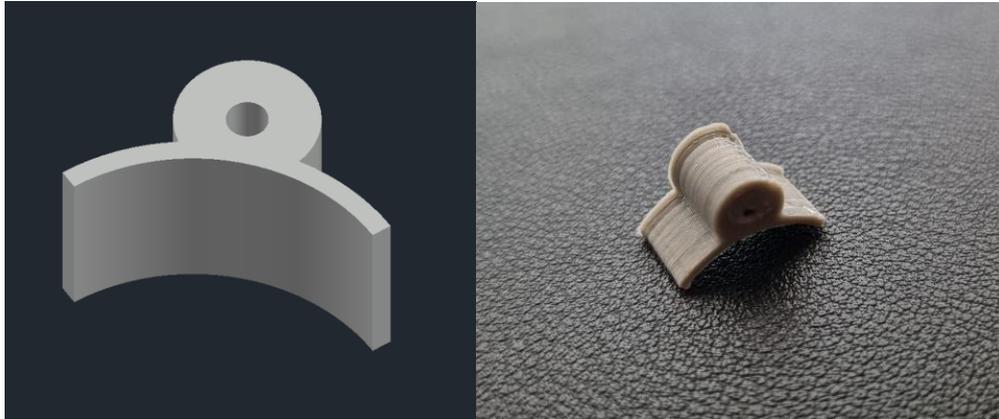


**FIGURA 15: DEDAL CON SU PLATAFORMA**

En cuanto al dedo pulgar, necesitaremos un dedal más grande. Tomando de base el que ya tenemos y realizando las medidas correspondientes en nuestro dedo, redimensionaremos el dedal y su plataforma para que se adapte a nuestro dedo pulgar manteniendo el mismo diseño.

A continuación, diseñamos las guías por donde pasaremos los hilos que recorrerán nuestros dedos. Es importante que el agujero de estas piezas sea suficientemente grande para pasar los hilos y que la base se adapte a la forma de nuestros dedos.

Necesitaremos 2 guías para cada dedo, lo que hará un total de 10 piezas que serán todas de las mismas dimensiones.



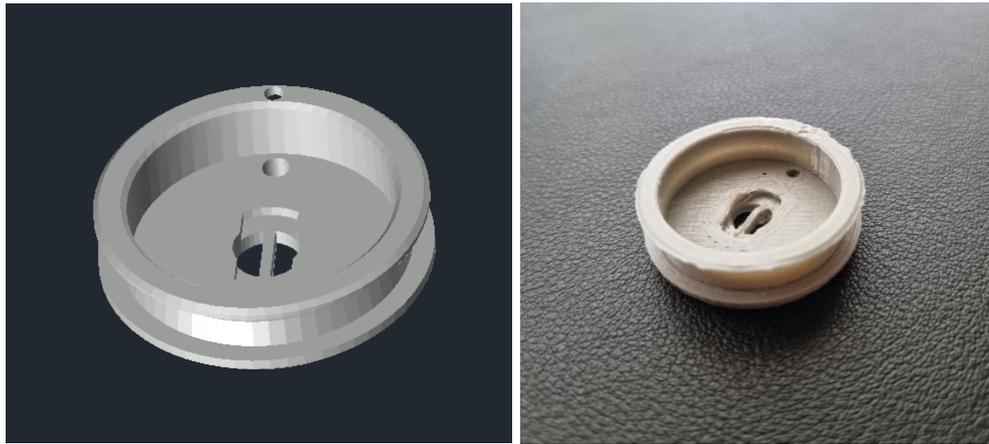
**FIGURA 16: GUÍA DE LOS HILOS**

Para la parte del guante encargada de controlar las cuerdas que recorrerán nuestros dedos y siguiendo la idea de nuestro boceto inicial, nos basaremos en un modelo ya implementado en otro prototipo de guante háptico. Este diseño consiste en utilizar un potenciómetro para trasladar el movimiento de los dedos al microcontrolador y un muelle en forma de espiral para hacer volver al potenciómetro y las cuerdas a su posición inicial.

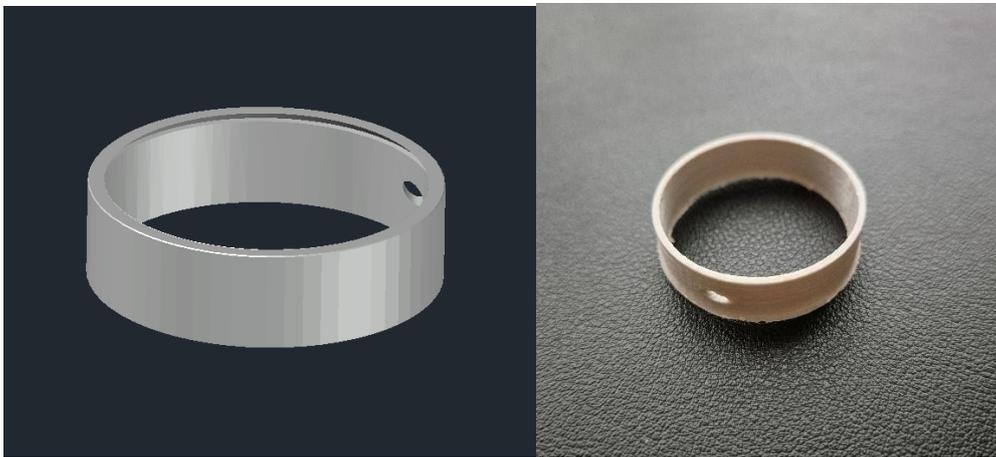
El potenciómetro será el transductor encargado de transformar la señal física recibida por el movimiento de los dedos en una señal eléctrica. Debido a que el movimiento es un factor analógico y no una señal digital de 0 o 1, el potenciómetro creará una señal a partir de la modificación del voltaje de la fuente de 3,3 V. Seguidamente, como los potenciómetros irán conectadas a entradas con ADC, la señal se convertirá a un valor digital que pueda ser leído por el microcontrolador.



**FIGURA 17: SOPORTE DEL MUELLE**

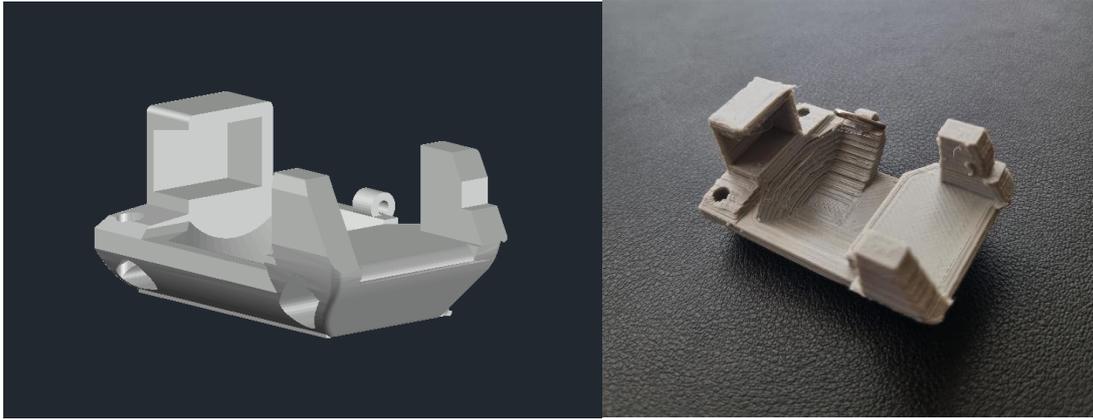


**FIGURA 18: TAPA SUPERIOR DEL MUELLE**



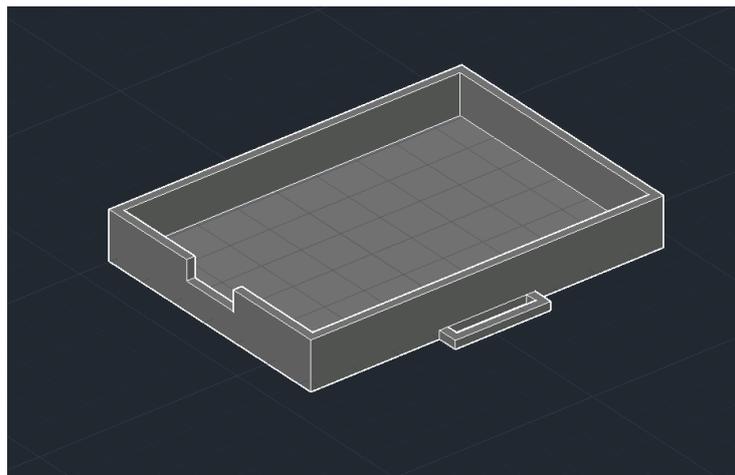
**FIGURA 19: TAPA LATERAL DEL MUELLE**

Por otra parte, se colocará un servomotor que se encargará de bloquear el muelle, lo que hará que se limite el movimiento de nuestros dedos. El servomotor estará conectado al microcontrolador, permitiendo que en el momento que cojamos un objeto en el entorno virtual, el microcontrolador mueva el servo a una posición fija que bloquee el movimiento del potenciómetro. Estos dos bloques, la parte del potenciómetro y la del servomotor irán situados en una base conjunta construida por la impresora 3d y a su vez, cada base dispondrá de dos ranuras por las que podremos pasar una cuerda elástica para fijarlas a nuestro guante.



**FIGURA 20: SOPORTE DEL POTENCIOMETRO Y DEL SERVOMOTOR**

Por último, también diseñaremos una base donde ira colocada la protoboard y el microcontrolador con todas sus conexiones. Esta base dispondrá de dos ranuras laterales para fijarla al brazo mediante un cierre de velcro.



**FIGURA 21: BASE PROTOBOARD**

## 6. MONTAJE

### 6.1. ESTRUCTURA DEL GUANTE

Una vez hemos finalizado el diseño de nuestro guante háptico, podemos pasar al montaje de la estructura del mismo. Para ello necesitaremos ciertos materiales, como las piezas que previamente hemos diseñado e impreso con nuestra impresora 3d, los potenciómetros que seguirán la posición de nuestros dedos, los motores paso a paso encargados del bloqueo de nuestros dedos, los muelles que ayudan al retorno de los potenciómetros, el guante a partir del cual montaremos el resto de piezas y las cuerdas.

Empezamos escogiendo el guante de nuestro proyecto, el cual preferiblemente tiene que ser elástico para que se adapte mejor a nuestra mano, de un material que permita pegar las piezas sobre él y que no de mucho calor en verano.

En este caso, hemos elegido un guante de trabajo de la marca ECOPU, el cual está fabricado en nylon y tiene un recubrimiento en la palma de la mano de poliuretano.



FIGURA 22: GUANTE DE NYLON

A partir de los diseños que hemos realizado anteriormente fabricaremos las piezas de nuestro guante. Necesitaremos 4 dedales con sus respectivas plataformas y a parte, el dedal del pulgar que es de distinto tamaño. También imprimiremos 10 guías para el hilo, dos por cada dedo y las piezas de los muelles y sus respectivas bases donde irán situados los motores y los potenciómetros.

Elegimos el muelle que utilizaremos para el retorno de los potenciómetros, este será un muelle en forma de espiral que obtendremos de unos soportes de identificación retractiles.



**FIGURA 23: MUELLE EN ESPIRAL**

Como potenciómetro utilizaremos uno de 10k ohms de la marca TWTADE y como servomotor, el modelo MG90S de la marca AZDelivery que funciona con un voltaje de 4,8V a 6V.



**FIGURA 24: POTENCIÓMETRO 10K OHMS**



**FIGURA 25: SERVOMOTOR MG90S**

Primero, ensamblaremos todas las piezas de la estructura que recubre el potenciómetro y el muelle espiral. Empezamos colocando el potenciómetro en la pieza que hará la función de tensor, mediante la tuerca que venía incluida con cada potenciómetro lo anclamos.



**FIGURA 26: POTENCIÓMETRO CON SU SOPORTE**

Seguidamente, colocamos el muelle de espiral, un extremo en el tensor y el otro en el potenciometro.



**FIGURA 27: POTENCIÓMETRO CON EL MUELLE**

Como elemento tensor que recorrerá nuestros dedos desde el potenciómetro hasta la yema, utilizaremos un hilo fino no elástico como el de la siguiente imagen.



**FIGURA 28: CUERDA UTILIZADA**

A continuación, colocamos el hilo en la cubierta lo enrollamos alrededor de esta.



**FIGURA 29: CUERDA ENROLLADA EN LA PIEZA**

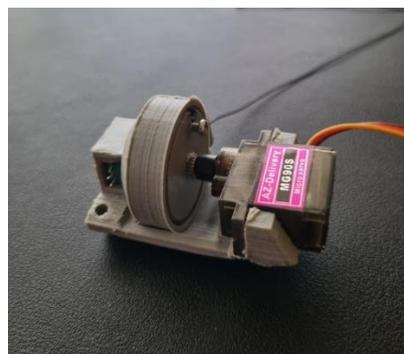
Después ponemos la pieza de la cubierta lateral y el tornillo que servirá como tope para el motor paso a paso.



**FIGURA 30: MECANISMO DEL POTENCIÓMETRO**

A continuación, colocaremos esta estructura en la base que hemos imprimido previamente junto al servomotor. Repetiremos este procedimiento 5 veces, una para cada dedo.

Finalmente, nos quedará cada plataforma como podemos ver en la siguiente imagen, donde el servomotor bloqueará, mediante el tornillo que hemos colocado, el movimiento del potenciómetro. En consecuencia, este bloqueo hará que no podamos mover el dedo gracias al hilo que recorrerá nuestro dedo y se adaptará a la forma de este.



**FIGURA 31: MECANISMO COMPLETO**

Los dedos y las guías de las cuerdas las pegaremos mediante cola termofusible a nuestro guante y las 5 bases las fijaremos al guante a través de dos cuerdas elásticas que se introducirán por unas ranuras de las bases.



**FIGURA 32: RECORRIDO DE LAS CUERDAS**

El resultado final, con los servomotores ya colocados, es el siguiente:



**FIGURA 33: PARTE MECÁNICA DEL GUANTE**

## 6.2. ELECTRÓNICA

Para poder procesar y enviar toda la información de nuestro guante necesitaremos un microprocesador. Este microprocesador ha de tener unas ciertas características como son: la posibilidad de conectarse inalámbricamente con el ordenador, preferiblemente vía bluetooth; un tamaño y peso bastante reducido, para poder llevarlo en el brazo y la suficiente cantidad de entradas y salidas que necesitará nuestro guante.

Existen una gran variedad de opciones en el mercado de microcontroladores, destacando algunos modelos. Como primera opción están los arduinos, Uno, Mega, que son ideales para principiantes y tienen un entorno propio de programación. También tenemos la opción de los STM32 de STMicroelectronics que son bastante potentes y versátiles para todo tipo de aplicaciones. Por otro lado, disponemos del RP2040 de Raspberry Pi, el cual tiene un coste muy bajo y su entorno de programación basado en Python y C. Por último, disponemos del ESP32 de la empresa Espressif Systems, el cual es una evolución del ESP8266 y es muy popular actualmente debido a su gran capacidad y su bajo coste

Para la realización del proyecto se ha elegido la placa ESP32-WROOM-32, ya que debido a sus características encajaba bastante bien en los requisitos que necesitábamos. Es una placa que tiene un coste muy bajo, admite su programación mediante Arduino IDE y es compatible también con conexiones vía bluetooth y wifi. Otras opciones como el Arduino se han descartado por su mayor tamaño, en definitiva, el ESP32 es la unidad que mejor encajaba en las necesidades del proyecto y que posee una gran relación calidad precio.



**FIGURA 34: ESP32-WROOM-32**

Sus especificaciones son las siguientes:

Voltaje de la fuente de alimentación (USB)	5V DC
Voltaje Entrada/Salida	3.3V DC
Corriente de funcionamiento requerida	Mínimo 500mA
SoC	ESP32-WROOM 32
CPU	Xtensa single-dual-core 32-bit LX6
Rango de frecuencias del reloj	80MHz / 240MHz
RAM	512kB
Memoria Flash Externa	4MB
Pines I/O	34
Canales ADC	18
Resolución ADC	12-bit
Canales DAC	2
Resolución DAC	8-bit
Interfaces de Comunicación	SPI, I2C, I2S, CAN, UART
Protocolos Wi-Fi	802.11 b/g/n (802.11n hasta 150 Mbps)
Frecuencia Wi-Fi	2.4 GHz – 2.5 GHz
Bluetooth	V4.2 – BLE y Bluetooth Classic
Antena Wireless	PCB
Dimensiones	56x28x13mm(2.2x1.1x0.5in)

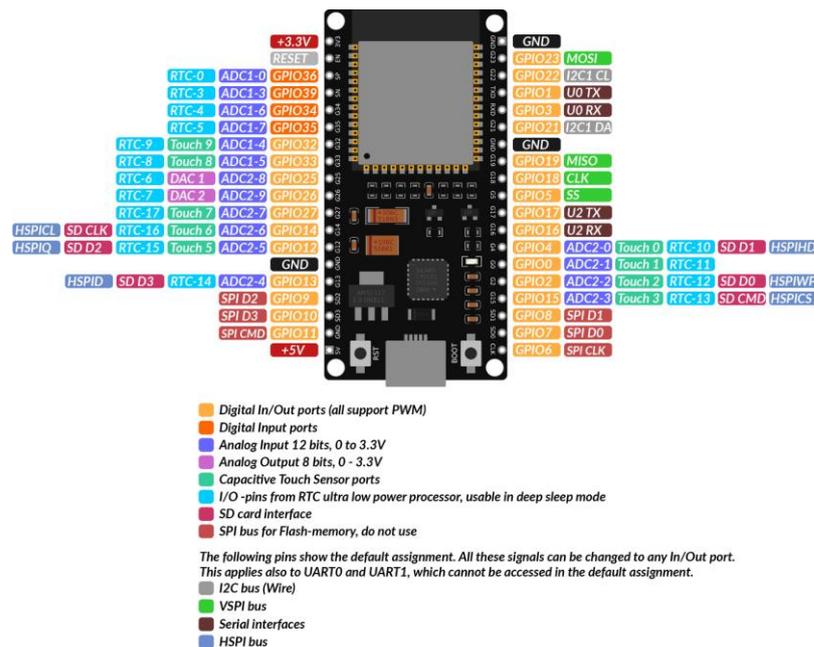
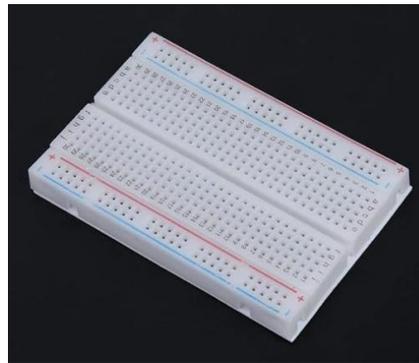


FIGURA 35: ÍNDICE DE LOS PINES DE LA PLACA

Utilizaremos una protoboard para fijar el microcontrolador y poder conectar todos los cables necesarios. Por otro lado, utilizaremos cables DuPont para realizar las conexiones ya que estos son fáciles de montar y puedes adaptarlos a las medidas que desees.

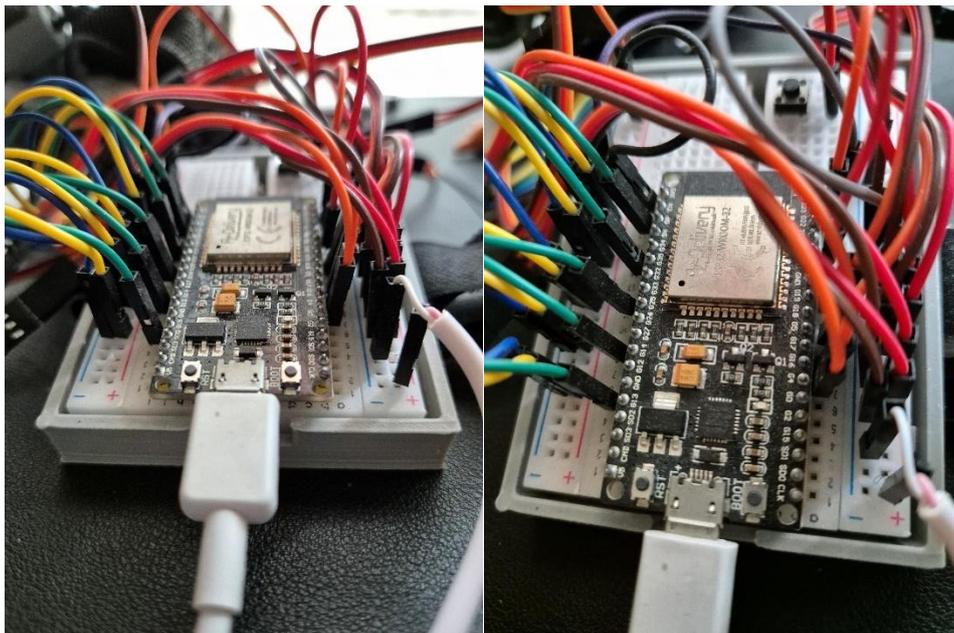


**FIGURA 36: PROTOBOARD UTILIZADA**

En primer lugar, analizamos todos los pines de conexión que necesitaremos:

- Pin de alimentación de 5V para los servomotores
- 5 pines de entrada de señal PWM para los potenciómetros
- Pin de alimentación de 3,3V para los potenciómetros y el acelerómetro
- 5 pines de salida para los motores
- Pin de tierra
- 1 pin de entrada digital para el botón de calibrado

Una vez sabemos todas las conexiones necesarias, podemos comenzar a cablear. Tendremos en cuenta las características de cada pin del microcontrolador que se pueden consultar en la imagen proporcionada por el fabricante en la figura 35.



**FIGURA 37: ESP32 CABLEADO**

En las siguientes imágenes se puede ver como quedaría la parte física del guante finalizada:

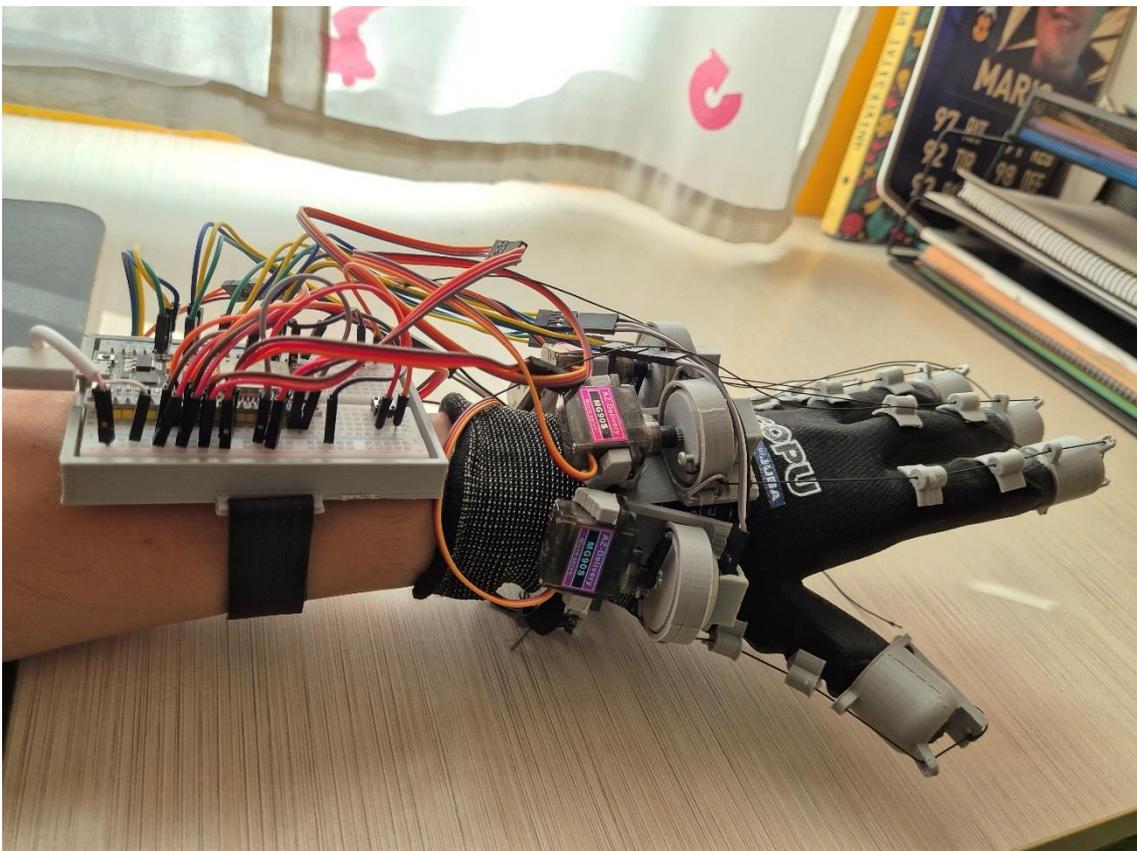
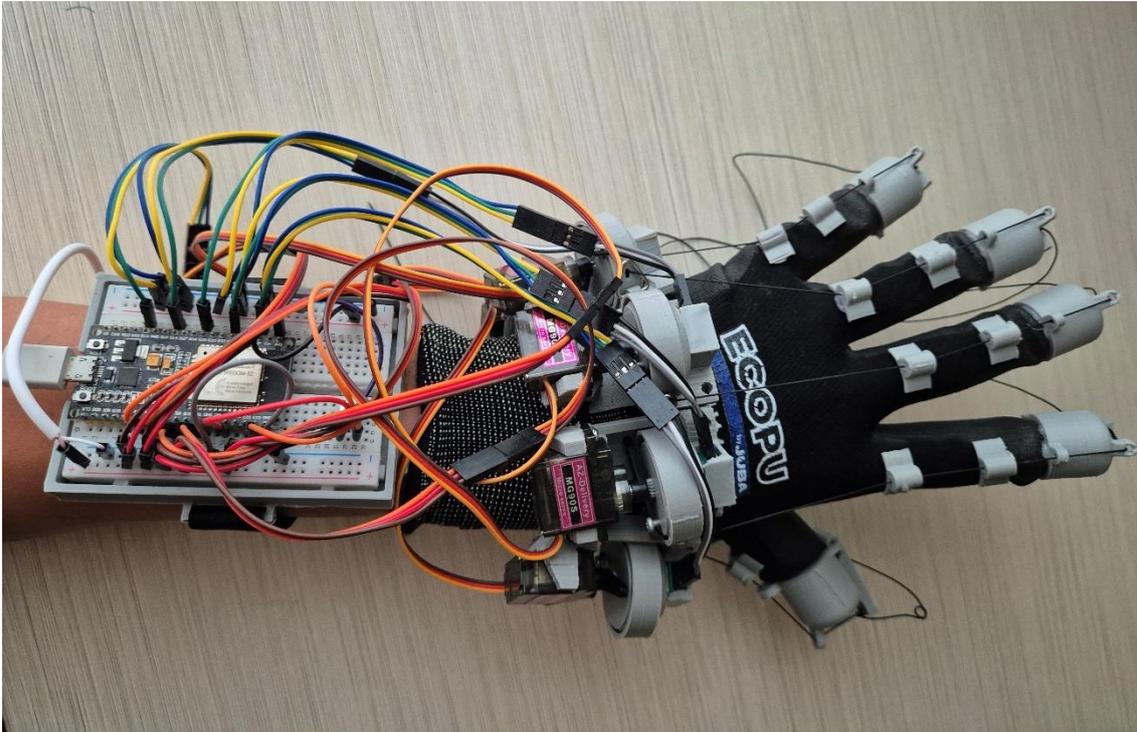


FIGURA 38: RESULTADO FINAL

## 7. SOFTWARE

En la programación del guante háptico dispondremos de dos bloques diferenciados, por un lado, la programación del firmware del microprocesador mediante Arduino Ide, donde definiremos las variables, los pines de entradas y salidas y los datos que se enviarán. Por otro lado, la implementación de la interface del guante, que será lo que el usuario verá y donde podrá interactuar con el guante en entornos virtuales.

### 7.1. CÓDIGO

El código de nuestro proyecto lo realizaremos en la plataforma Arduino IDE para así facilitar la posterior implementación en el microprocesador. Nosotros nos centraremos en configurar todos los parámetros para que nuestro guante funcione correctamente y definir los pines de salidas del microcontrolador.

El archivo con el que vamos trabajar es el de configuración, donde primero de todo elegiremos el protocolo de comunicación mediante el cual nos comunicaremos con el controlador. En nuestro caso, ya que nuestra placa nos lo permite, nos conectaremos a ella mediante bluetooth, por lo que escribiremos en la línea 6 “COMMUNICATION COMM\_BTSERIAL” lo que hará saber a nuestro microcontrolador que nos queremos conectar a él mediante bluetooth.

Seguidamente, en la línea 11 definiremos el nombre que tendrá el guante en la conexión bluetooth que en nuestro caso será “Leftglove”

```
1
2 #include "AdvancedConfig.h"
3
4 //This is the configuration file, main structure in _main.ino
5 //CONFIGURATION SETTINGS:
6 #define COMMUNICATION COMM_BTSERIAL //Which communication protocol to use
7 //serial over USB
8 #define SERIAL_BAUD_RATE 115200
9
10 //serial over Bluetooth
11 #define BTSERIAL_DEVICE_NAME "leftglove"
12
13 //ANALOG INPUT CONFIG
14 #define FLIP_POTS false //Flip values from potentiometers (for fingers!) if they are backwards
15
16 //Gesture enables, make false to use button override
17 #define TRIGGER_GESTURE true
18 #define GRAB_GESTURE true
19 #define PINCH_GESTURE true
20
```

Las siguientes líneas nos permiten cambiar el estado de reposo de los botones en el caso de que la polaridad esté cambiada por haber usado contactos normalmente cerrados.

```

21
22 //BUTTON INVERT
23 //If a button registers as pressed when not and vice versa (eg. using normally-closed switches),
24 //you can invert their behaviour here by setting their line to true.
25 //If unsure, set to false
26 #define INVERT_A false
27 #define INVERT_B false
28 #define INVERT_JOY false
29 #define INVERT_MENU false
30 #define INVERT_CALIB false
31 //These only apply with gesture button override:
32 #define INVERT_TRIGGER false
33 #define INVERT_GRAB false
34 #define INVERT_PINCH false
35

```

En este bloque, indicaremos en la línea 43 en el caso que no quisiéramos usar el dedo pulgar, en la línea 45 indicaremos si usamos botón de calibración, que en nuestro caso sí que usaremos y en la línea 47 habilitamos para poder usar la retroalimentación háptica proporcionada por los servomotores.

```

36
37 //joystick configuration
38 #define JOYSTICK_BLANK true //make true if not using the joystick
39 #define JOY_FLIP_X false
40 #define JOY_FLIP_Y false
41 #define JOYSTICK_DEADZONE 10 //deadzone in the joystick to prevent drift (in percent)
42
43 #define NO_THUMB false //If for some reason you don't want to track the thumb
44
45 #define USING_CALIB_PIN true //When PIN_CALIB is shorted (or it's button pushed) it will reset calibration if this is on.
46
47 #define USING_FORCE_FEEDBACK true //Force feedback haptics allow you to feel the solid objects you hold
48 #define SERVO_SCALING false //dynamic scaling of servo motors
49

```

A continuación, definimos los pines a los que hemos conectado cada cable ya sea de los potenciómetros, los servomotores o el botón de calibrado.

```

50 #if defined(ESP32)
51 //This configuration is for ESP32 DOIT V1 so make sure to change if you're on another board)
52 #define PIN_PINKY 13
53 #define PIN_RING 14
54 #define PIN_MIDDLE 25
55 #define PIN_INDEX 35
56 #define PIN_THUMB 36
57 #define PIN_JOY_X 33
58 #define PIN_JOY_Y 25
59 #define PIN_JOY_BTN 26
60 #define PIN_A_BTN 27
61 #define PIN_B_BTN 14
62 #define PIN_TRIG_BTN 12 //unused if gesture set
63 #define PIN_GRAB_BTN 13 //unused if gesture set
64 #define PIN_PNCH_BTN 23 //unused if gesture set
65 #define PIN_CALIB 3 //button for recalibration (You can set this to GPIO0 to use the BOOT button, but only when using Bluetooth.)
66 #define DEBUG_LED 2
67 #define PIN_PINKY_MOTOR 4 //used for force feedback
68 #define PIN_RING_MOTOR 16 //^
69 #define PIN_MIDDLE_MOTOR 5 //^
70 #define PIN_INDEX_MOTOR 19 //^
71 #define PIN_THUMB_MOTOR 23 //^
72 #define PIN_MENU_BTN 27

```

## 7.2. DRIVERS

Para el correcto funcionamiento del guante háptico necesitaremos instalar diversos drivers y librerías. Dentro de la aplicación de Arduino IDE instalaremos la librería “ESP32Servo” y también el archivo "ESP32 by Espressif Systems" dentro del gestor de tarjetas. Además, en el gestor de URLs adicionales de tarjetas insertaremos el siguiente link:

[https://raw.githubusercontent.com/espressif/arduino-esp32/gh-pages/package\\_esp32\\_index.json](https://raw.githubusercontent.com/espressif/arduino-esp32/gh-pages/package_esp32_index.json)

Por otro lado, como en nuestro caso hemos utilizado una placa ESP-32, es necesario instalar el driver “Silicon Labs CP210x USB to UART Bridge” para poder conectarnos correctamente al chip. Este driver lo instalaremos desde su página oficial, a través del buscador de internet.

### Software Downloads

[Software](#) (11)

#### Software · 11

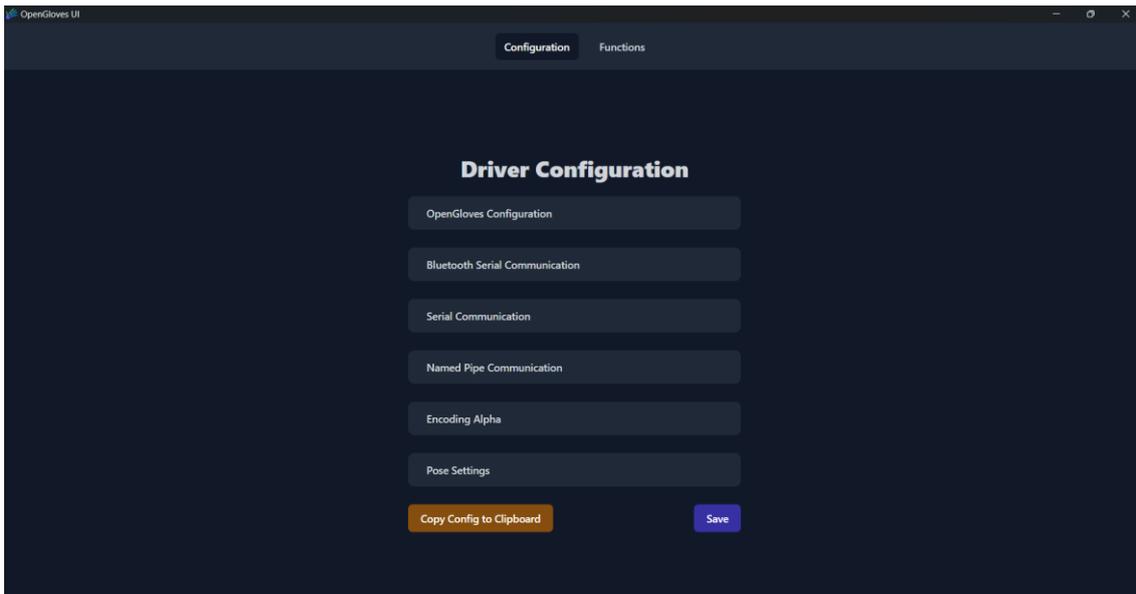
<a href="#">CP210x Universal Windows Driver</a>	v11.3.0 6/24/2023
<a href="#">CP210x VCP Mac OSX Driver</a>	v6.0.2 10/26/2021
<a href="#">CP210x VCP Windows</a>	v6.7 9/3/2020
<a href="#">CP210x Windows Drivers</a>	v6.7.6 9/3/2020
<a href="#">CP210x Windows Drivers with Serial Enumerator</a>	v6.7.6 9/3/2020

[Show 6 more Software](#)

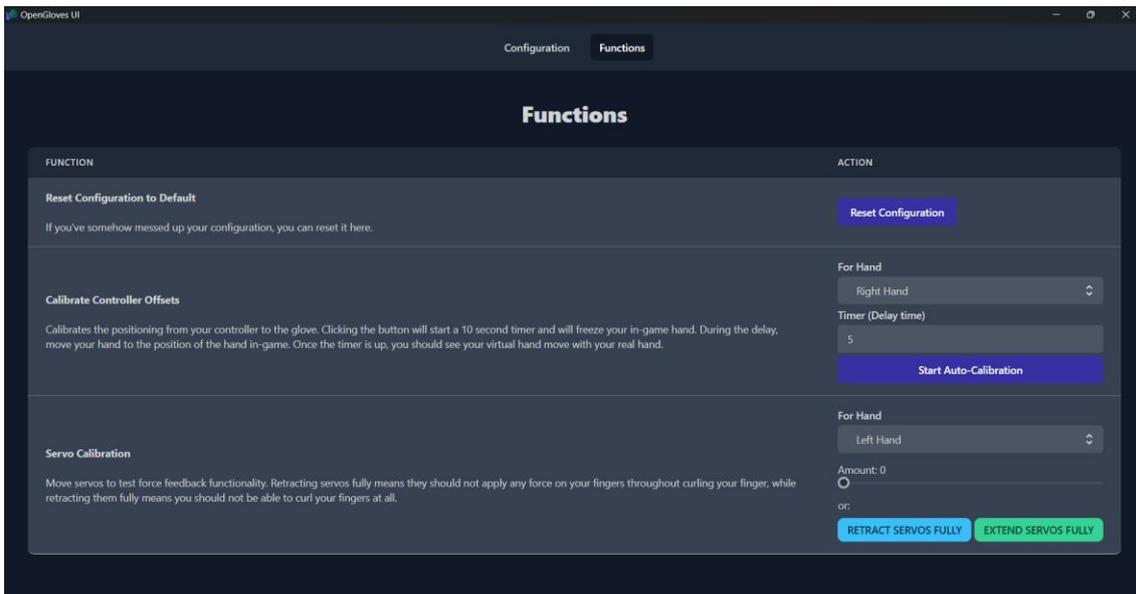
Por último, el driver llamado OpenGloves, el cual será el encargado de que el guante pueda ser reconocido por el ambiente virtual, que en nuestro caso será SteamVR. Este programa nos permitirá configurar los parámetros del guante y el método de conexión y nos ayudará a calibrar los servomotores y la posición del guante respecto al tracker.

Lo instalaremos desde Steam y cómo podemos ver en la siguiente imagen tiene dos apartados principales, como son el de Configuración y el de Funciones.

En el apartado de Configuración podremos habilitar el driver, elegir el lado del guante que queremos usar y permitir la realimentación de los servomotores. También, seleccionaremos el tipo de conexión que usaremos y en su defecto, el nombre de nuestro dispositivo bluetooth o el puerto Serie donde está conectado.



En el apartado de Funciones tenemos la posibilidad de resetear por completo todas las configuraciones que hayamos modificado, la opción de calibrar la posición del guante respecto al controlador y de calibrar los servomotores y moverlos para probar su funcionamiento.



## 8. DESARROLLO TRACKER

En este apartado hablaremos sobre las diferentes vías de desarrollo que hemos seguido para la fabricación de nuestro propio tracker, aunque finalmente no hayamos podido obtener los resultados esperados.

El tracker es un dispositivo que se utiliza para rastrear y registrar la posición y los movimientos del usuario en el entorno virtual. Los trackers son necesarios para proporcionar una experiencia inmersiva y realista en VR al permitir que los movimientos del usuario se reflejen con precisión en el entorno virtual.

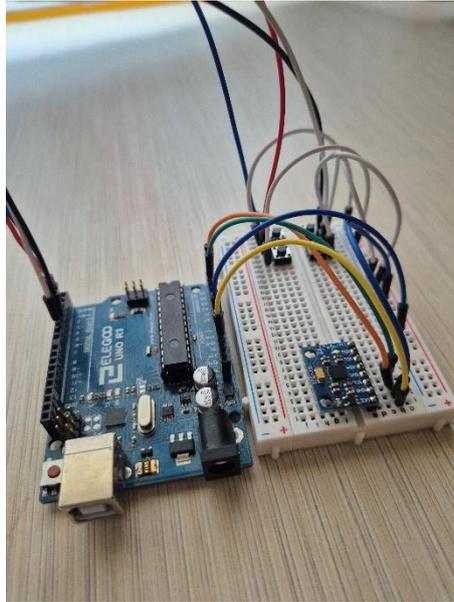
Principalmente, ha habido dos vías de desarrollo del tracker, la primera consistía en un microprocesador propio con una IMU que detectaría los movimientos de nuestra mano y la segunda tenía el mismo hardware, pero utilizando un software de código abierto llamado SlimeVR.

### 8.1. PROTOTIPO 1

En este caso, utilizamos un Arduino Uno como placa base del tracker y un MPU-6050. La razón para utilizar un Arduino Uno y no implementar el tracker en la misma placa usada en el guante es principalmente porque se quería separar un elemento del otro para hacerlo más ordenado y poder utilizar el tracker sin necesidad de disponer del guante háptico. El MPU-6050 es una unidad de medición inercial de 6 grados de libertad que posee un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio de 3 ejes, con el giroscopio podemos medir la velocidad angular y con el acelerómetro medimos las componentes X, Y y Z de la aceleración.

Utilizamos una protoboard para ayudar con las conexiones y poder fijar el acelerómetro, también añadiremos 4 botones para poder movernos por el menú de la aplicación. En la siguiente tabla se indica las conexiones realizadas entre la placa y el MPU:

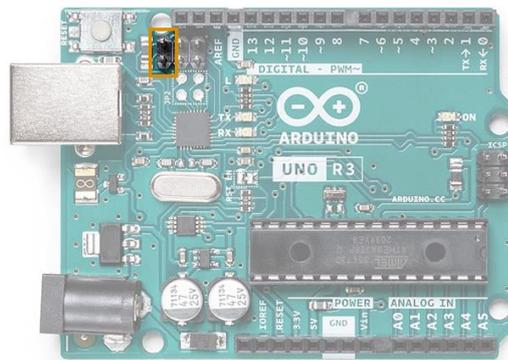
MPU-6050	Arduino Uno
VCC	5V
GND	GND
SCL	A5
SDA	A4



**FIGURA 39: PROTOTIPO 1**

Una vez realizadas las conexiones, ya podemos pasar al software. En este caso utilizaremos un código creado por otro usuario para facilitarnos el trabajo.

Por último, necesitamos convertir nuestro Arduino en un mando para que pueda ser reconocido por el entorno del ordenador. Para hacer esto, primero ponemos nuestro Arduino en Modo DFU conectando los dos pines de la foto.



**FIGURA 40: MODO DFU**

Seguidamente, abrimos el fichero TurnIntoAJoystich.bat y automáticamente nuestro Arduino será reconocido como un mando.

Después de esto, ya tenemos listo el mando con el tracker. El problema viene porque el entorno virtual de nuestro ordenador reconoce al Arduino como un mando de consola lo que nos quita la posibilidad de usar el tracker.

## 8.2. PROTOTIPO 2

Este segundo prototipo será continuista del anterior, ya que utilizaremos los mismos elementos de hardware, es decir, la placa de Arduino Uno y la unidad de medición inercial MPU-6050. Las conexiones entre la placa y el MPU-6050 también serán las mismas que en el prototipo anterior.

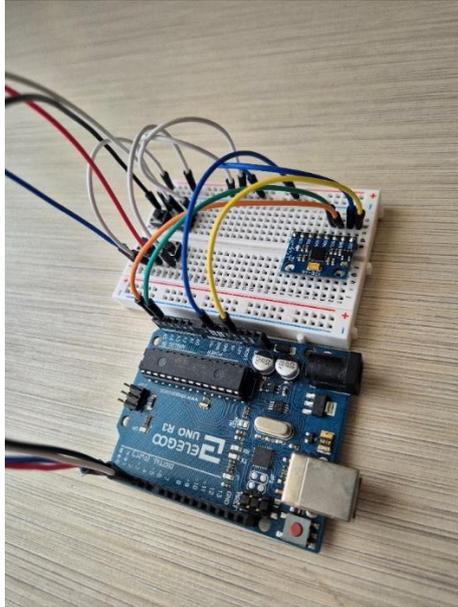
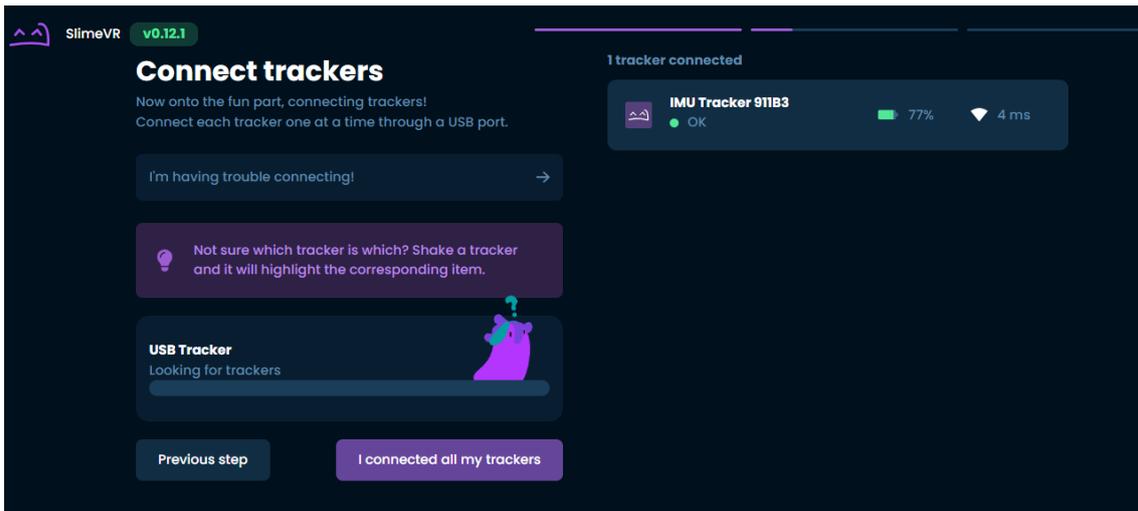


FIGURA 41: PROTOTIPO 2

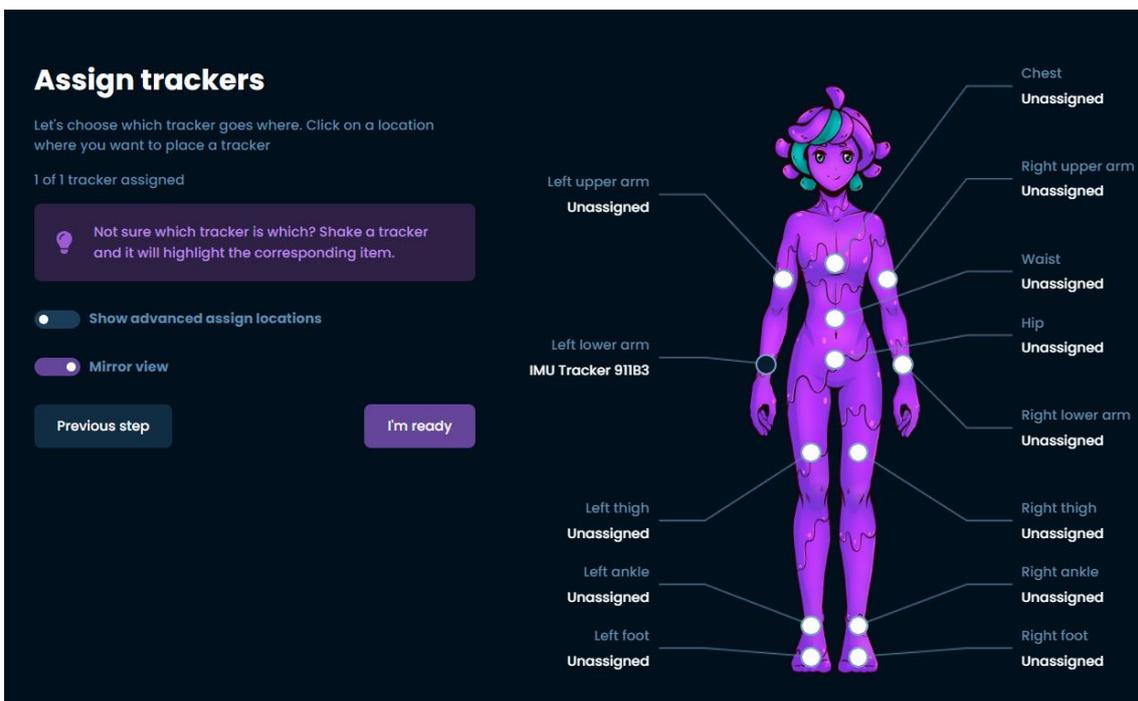
En la parte de software utilizaremos SlimeVR, este es un software de código abierto pensado para el seguimiento del cuerpo completo en la realidad virtual.

Una vez tengamos nuestro hardware preparado, subiremos a nuestra placa el código que descargaremos de la página de slimeVR.

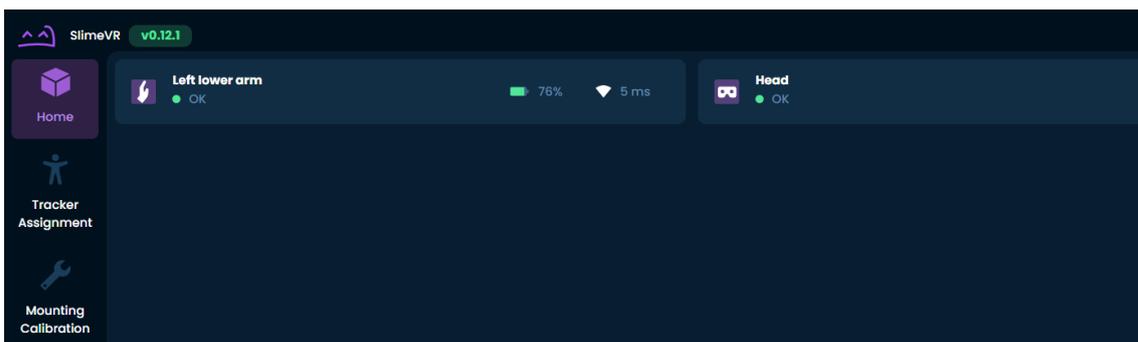
Después, nos descargaremos la última versión del driver y la instalaremos en el ordenador donde vayamos a conectar las gafas de realidad virtual. A continuación, la aplicación nos pedirá que nos conectemos al Wifi debido a que usará este método para conectarse al tracker. Si nuestro tracker está conectado al mismo Wifi que la aplicación de SlimeVR del ordenador, nos aparecerá el tracker para poder conectarnos.



Asignamos la parte del cuerpo de la cual queremos hacer el seguimiento, en este caso, nuestra muñeca izquierda.



Y ya tendríamos nuestro tracker con el software de SlimeVR configurado.



## 9. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Este apartado se dividirá en tres subapartados distintos. Por un lado, se analizará la capacidad de los servos y su mecanismo asociado mediante un sensor de presión. Por otro lado, se analizarán los problemas obtenidos con el desarrollo del tracker y sus posibles soluciones. Por último, se expondrá la planificación temporal del proyecto y las modificaciones que se han ido produciendo.

### 9.1. SENSOR DE PRESIÓN

Una vez que el guante funciona correctamente, vamos a comprobar cuál es la capacidad que tienen los servos de poder transmitir la sensación de fuerza a los dedos o lo que es lo mismo, la fuerza que puede resistir el servomotor sin que ceda. Para hacer esto, utilizaremos un sensor de presión de lámina fina y de un tamaño reducido, el cual conectaremos a un microprocesador que enviará los datos al ordenador.

Un sensor de presión es una resistencia que varía en función de la presión que se le ejerce en la zona de detección. Cuanta más presión se aplica, menor es la resistencia. En nuestro caso, nuestro sensor tiene un rango de resistencia desde 10Mohms hasta 200ohms y puede detectar una fuerza desde 5kg hasta 100g.

Un sensor de fuerza resistivo se compone de dos membranas y un adhesivo espaciador, las membranas conductoras están separadas por un pequeño espacio de aire cuando no se ejerce presión. Una de las membranas posee dos trazas que se extienden desde la base hasta la zona de detección y estas trazas están entrelazadas, pero no llegan a tocarse. La otra membrana está recubierta con una tinta conductora. Al aplicar presión sobre el sensor, la tinta conecta las dos trazas, creando un cortocircuito con una resistencia que varía según la cantidad de presión ejercida.

Para medir la fuerza aplicada en el sensor necesitaremos montar un circuito divisor de tensión con el sensor de presión y una resistencia adicional. Este circuito creará una salida de tensión variable que leeremos mediante una entrada analógica de nuestro microcontrolador

Colocaremos el sensor en la yema de un dedo, lo haremos con cada uno de los dedos, y bloqueando el servo motor en una posición fija aplicaremos fuerza con nuestro dedo.

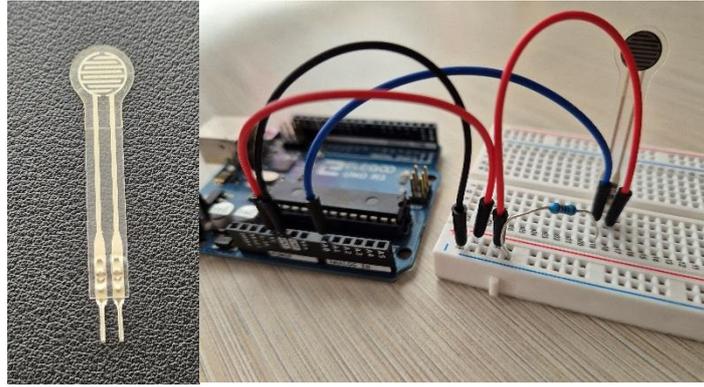


FIGURA 42: A) SENSOR DE PRESIÓN B) CIRCUITO MEDIDOR DE PRESIÓN

El programa que hemos implementado en nuestro microcontrolador nos dará valores que irán desde 0 hasta 1024. Sabiendo que las entradas analógicas del controlador admiten valores de 0 a 5V y ayudándonos de la siguiente gráfica proporcionada por el fabricante que hemos obtenido de su datasheet, obtendremos el valor de la fuerza ejercida en el sensor. Como la resistencia que hemos utilizado en el divisor de tensión es de 10kohms, tomaremos como referencia la curva violeta.

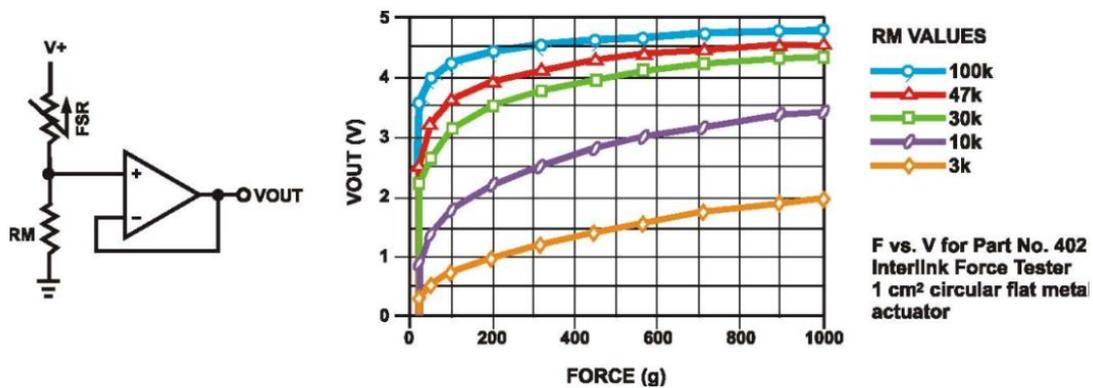


FIGURA 43: CALCULO DE LA FUERZA A PARTIR DE VOUT

Dedo	Rango 10 bits	Voltios	Fuerza (g)
Pulgar	590	2,88	490
Índice	606	2,95	550
Corazón	576	2,81	440
Anular	584	2,85	460
Meñique	571	2,78	430



## 9.2. TRACKER

El sistema de tracking que se usa actualmente en las gafas de realidad virtual es un sistema llamado inside-out tracking o en algunos casos outside-in tracking. El inside-out tracking es un sistema de posicionamiento en el que unos sensores alojados en las gafas de la realidad virtual determinan la posición de estas basándose en los objetos del entorno. A su vez, para determinar la posición de los controladores, se utiliza el halo que tienen incorporado, que es detectado por los sensores de las gafas y así se puede determinar la posición precisa de cada uno de ellos. Por otro lado, el sistema outside-in está basado en sensores externos colocados en el entorno, normalmente en las esquinas superiores, que determinan la posición de las gafas y de los controladores.

Estos dos sistemas forman parte del denominado seguimiento óptico que es el sistema que usa sensores externos o colocados en las gafas, para determinar la posición y la orientación, en cambio el sistema que hemos usado nosotros en desarrollo de nuestro tracker es un sistema inercial, por lo que, al ser dos sistemas de seguimiento diferentes, no es posible implementar el tracker y que sea reconocido por las gafas.

Como solución a esto y para una posible futura revisión, se podría optar por una fusión de sensores. La fusión de sensores consiste en combinar datos de sensores o datos derivados de diferentes fuentes, lo que hace que la información resultante tenga menos margen de error que si estos sensores se usaran individualmente.

En este caso, la solución pasaría por combinar el seguimiento óptico y el seguimiento inercial. Por un lado, los sensores inerciales son adecuados para rastrear movimientos rápidos, aunque acumulan errores rápidamente y, por otro lado, los sensores ópticos ofrecen referencias absolutas para compensar los fallos de los sensores inerciales.

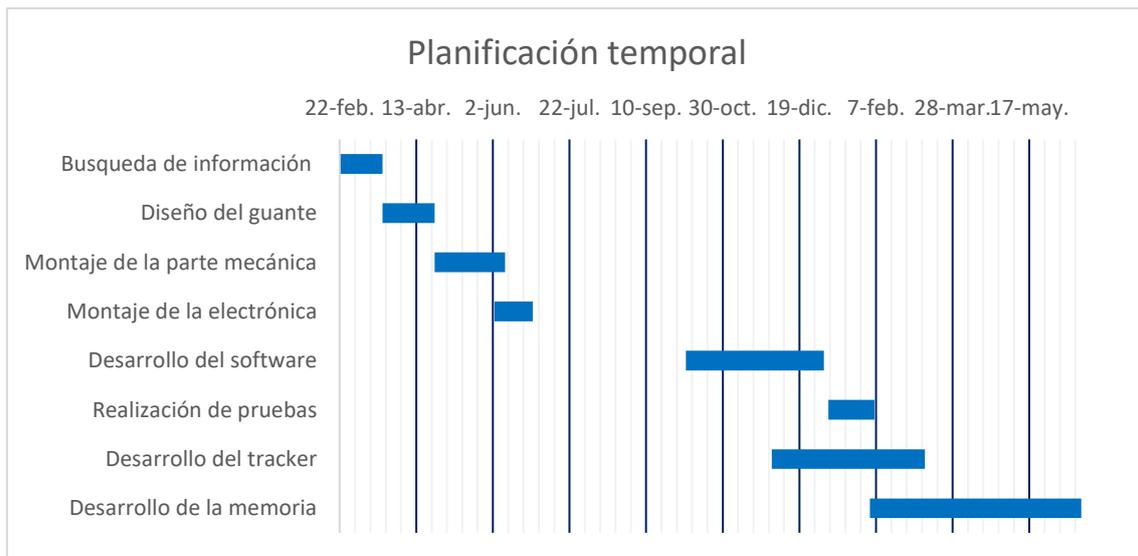
Además, el seguimiento inercial puede compensar algunas deficiencias del seguimiento óptico. Por ejemplo, el seguimiento óptico puede ser el método de seguimiento principal, pero cuando se produce una oclusión, el seguimiento inercial puede estimar la posición hasta que los objetos vuelven a ser visibles para el sensor óptico.

### 9.3. PLANIFICACIÓN TEMPORAL

La planificación temporal del trabajo ha ido sufriendo diferentes modificaciones a lo largo del tiempo. A continuación, se muestra la tabla donde aparecen los apartados principales del proyecto, su fecha de inicio aproximada, la duración que ha tenido y su fecha de finalización.

ACTIVIDAD	FECHA INICIO	DURACIÓN	FECHA FIN
Búsqueda de información	22-feb	28	22-mar
Diseño del guante	22-mar	34	25-abr
Montaje de la parte mecánica	25-abr	46	10-jun
Montaje de la electrónica	03-jun	25	28-jun
Desarrollo del software	06-oct	90	04-ene
Realización de pruebas	07-ene	30	06-feb
Desarrollo del tracker	01-dic	100	10-mar
Desarrollo de la memoria	03-feb	138	20-jun

Con estos datos, realizamos el diagrama de Gantt:



En el diagrama de Gantt podemos observar que las tareas iniciales como son la búsqueda de información, el diseño del guante, el montaje de la parte mecánica y el montaje de la parte electrónica han tenido una duración normal y no han variado mucho respecto a las previsiones iniciales.

Por otro lado, ha habido apartados como el desarrollo de todo lo que tenía que ver con el software que se ha prolongado en el tiempo más de lo que estaba previsto debido principalmente a problemas que han ido apareciendo y a una falta de constancia en la realización. Otros apartados como el desarrollo del tracker también ha tenido más duración de la prevista ya que me ha costado mucho encontrar formas viables de realizarlo y finalmente tampoco se han podido obtener los resultados esperados.

## 10. PRESUPUESTO

En este bloque se analizará el coste que ha tenido la realización del guante, tanto de los componentes comprados como de los materiales utilizados en la impresora 3d, así como el coste hipotético de la mano de obra de un ingeniero industrial.

-Costes de las piezas:

Para fabricar este guante es necesario disponer de una impresora 3d o en su defecto, hacer uso de una. La impresora que hemos usado en este caso es una artillery genius que tiene un coste de 249,00€.

Las piezas impresas por la impresora 3d tienen un coste de 0,06€/metro.

Concepto	Coste	Cantidad	Coste total
Soporte motor paso a paso	0,20 €	5	1 €
Guías	0,01 €	10	0,10 €
Dedal	0,05 €	5	0,25 €
Plataforma dedal	0,03 €	5	0,15 €
Piezas que cubren el potenciómetro	0,13 €	5	0,65 €
ESP32	11,49 €	1	11,49 €
Protoboard	7,29 €	1	7,29 €
Servo Motor MG90S	4 €	5	20 €
Potenciómetros 10k	1,19 €	5	5,95 €
Kit cables	20 €	1	20 €
Soporte protoboard	0,40 €	1	0,40 €
Guante	5,57	1	5,57 €
TOTAL			72,85 €

-Costes de mano de obra:

En este apartado se ha tenido en cuenta el número de horas aproximadamente trabajadas en la realización del trabajo. Empezamos a trabajar en el proyecto a finales de febrero de 2023 y se ha finalizado en mayo de 2024.

No se ha llevado un seguimiento detallado de las horas dedicadas en el proyecto, pero basándonos en el diagrama de Gantt del apartado anterior y teniendo en cuenta que ha habido meses con mayor dedicación y algunos meses con poca o ninguna dedicación, podemos estimar que se han invertido aproximadamente unas 300 horas en la realización del mismo.

En España, un ingeniero industrial sin apenas experiencia gana de media unos 11,54 € por hora. Por lo que, si hacemos cálculos:

Horas trabajadas	Sueldo por hora	Coste total
300	11,54 €	3.462 €

Por lo que sumando el coste de los componentes y el coste aproximado de la mano de obra obtenemos un coste total de 3.534,85 €

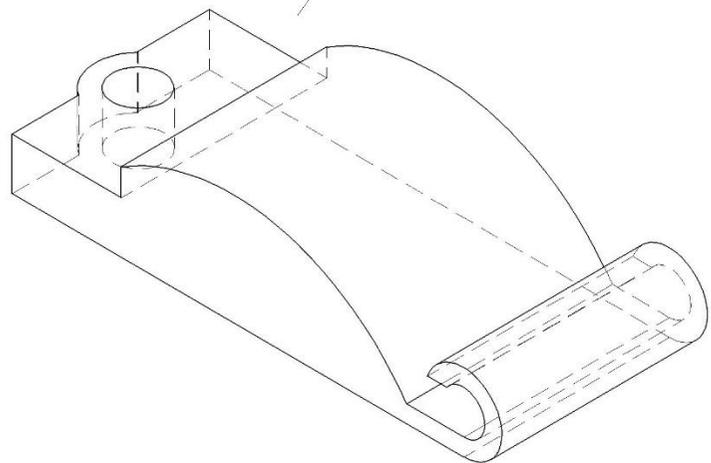
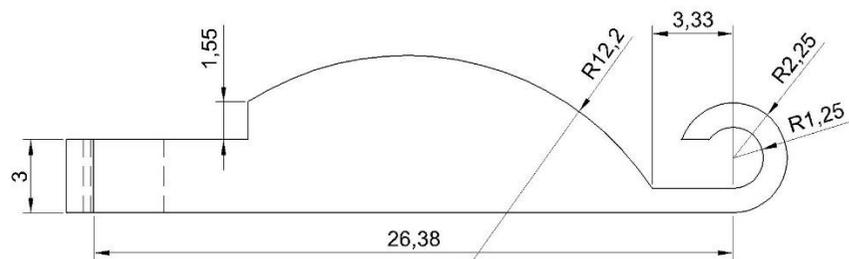
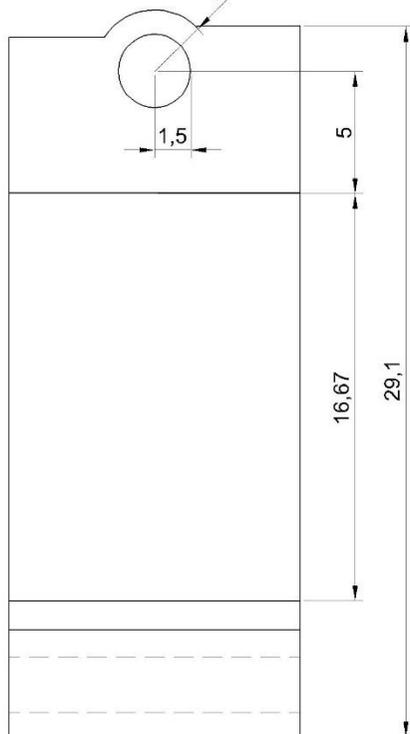
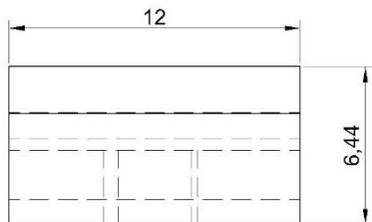
## 11. BIBLIOGRAFÍA

1. <http://mundo-virtual.com/que-es-la-realidad-virtual/> 10/04/2023
2. <https://computerhoy.com/tecnologia/tecnologia-haptica-cuales-son-usos-1154055> 10/04/2023
3. Tactile Feedback at the Finger Tips for Improved Direct Interaction in Immersive Environments, Robert Scheibe 12/04/2023
4. <https://elchapuzasinformatico.com/2022/10/guantes-hapticos-gafas-vr/> 04/05/2023
5. <https://resources.altium.com/es/p/top-microcontrollers-embedded-systems> 08/05/2023
6. <https://www.electronicwings.com/esp32/adxl345-accelerometer-interfacing-with-esp32> 18/07/2023
7. <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v18n6/0124-0064-rsap-18-06-00935.pdf> 16/09/2023 21/10/2023
8. <https://www.makerguides.com/es/fsr-arduino-tutorial/> 08/02/2024
9. [https://naylorlampmechatronics.com/blog/45\\_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-girosopio.html](https://naylorlampmechatronics.com/blog/45_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-girosopio.html) 15/04/2024
10. [https://xinreality.com/wiki/Inside-out\\_tracking](https://xinreality.com/wiki/Inside-out_tracking) 14/06/2024
11. [https://en.wikipedia.org/wiki/Pose\\_tracking](https://en.wikipedia.org/wiki/Pose_tracking) 15/06/2024

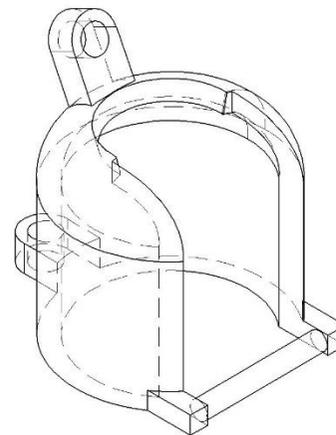
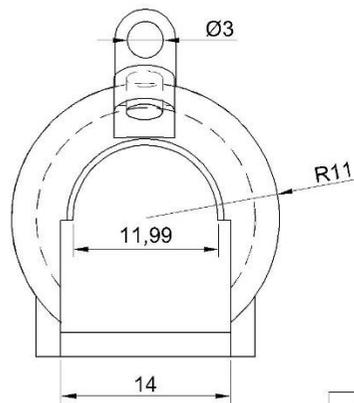
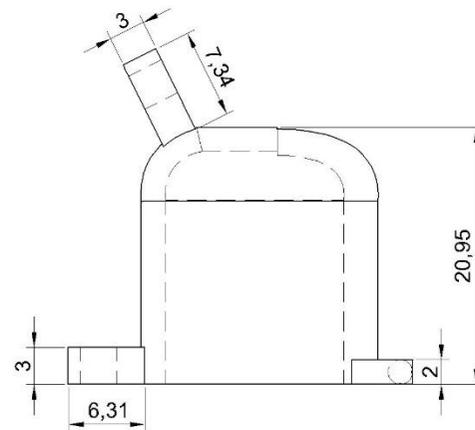
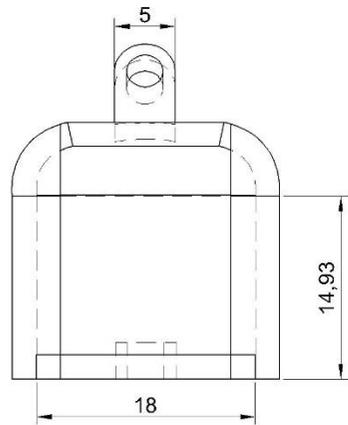
## 12. ANEXO

A continuación, se adjuntan los planos de las piezas diseñadas en este proyecto, con AutoCAD 2023

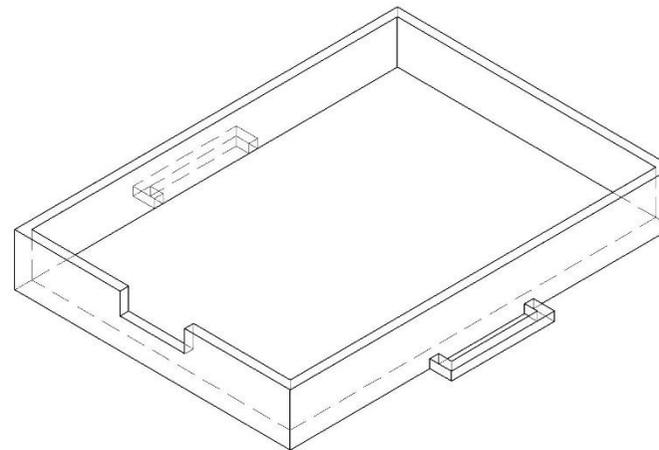
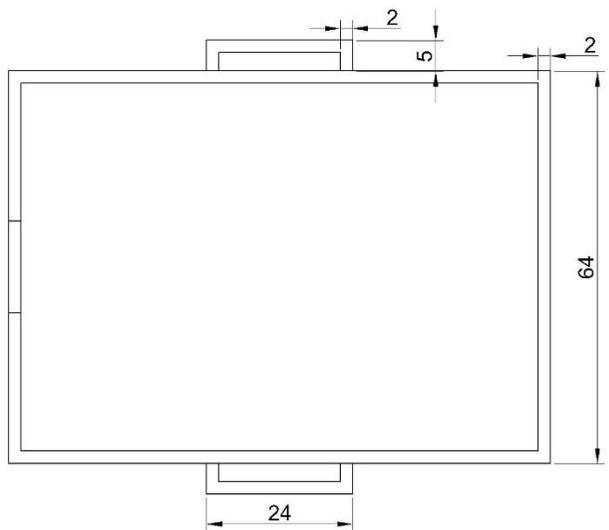
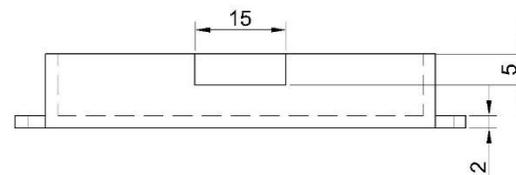
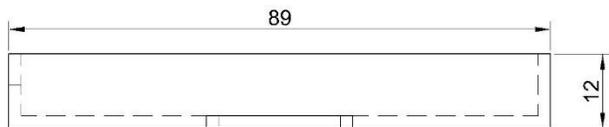
- Plano 1: Plataforma del dedal
- Plano 2: Dedal
- Plano 3: Soporte del microcontrolador
- Plano 4: Guía de los hilos



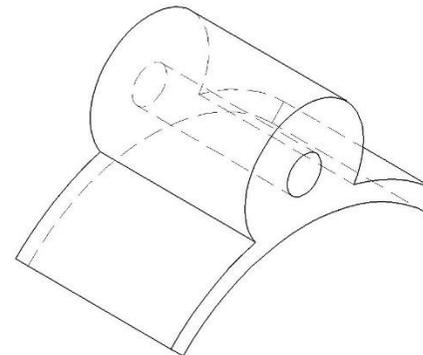
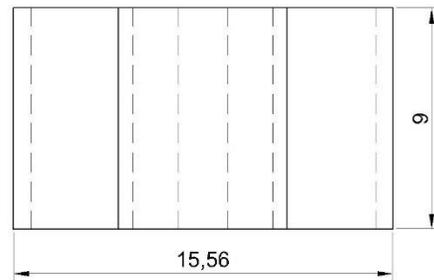
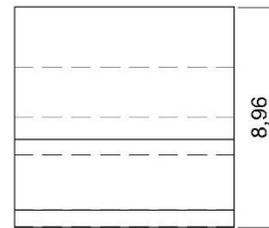
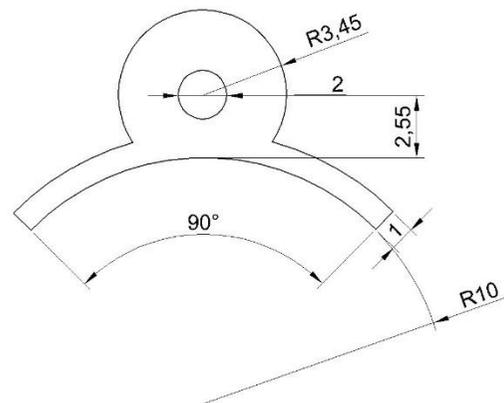
UNIDADES mm.	DIBUJADO	Mario Novials Ferrer	Plataforma dedal
	REVISADO		
ESCALA	FECHA	24/04/2024	Nº DE PLANO
4:1	PROYECTO	<b>GUANTE HÁPTICO</b>	<b>1/4</b>



UNIDADES	DIBUJADO	Mario Novials Ferrer	Dedal
	REVISADO		
mm.	FECHA	24/04/2024	
ESCALA	PROYECTO	<b>GUANTE HÁPTICO</b>	
2:1			
			<b>2/4</b>



UNIDADES mm.	DIBUJADO	Mario Novials Ferrer	Soporte Microcontrolador
	REVISADO		
ESCALA	FECHA	24/04/2024	Nº DE PLANO <b>3/4</b>
1:1	PROYECTO	<b>GUANTE HÁPTICO</b>	



UNIDADES mm.	DIBUJADO	Mario Novials Ferrer	Guía Hilos
	REVISADO		
ESCALA	FECHA	24/04/2024	N° DE PLANO 4/4
4:1	PROYECTO	<b>GUANTE HÁPTICO</b>	