

CONSTRUCCIÓN DE UNA MANO ROBÓTICA CONTROLADA POR UN SISTEMA DE  
SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS

JOHN ANDERSON CORTES RUIZ

DANIEL RESTREPO VANEGAS

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TECNOLOGÍA MECATRÓNICA

MEDELLÍN

2015

CONSTRUCCIÓN DE UNA MANO ROBÓTICA CONTROLADA POR UN SISTEMA DE  
SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS

JOHN ANDERSON CORTES RUIZ

DANIEL RESTREPO VANEGAS

Trabajo de grado para optar al título de tecnólogo en mecatrónica

Asesor

Carlos Alberto valencia

Ingeniero en instrumentación y control

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TECNOLOGÍA MECATRÓNICA

MEDELLÍN

2015

## Contenido

	pág.
Introducción.....	10
1. Planteamiento del problema .....	11
1.1 Descripción.....	11
1.2 Formulación .....	11
2. Justificación.....	12
3. Objetivos .....	13
3.1 Objetivo general.....	13
3.2 Objetivos específicos.....	13
4. Marco teórico.....	14
4.1 Robótica .....	14
4.1.1 Tipos de robótica .....	14
4.2 Mano humana.....	17
4.2.1 Anatomía de la mano.....	17
4.3 Servomotor .....	20
4.3.1 Componentes del servomotor .....	21
4.3.2 Funcionamiento del servomotor con el pwm .....	21
4.4 Señales electromiográficas .....	23
4.5 Arduino .....	24
5. Metodología.....	28
5.1 Tipo de proyecto .....	28
5.2 Método .....	28
5.3 Instrumentos de recolección de información.....	28
5.3.1 fuentes primarias.....	28
5.3.2 fuentes secundarias.....	28
6. Diseño a través de un software CAD la estructura de la mano robótica.....	29

7. Programación de los elementos electrónicos que definen el funcionamiento de la mano. ....	35
8. sistemas electrónicos de adquisición de datos y control.....	39
9. Probar el prototipo bajo condiciones controladas. ....	43
10. Conclusiones .....	44
11. Recomendaciones .....	45
12. Referencias bibliográficas .....	46
11. Anexos.....	48

## Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Brazo manipulador .....	16
Figura 2. Sistema óseo de la mano humana .....	18
Figura 3. Sistema muscular de la mano human .....	19
Figura 4. Componentes internos del servomotor .....	21
Figura 5. Pulsos PWN.....	22
Figura 6. Conexión del servomotor.....	23
Figura 7. arduino uno R3 .....	25
Figura 8. arduino Leonardo.....	26
Figura 9. arduino Ethernet .....	26
Figura 10. arduino nano .....	27
Figura 11. Biela motriz .....	29
Figura 12. Biela conducida .....	30
Figura 13. Muñeca .....	30
Figura 14. Acople macho .....	31
Figura 15. radio-cúbito.....	31
Figura 16. Falange distal.....	32
Figura 17. Falange intermedia .....	32
Figura 18. Falange proximal .....	33
Figura 19. Dedo pulgar .....	33
Figura 20. Mano.....	34
Figura 21. Configuración de los pines .....	35
Figura 22. Servomotor mg 90S.....	37
Figura 23. Servomotor mg995 .....	38
Figura 24 sensor muscular v3 .....	39
Figura 25. Configuración de pines del sensor muscular .....	40
Figura 26. Conexión sensor y arduino .....	41
Figura 27. Planos eléctricos del sensor .....	42
Figura 28. Conexión electrodos bicep y tríceps .....	43
Figura 29. Sistema funcionamiento de la mano robótica.....	43

## Lista de anexos

	Pág.
Anexo 1.....	48
Anexo 2.....	48
Anexo 3.....	49
Anexo 4.....	49
Anexo 5.....	50
Anexo 6.....	50
Anexo 7.....	51
Anexo 8.....	51
Anexo 9.....	52
Anexo 10.....	52

## Resumen

# CONSTRUCCIÓN DE UNA MANO ROBÓTICA CONTROLADA POR UN SISTEMA DE SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS

**JOHN ANDERSON CORTES RUIZ**

**DANIEL RESTREPO VANEGAS**

La robótica es un área multidisciplinaria que aborda el análisis, desarrollo de robots y sus potenciales aplicaciones, hoy en día en el sector de la salud el empleo de robot en aplicaciones de fisioterapia asistida y diseño de prótesis es uno de los escenarios donde se ha ganado terreno y popularidad.

A pesar de que el ser humano ha dado grandes saltos en el área de la salud, cada uno de nosotros somos propensos a accidentes laborales u otro tipo de accidentes que comprometen y afectan nuestra integridad física, por otro lado podemos ser víctimas de enfermedades genéticas o congénitas, las cuales nos definen como una persona discapacitada. Así que, para contrarrestar estos males físicos, la tecnología mejoró y relaciono la interfaz hombre máquina integrando dispositivos electrónicos con sistemas mecánicos para garantizar una mejor calidad de vida en las personas afectadas.

Los avances más prometedores en esta delicada relación entre la tecnología y la salud se ha dado en el área de prótesis robóticas, donde este dispositivo artificial está dotado de cierta autonomía e inteligencia, capaz de realizar una función de una parte faltante del cuerpo, dicha autonomía e inteligencia se logra al integrar sensores, controladores y actuadores, vale aclarar que estos mecanismos no cumplen en un cien por ciento la funcionalidad de la extremidad afectada.

*Palabras claves:* discapacidad, mano, robótica, interfaz, señales electromiográficas

## **Abstract**

### **CONSTRUCTION OF A CONTROLLED ROBOTIC HAND SIGNAL SYSTEM ELECTROMYOGRAPHIC**

**JOHN ANDERSON CORTES RUIZ**

**DANIEL RESTREPO VANEGAS**

Robotics is a multidisciplinary area that deals with the analysis, development of robots and their potential applications, today in the health sector employment applications of robot-assisted physiotherapy and prosthetic design is one of the scenarios that have won ground and popularity.

Although humans have taken great leaps in the area of health, each of us are prone to accidents or other accidents that comprise and affect our physical integrity, on the other hand can be victims of genetic diseases or congenital, which define us as a disabled person. So, to counteract these physical ailments, improved technology and relate the human-machine interface integrating electronics with mechanical systems to ensure a better quality of life for those affected.

The most promising developments in this delicate relationship between technology and health has been in the area of robotic prostheses, where this artificial device is provided with some autonomy and intelligence, capable of performing a function of a missing body part, such autonomy and intelligence is achieved by integrating sensors, controllers and actuators, it is clear that these mechanisms do not meet one hundred percent functionality of the affected limb.

**Keywords:** disability, hand, robotics, interface, electromyographic, signals

## Glosario

**Electromiografía:** es el estudio de los potenciales eléctricos generados por los músculos durante su relajación y contracción.

**Electrónica:** es la rama de la física que estudia y se basa en la conducción y el control del flujo de electrones en los circuitos y dispositivos eléctricos.

**Interfaz:** es una conexión e interacción entre hardware, software, y usuario que permite enviar y recibir señales desde un componente a otro.

**Mecatrónica:** es la disciplina que integra los sistemas mecánicos, eléctricos y de software para fabricar dispositivos, máquinas o sistemas que actúan automáticamente.

**Robótica:** es una rama de la tecnología la cual se basa en el estudio del diseño y construcción de máquinas llamadas robots, los cuales pueden desempeñar actividades que realizan los seres humanos.

**Prensil:** en el ser humano, es la posición de que tenemos de la mano cuando la está cerrada, de esta manera podemos cumplir la función de agarrar o sujetar.

## **Introducción**

Con el presente documento se menciona el proceso para la construcción de una mano robótica, se hace con el objetivo de solucionar en un 50% las limitaciones de las funciones básicas que realiza esta extremidad en la vida cotidiana del ser humano que presentan este tipo de discapacidad.

Este prototipo contempla una serie de sistemas de servomotores controlados por un arduino nano que a su vez reciben los impulsos de un modelo de adquisición de señales electromiográficas.

Además se utiliza un software para diseñar el prototipo de la mano con materiales livianos y funcionales que mejora las capacidades de la mano robótica.

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1 Descripción**

En Colombia hay 381.724 personas que poseen discapacidad de muñeca por nacimiento o amputación de la mano y para estas personas es difícil tener acceso a la compra de una prótesis, por el elevado costo que tiene por fuera del país, así que, para enfrentar esta problemática se ha desarrollado una prótesis estética y funcional fabricada en Colombia con un costo asequible, pensando en la posición económica de las personas discapacitadas, esta prótesis robótica tiene la capacidad de que el usuario pueda relacionarse con su entorno e interactuar con actividades como: alcanzar, girar, sostener y llevar objetos de poco peso.

(Dane, 2015)

### **1.2 Formulación**

¿Es posible realizar una prótesis de la mano robótica económica con la implementación de hardware libre?

## 2. Justificación

Según las estadísticas del DANE en el censo general del 2005 estima que en Colombia hay aproximadamente 381.724 personas que sufren de alguna discapacidad permanente en los miembros superiores por lo tanto el 14.77 % de la población presenta limitaciones para usar brazos y manos.

Debido a los altos costos en el mercado de este tipo de prótesis robótica, esta población en general no posee los recursos económicos para adquirir este tipo de producto ya que tiene un costo aproximado entre 2.000 dólares (6.139.400 en pesos colombianos) hasta los 100.000 dólares (306.970.000 en pesos colombianos), para enfrentar este problema se ha desarrollado una prótesis estética y funcional fabricada en Colombia con un costo aproximado de 1.000.000, esta prótesis robótica utiliza las señales electromiográficas que son adquiridas de los músculos residuales de la extremidad adaptadas a un sistema de control eléctrico la cual está soportado en una estructura mecánica de aluminio y un polímero.

La prótesis robótica suplirá las necesidades de las personas discapacitadas de una manera más económica, además el usuario tendrá acceso a los repuestos de forma rápida y de fácil sustitución. Otro aspecto a tener en cuenta es que el amputado podrá interactuar con los parámetros de configuración para personalizar el funcionamiento del brazo y ajustarse a las necesidades específicas.

la relación hombre –máquina tendrá un vínculo más estrecho ya que se dará la posibilidad de la reconstrucción de extremidades del cuerpo superiores que se pueden perder por accidentes laborales, accidentes de tránsito, problemas genéticos o conflictos armados, y estos acontecimientos no tendrán tanta secuelas en la vida de las personas que sean afectadas, no quiere decir que se dará solución completa a las distintas discapacidades, pero si se mejora la calidad de vida de las personas que tengan este tipo de discapacidad.

Este proyecto también podrá ser utilizado como ayuda didáctica para los estudiantes de la asignatura de mecatrónica para profundizar y promover las investigaciones científicas en el área de la salud y la robótica.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Construir una mano robótica controlada por un sistema de señales electromiográficas

#### **3.2 Objetivos específicos**

Diseñar a través del software CAD la estructura de la mano robótica.

Programar los elementos electrónicos para definir el funcionamiento de la mano.

Implementar los sistemas eléctricos de adquisición de datos.

Probar el prototipo bajo condiciones controladas.

## 4. Marco teórico

### 4.1 Robótica

La robótica es una ciencia o rama de la tecnología, que estudia el diseño y construcción de máquinas capaces de desempeñar tareas realizadas por el ser humano o que requieren el uso de inteligencia; conjugando múltiples disciplinas, como la mecánica, la electrónica, la informática, la inteligencia artificial y la ingeniería de control.

De forma general, la robótica se define como: el conjunto de conocimientos teóricos y prácticos que permiten concebir, realizar y automatizar sistemas basados en estructuras mecánicas poli articuladas, dotados de un determinado grado de inteligencia y destinados a la producción industrial o para la sustitución del hombre en muy diversas tareas.

La robótica tiene como fin diseñar máquinas automáticas o autónomas que poseen cierto grado de inteligencia, capaz de percibir su entorno y de imitar determinados comportamientos del ser humano, la robótica está basada en la implementación de los robots las cuales son máquinas programables que pueden manipular objetos y realizar operaciones complejas, también se utilizan para desempeñar labores riesgosas o que requieran de una fuerza, velocidad o precisión que está fuera de nuestro alcance.

#### 4.1.1 Tipos de robótica

Poliarticulada: en este grupo se encuentran los robots de muy diversas formas y configuración, cuya aplicación es sedentaria y solo están diseñados para mover elementos terminales en determinados espacios de trabajo.

**Móviles:** en este grupo se encuentran los robots con grandes capacidades de desplazamiento, fabricados sobre plataformas o carros, y compuestos por un sistema locomotor de tipo rodante, el cual facilita y antepone al robot en diferentes espacios de trabajo cumpliendo órdenes específicas.

**Androides:** en este grupo se encuentran los robots que intentan imitar y reproducir total o parcialmente el comportamiento cinemático del ser humano, aunque son dispositivos muy poco evolucionados y sin utilidad práctica en la humanidad, hoy en día solo son aplicados a la experimentación científica.

**Zoomórficos:** en este grupo se encuentran los robots que cuentan con una característica principal como lo es la locomoción, la cual se basa en imitar los diferentes movimientos de todo ser vivo cumpliendo así una orden programada.

**Híbridos:** en este grupo se encuentran los robots de difícil clasificación, ya que cuya estructura y tecnología es una combinación de poliarticulados y móviles, son utilizados en la industria para responder a todo tipo de labor según sea la necesidad, también son conocidos como: **Conjunción** (combinación de articulados y móviles), **yuxtaposición** (combinación de carros móviles y brazos de robots industriales).

En la construcción de la mano robótica nos enfocamos con base a la robótica poliarticulada con el fin de mejorar la independencia personal del ser humano, porque con esta tecnología podemos suplir algunos movimientos que se han perdido en las extremidades inferiores de una persona dados por amputación, accidente o malformación, ya que esta robótica cuenta con una fácil configuración y aplicación en diversos campos de interacción, y está diseñada para mover elementos pequeños en espacios determinados.

También la podemos implementar y ejecutar en el área de la biomédica, la cual está fundamentada como un sistema maestro-esclavo y basada en la lógica difusa, que permite realizar diseños innovadores y prácticos para auxiliar a los médicos en el desarrollo de nuevos tratamientos quirúrgicos.

(Robotica, 2015)

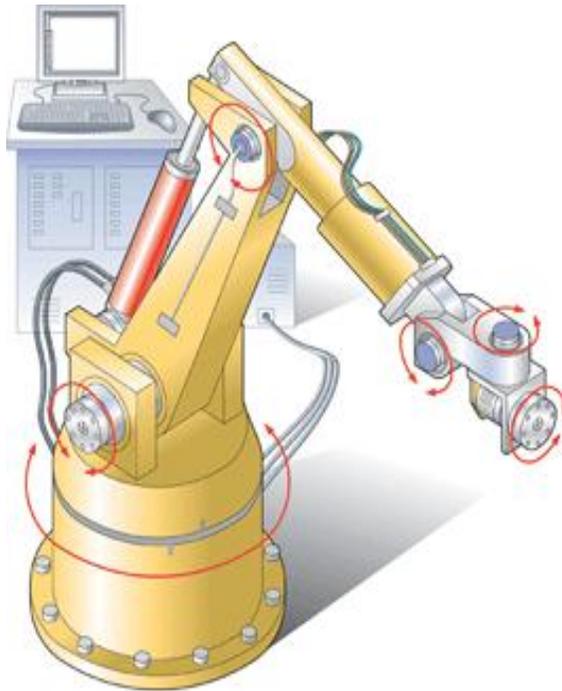


Figura 1. Brazo manipulador

Fuente: (Robótica, 2015)

## **4.2 Mano humana**

La mano humana es una parte del cuerpo complejo. Es un apéndice de múltiples dedos y prensil que está conectada a cada antebrazo las cuales funcionan como órganos diseñados para la manipulación física del entorno físico que la rodea.

La mano se compone de dedos, cuyas puntas están entre las áreas más densas nerviosas en el sistema del cuerpo humano, nuestros dedos nos permiten percibir y recibir constante retroalimentación táctil a través del sentido del tacto.

### **4.2.1 Anatomía de la mano**

La mano humana es caracterizada con los pulgares oponibles, una amplia palma o metacarpo, cuatro dedos ubicados al final de la palma y un antebrazo que está unido con la palma de la mano a través de una muñeca o carpo; los dedos de cada mano pueden ser doblados sobre la palma y esta característica le permite al hombre agarrar objetos y manipularlos.

Los dedos son identificados como el dedo índice, dedo medio, dedo anular, dedo meñique y el dedo pulgar. Este último está conectado al trapecio y puede girar noventa grados, perpendicular a la palma, mientras que los otros sólo alcanzan un ángulo de cuarenta y cinco grados.

#### **4.2.1.1 Sistema óseo**

La mano humana posee 27 huesos. De estos, 8 son del carpo, 5 son de la palma y los otros 14 huesos están presentes en los dedos hay pequeños huesos sesamoideos en los tendones que ayudan a proporcionar mayor apalancamiento.

Los 14 huesos se llaman falanges, estos se distribuyen de 2 en cada pulgar y 3 en cada uno de los dedos restantes, los huesos de los dedos están medicamente conocidos como falange

distal, falange media y la falange proximal. En la muñeca los 8 huesos están dispuestos en dos filas, cuatro en cada fila y estos se sientan dentro de una toma que está formada por los huesos del antebrazo. Los 5 huesos metacarpianos o de la palma tienen una cabeza y el cuerpo cada uno.

(Bienestar, 2015)

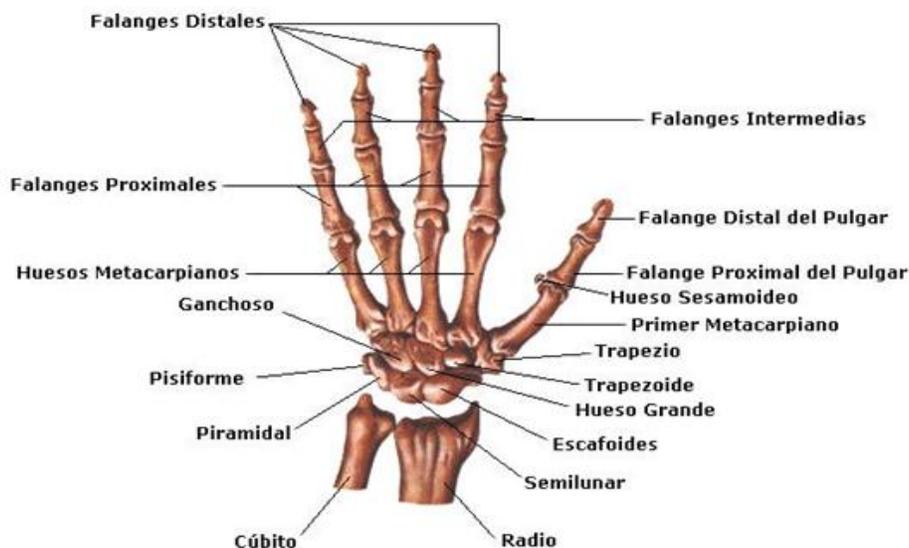


Figura 2. Sistema óseo de la mano humana

Fuente:(Ortodoncia.ws, 2015)

Utilizamos el sistema óseo para el diseño y la construcción de cada dedo y está conformada en el dedo pulgar con el primer metacarpiano, la falange proximal y la falange distal, en la parte del primer metacarpiano tiene un movimiento de noventa grados que permite la facilidad para abrir, cerrar la mano y coger algunos tipos de objetos; los otros cuatro dedos que son el índice, medio, anular, meñique, están conformados por las falanges proximales, las falanges intermedias y las falanges distales.

Para la palma de la mano no se tienen en cuenta los huesos que la conforman ya que es rígida y no presenta articulaciones, esta zona está dispuesta para alojar los servomotores, que permiten el movimiento de los dedos.

La construcción de la mano se define con todas estas características para que el movimiento de cada dedo sea armónico y cumplan con las funciones requeridas.

#### 4.2.1.2 Músculos de la mano

Los músculos de la mano, se dividen en dos regiones, está la región palmar (anterior) y la región dorsal (posterior). la región palmar, a su vez, está dividida en la región tenar que es la encargada de los movimientos del dedo pulgar, y la región hipotecar que es la encargada de los movimientos del dedo meñique, y un grupo medio donde se encuentran los músculos interóseos palmares las cuales aproximan los metacarpianos al eje de la mano, los interóseos dorsales que separan los metacarpianos del eje de la mano y lumbricales son los encargados de los flexores de la falange proximal y extensores de las distales de los cuatro dedos restantes.

(gary job, 2015)

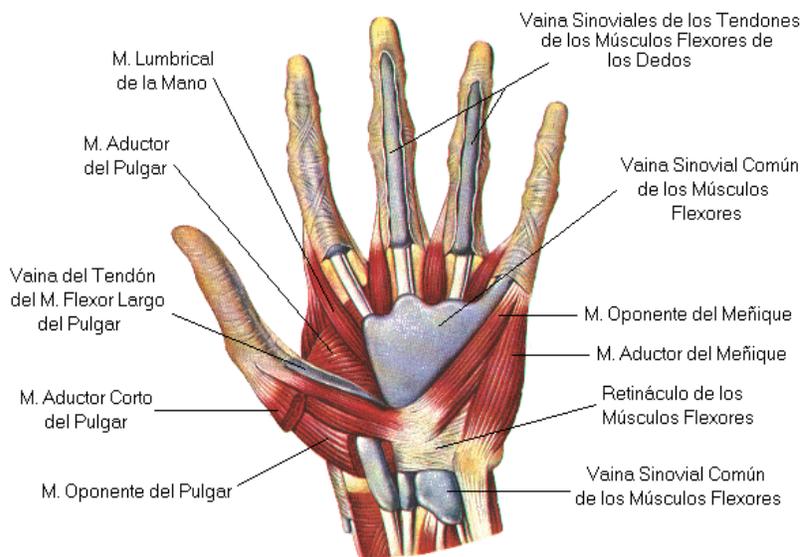


Figura 3. Sistema muscular de la mano human

Fuente: (Tabare, 2015)

Teniendo en cuenta los músculos principales y sus diferentes funciones, se remplazaron por servomotores los cuales están distribuidos de la siguiente manera, cuatro servomotores están asociadas a la flexión de los cuatro dedos, índice, anular, medio, meñique; y dos servomotores están asociados al movimiento del dedo pulgar donde uno de ellos es utilizado para la flexión del dedo, y el otro está asociado al movimiento oponente del pulgar, la transmisión del movimiento del servomotor hacia la estructura del dedo se da por medio de un eje corto para transformar el movimiento rotacional en un movimiento lineal, esta combinación de movimientos nos da como resultado una acción prensil.

### **4.3 Servomotor**

Los servos son un tipo especial de motor de corriente continua que se caracterizan por su capacidad para posicionarse de forma inmediata en cualquier posición dentro de su intervalo de operación. Para ello, el servomotor espera un tren de pulsos que se corresponde con el movimiento a realizar. Está generalmente formado por un motor, un sistema reductor formado por ruedas dentadas y un circuito de retroalimentación, todo esto incorporado en una caja de pequeñas dimensiones. La posición del servo está dada en un margen de 180° aproximadamente.

El servomotor es un dispositivo con un eje de rendimiento controlado ya que se puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Con tal de que exista una señal codificada en la línea de entrada, el servo mantendrá la posición angular del engranaje, cuando se cambia la señal codificada de entrada, la posición angular de los piñones cambia.

### 4.3.1 Componentes del servomotor

La composición interna del servomotor está dada por un motor dc, el circuito de control o tarjeta controladora, un sistema de piñones, resistencia variable que retroalimenta el circuito de control y 3 cables de conexión externa.

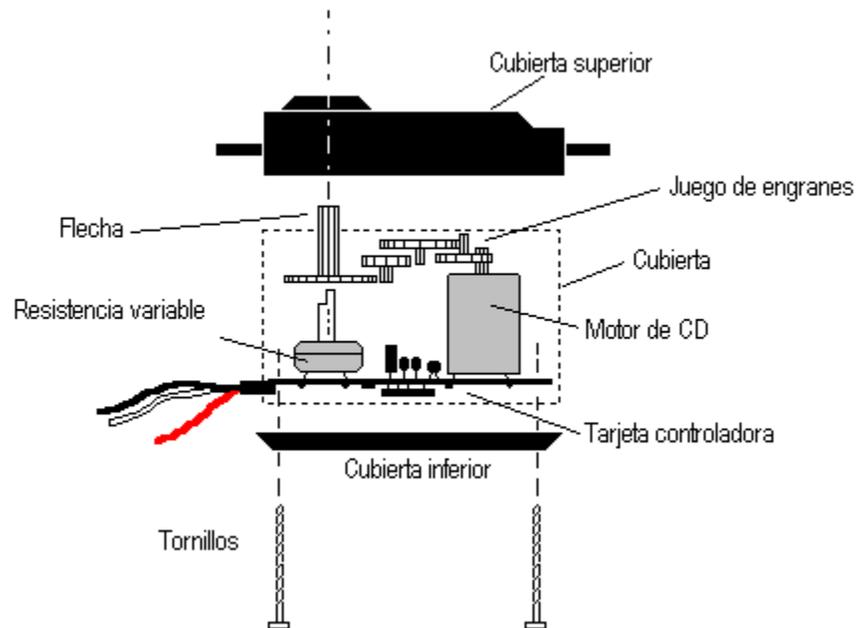


Figura 4. Componentes internos del servomotor

Fuente: (Ramirez, 2015)

### 4.3.2 Funcionamiento del servomotor con el pwm

La modulación de ancho de pulso PWM (pulse width modulation), es uno de los sistemas más empleados para el control de los servomotores, este sistema consiste en generar una onda cuadrada en la que se varía el tiempo la cual el pulso en ese instante se encuentra en nivel alto, pero manteniendo el mismo periodo, esta configuración tiene como objetivo modificar la posición del servo según lo que se desee.

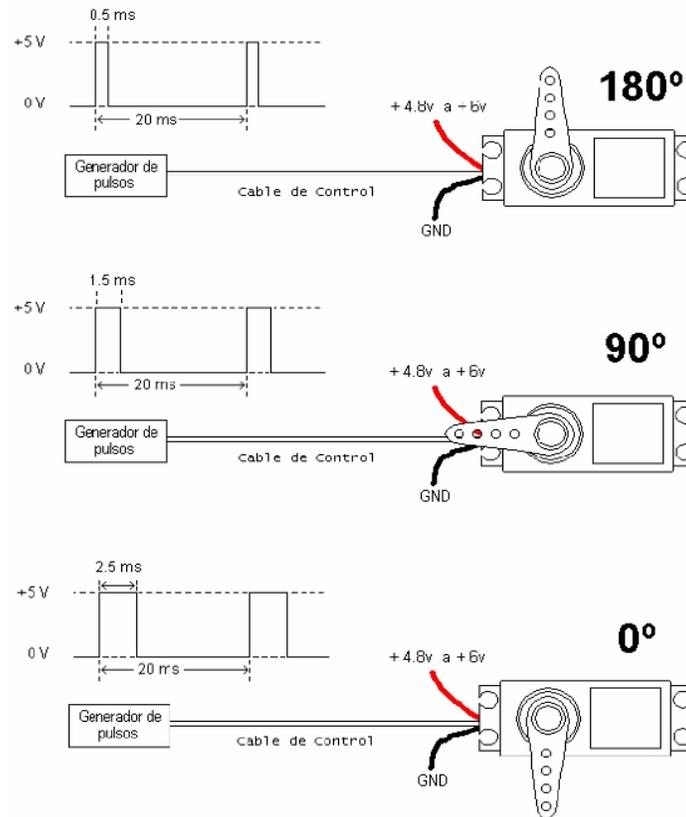


Figura 5. Pulsos PWN

Fuentes:(David, 2015)

La conexión de los servomotores es la siguiente, la línea de color naranja es la comunicación del controlador con la del servomotor, esta señal en una onda cuadrática conocida como PWM, la línea de color rojo es la alimentación del servomotor o polo positivo, la línea de color café es la que indica la diferencia de potencial denominada polo negativo.

(Servodatabase, 2015)

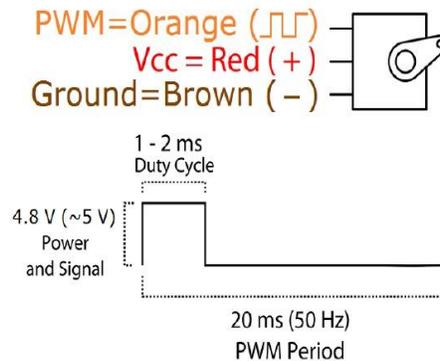


Figura 6. Conexión del servomotor

Fuentes:(Caldas, 2015)

#### 4.4 Señales electromiográficas

Estas señales son producidas por los músculos durante la contracción muscular, el sistema para la captación de estas señales se conoce como electromiografía.

Las señales son generadas por el intercambio de iones a través de las membranas de las fibras musculares debido a una contracción muscular.

La electromiografía consiste básicamente en la adquisición, registro y análisis de la actividad eléctrica generada en nervios y músculos a través de la utilización de electrodos que en este caso serán superficiales, la medición extraída proporcionan los patrones de activación muscular, la amplitud de las señales electromiográficas varía desde los  $\mu\text{V}$  hasta un bajo rango de 10Mv, esta amplitud, y las propiedades de la señal tanto en el dominio del tiempo como en la frecuencia dependen de factores como el tiempo y la intensidad de la contracción muscular, la distancia entre los electrodos y la zona de actividad muscular, las propiedades de la piel como por ejemplo el espesor de la piel o el tejido graso, las propiedades del electrodo y el amplificador y la calidad del contacto entre la piel y el electrodo son las más importantes ya que estas nos estabilizara la señal buscando maximizar la amplitud de la señal mientras se

minimiza el ruido indeseadas por el ambiente y no altere el funcionamiento del microcontrolador.

Los dispositivos de captación de estas señales poseen tres componentes fundamentales los cuales permiten su funcionamiento como:

**Transductor:** este detecta el cambio en el parámetro que está siendo medido, en este caso una señal eléctrica producida por un proceso fisiológico, la despolarización de fibras musculares previa a su contracción. Los transductores encargados de recoger esta señal biológica se llaman electrodos cuya función es convertir el flujo iónico en corriente eléctrica.

**Unidad de procesamiento:** está contiene circuitos eléctricos que amplifican, filtran y digitalizan la señal adquirida.

**Dispositivo de salida:** el dispositivo de salida en este caso serán los servomotores quienes convertirán la señal eléctrica en un movimiento mecánico.

(Dalcame, 2015)

## **4.5 Arduino**

Es una plataforma de prototipos de código abierto basado en hardware y software fácil de usar. Las placas de arduino son capaces de leer cualquier señal a través de sus pines de entrada y la convierten en controles a través de sus salidas, para ello se utilizan el lenguaje de programación de arduino (basados en wiring), y el software de arduino (IDE), basado en processing.

Arduino ha sido el cerebro de miles de proyectos, a partir de objetos cotidianos a los instrumentos científicos complejos. Una comunidad mundial de los estudiantes, aficionados,

artistas, programadores y profesionales; ha reunido alrededor de esta plataforma de código abierto, sus contribuciones han añadido hasta una cantidad increíble de conocimiento accesible que puede ser de gran ayuda para los principiantes como para expertos.

(Arduino, 2015a)

Algunas de las placas más utilizadas de arduino son las siguientes:

Arduino uno, arduino Leonardo, arduino mega, arduino Ethernet, arduino nano, las cuales varían algunas de sus características como en los pines analógicos o pines digitales y en el procesador.

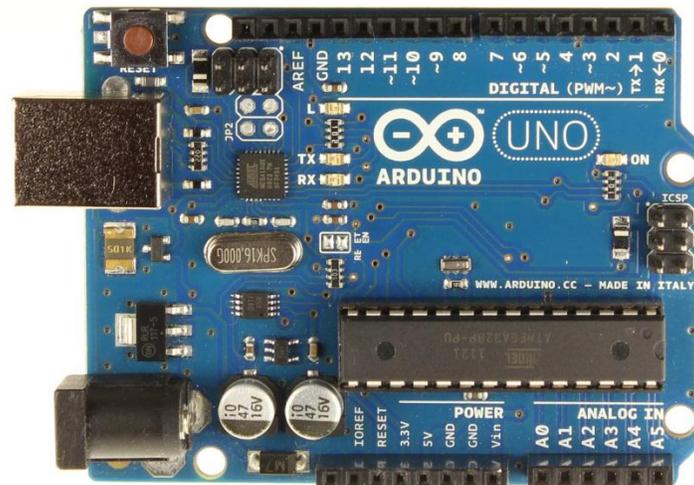


Figura 7. arduino uno R3

Fuente:(Arduino, 2015f)

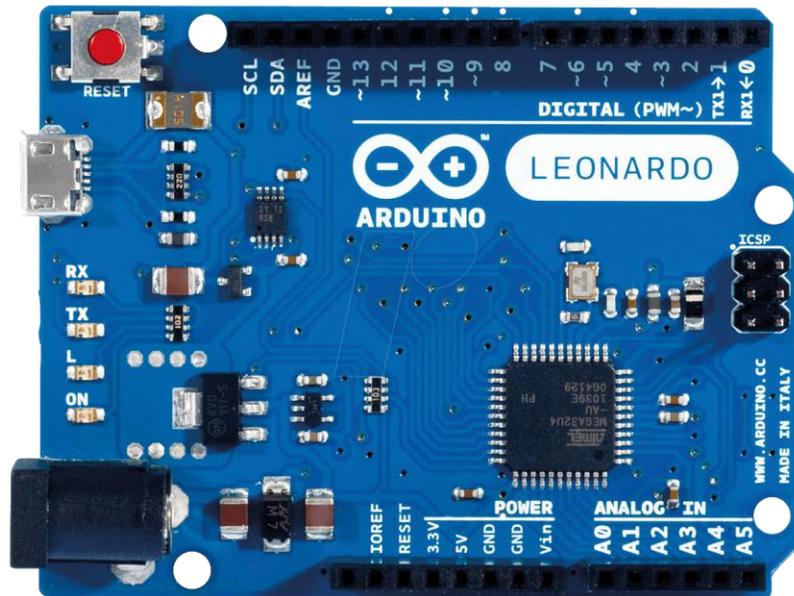


Figura 8. arduino Leonardo

Fuente:(Arduino, 2015c)

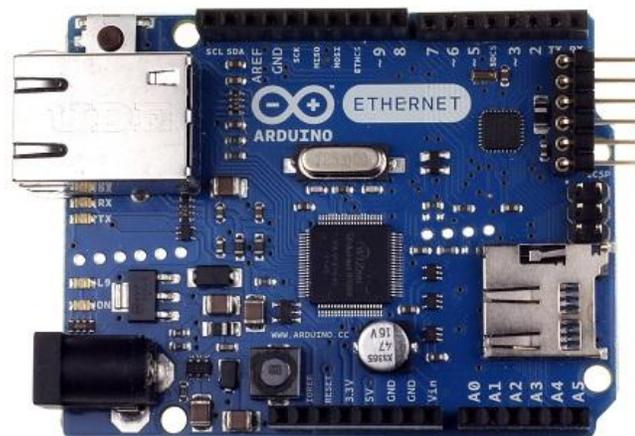


Figura 9. arduino Ethernet

Fuente:(Arduino, 2015b)



Figura 10. arduino nano

Fuente:(Arduino, 2015d)

## 5. Metodología

### 5.1 Tipo de proyecto

Construcción de una mano robótica controlada por un sistema de señales electromiográficas; que permita realizar funciones básicas que hace la mano humana.

### 5.2 Método

Observación, comparación y modelación:

Observación para percibir el funcionamiento de la mano humana.

Comparación, se establecerá la similitudes o diferencias entre la mano humana y la mano robótica.

Modelación, elaborar objetos simulados asemejándose a la realidad para dar resultados a una buena funcionalidad de la mano robótica.

### 5.3 Instrumentos de recolección de información

**5.3.1 fuentes primarias.** Observación directa del objeto de estudio para establecer una relación que permita visualizar las propiedades y cualidades del mismo.

Se realizará una entrevista para recabar información verbal a través de preguntas referentes a

**5.3.2 fuentes secundarias.** se extrae información de revistas científicas y de documentos oficiales de instituciones públicas y páginas de internet referentes al estudio del funcionamiento de la mano humana, sistemas de adquisición de señales e información de los elementos implementados en la construcción de la mano.

## 6. Diseño a través de un software CAD la estructura de la mano robótica.

A través del software de CAD inventor y sus herramientas profesionales se realizó el diseño mecánico que define la estructura de la mano robótica, este software permitió modificar y simular el movimiento que define la funcionalidad de la mano, además se seleccionó los elementos que se utilizaron para la construcción de la mano robótica la cual para los dedos, que los componen las estructuras de las falanges proximales, falanges intermedias y falanges distales, fue utilizado el aluminio natural por sus características como baja densidad mecánica, es liviano y su fácil manipulación para estas piezas complejas.

Para la estructura que simula la palma de la mano se utilizó el nailon el cual es un polímero artificial y pertenece al grupo de las poliamidas ya que es altamente resistente y liviano que permite reducir el peso al servomotor de la muñeca.

La construcción de la mano está conformada por las siguientes piezas y están definidas las principales funciones de cada una de ellas.

Biela motriz: esta va en la mitad de la estructura del dedo y permite transmitir el movimiento entre la falange proximal y la falange intermedia.

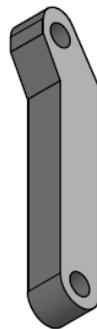


Figura 11. Biela motriz

Biela conducida: esta va en la mitad de la estructura del dedo y permite transmitir el movimiento de la falange intermedia a la falange distal.



Figura 12. Biela conducida

Muñeca: esta pieza permite realizar la misma función rotacional que realiza la mano humana y es el acople entre la palma de la mano y el acople macho.

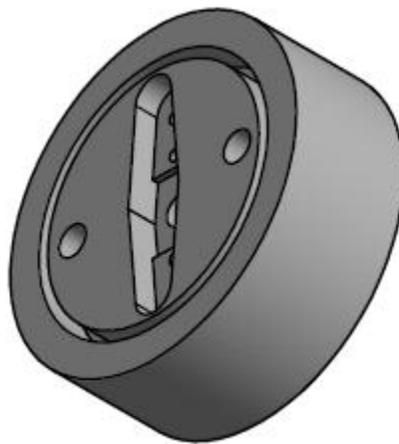


Figura 13. Muñeca

Acople macho: esta pieza soporta el peso de la mano en sentido rotacional, y une la muñeca con el cúbito de la mano robótica.



Figura 14. Acople macho

Radio: esta pieza permite alojar el servomotor que le da el funcionamiento a la muñeca y es la unión entre la estructura completa de la mano con la estructura de polipropileno donde se acopla el muñón.

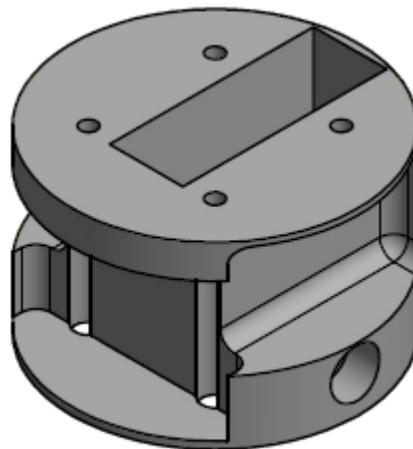


Figura 15. radio-cúbito

Falange distal: es la parte final del dedo

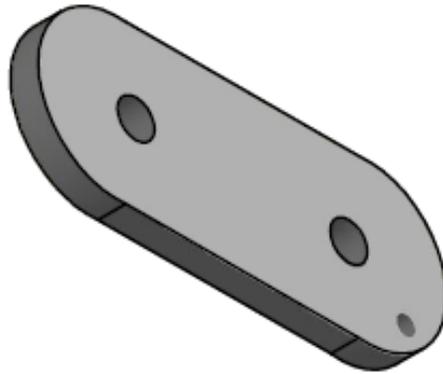


Figura 16. Falange distal

Falange intermedia: esta pieza se ubica entre la falange distal y la falange proximal.



Figura 17. Falange intermedia

Falange proximal: esta pieza se ubica en la estructura de la mano y es la encargada de transmitir el movimiento que viene de los servomotores que a su vez mueve las bielas proporcionando el cierre total de los dedos.

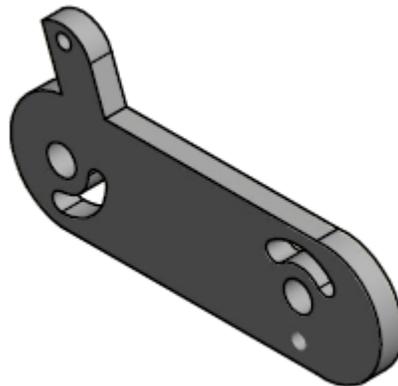


Figura 18. Falange proximal

Dedo pulgar: esta pieza permite el movimiento oponente en relación con los otros dedos, la cual permite hacer un efecto prensil.

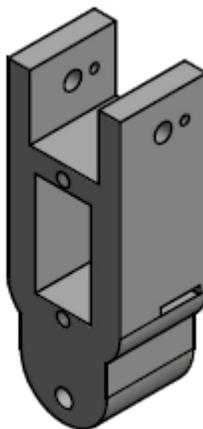


Figura 19. Dedo pulgar

Mano: esta pieza es el soporte de los dedos y los servomotores y su funcionamiento también está basado en el agarre prensil.

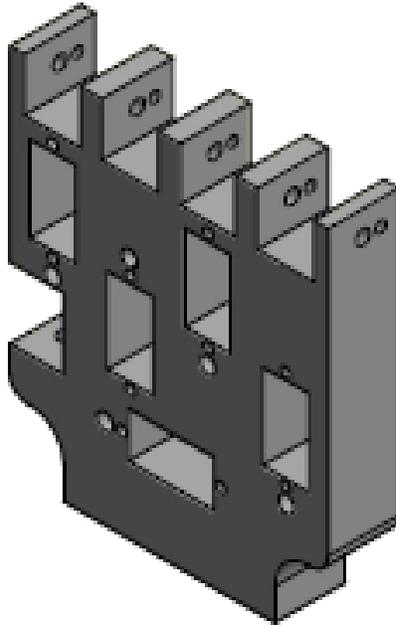


Figura 20. Mano

## 7. Programación de los elementos electrónicos que definen el funcionamiento de la mano.

El sistema que controla los servomotores y la cual recibe la señal analógica que proviene de los sensores electromiográficos se realizó con el microcontrolador arduino nano, por sus dimensiones de  $45 \times 18$  milímetros, pero a la vez por sus características que son las adecuadas para el funcionamiento de la mano robótica.

Algunas de sus características principales son las siguientes; tiene 14 pines digitales que pueden ser configurados como entradas o salidas, se identifican en el arduino con la letra mayúscula D y la cual van desde el pin D0 al D13 y seis pines de ellos proporcionan el PWN; posee 8 pines de entrada analógica y se identifican en el arduino con la letra mayúscula A y la cual van desde el pin A0 al A7, los voltajes de entrada están entre los 6V y 20V las cuales son ideales para la fuente de alimentación suministrada por las baterías de 9V del circuito.

El arduino que se utilizó tiene un chip denominado ATmega328 la cual posee una memoria SRAM (memoria estática de acceso aleatorio) de 2K bytes, esta memoria es donde se crea y manipula las variables cuando se ejecuta. La memoria flash equivale a 32K bytes, su función es almacenar el boceto de arduino.

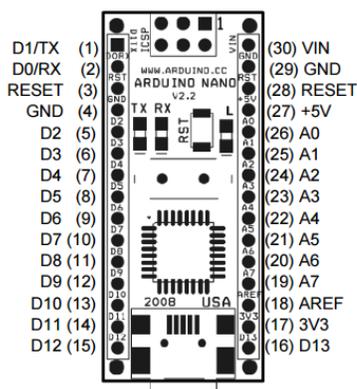


Figura 21. Configuración de los pines

Fuentes:(Arduino, 2015e).

El código que se utilizó para la configuración del funcionamiento de la mano es el siguiente.

```

/*
programacion para el funcionamiento de la mano robotica a traves de un sensor muscular v3
realizado por daniel restrepo vanegas y john anderson cortes ruiz.

Controlling a servo position using a potentiometer (variable resistor)
by Michal Rinott <http://people.interaction-ivrea.it/m.rinott>
modified on 8 Nov 2013
by Scott Fitzgerald
http://arduino.cc/en/Tutorial/Knob
*/

#include <Servo.h>

Servo servod; // servomotores utilizados para los dedos
Servo servom; // servomotor utilizado para la muñeca

int potpind = 3; // pin analogo sig del sensor 1
int vald; // variable de lectura del pin analogo A3
int potinm = 4; // pin analogo sig del sensor 2
int valm; //variable de lectura del pin analogo A4

void setup()
{
  servod.attach(9); // salida digital dirigida a los servos dedos pin D9
  servom.attach(7); // salida digital dirigida aL servo de la muñeca pin D7
}

void loop()
{
  vald = analogRead(potpind); // lee el valor del sensor determinada por la ganancia
  vald = map(vald, 5, 15, 10, 150); //escala en grados para el posicionamiento del servo entre 0° Y 180°
  servod.write(vald); //establece la posicion del servo con el valor de la escala establecida
  delay(20); // tiempo que se tarda el servo en llegar a la posicion deseada

  vald = analogRead(potpind); // lee el valor del sensor determinada por la ganancia
  vald = map(vald, 5, 15, 10, 150); //scala en grados para el posicionamiento del servo entre 0° Y 180°
  servod.write(vald); //establece la posicion del servo con el valor de la escala establecida
  delay(20); // tiempo que se tarda el servo en llegar a la posicion deseada
}

```

Los servomotores de los dedos a través de esta programación funcionan de la siguiente manera, al detectar el valor del sensor muscular número uno, el arduino da la instrucción de cerrar la mano robótica, siempre y cuando este la presencia del valor, si el valor varía entre el rango establecido, la mano robótica tiene la capacidad de posicionarse en los ángulos establecidos en el programa.

Los servomotores que se utilizaron para los dedos son de referencia tower pro MG90s el cual posee las siguientes características, su piñonería interna es metálica, su voltaje de operación va de 4.8 a 6 voltios, el torque es de 1.8kgf \*cm conectado a 4.8V y de 2.2kgf\*cm conectado a 6V.

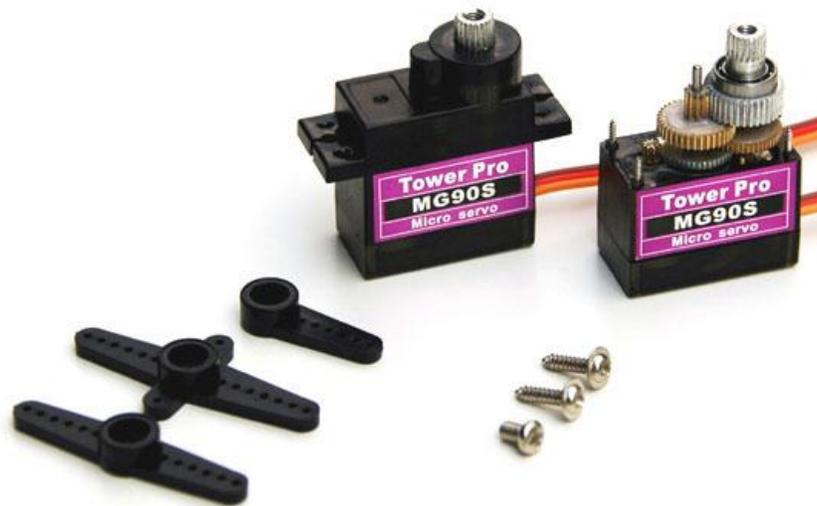


Figura 22. Servomotor mg 90S.

Fuente:(Valuehobby, 2015).

El servomotor de la muñeca cumple la misma función de los dedos, la diferencia es que la señal que permite posicionar este servomotor viene del sensor muscular número dos.

El servomotor que se utilizó para la muñeca son de referencia tower pro MG995 el cual posee las siguientes características, su piñonera interna es metálica, su voltaje de operación va de 4.8 a 7.2 voltios, el torque es de 10kgf \*cm conectado a 4.8V y de 15kgf\*cm conectado a 7.2V

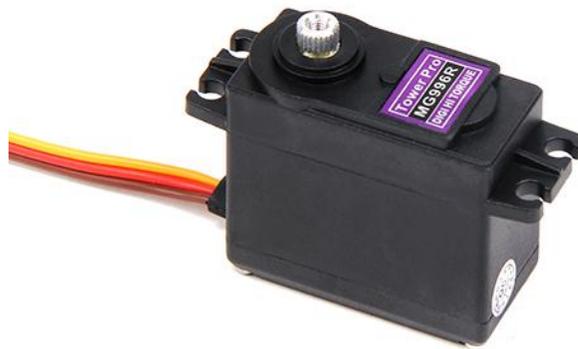


Figura 23. Servomotor mg995

Fuente:(Hobbyking, 2015).

## 8. sistemas electrónicos de adquisición de datos y control.

El sistema para la adquisición de señales electromiográficas lo hicimos a través del sensor muscular v3, ya que este sensor está diseñado especialmente para microcontroladores como el arduino, además en el circuito del sensor tiene una ganancia ajustable la cual permite mejorar el valor de la lectura de la señal.

Este sensor muscular es utilizado en videojuegos, robots, dispositivos médicos y comúnmente brinda un gran apoyo en el desarrollo de trajes exoesqueleto.

La fuente de alimentación está entre los rangos de 3.5V y 18V teniendo en cuenta que se debe conectar con una fuente dual, el voltaje de salida de la señal puede variar desde 0V hasta el máximo aplicado en el pin +VS, teniendo en cuenta la ganancia que es la que varía la señal de salida hacia el microcontrolador

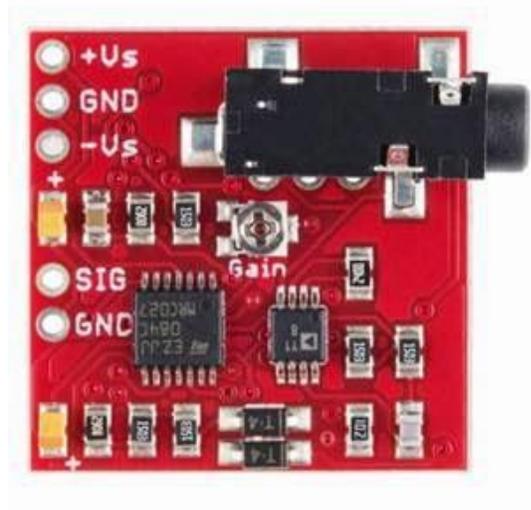


Figura 24 sensor muscular v3

Fuente:(Technologies, 2015d)

La configuración de pines para este sensor está determinada de la siguiente manera, en el pin +VS se alimenta el sensor con un voltaje de 9V y en el pin -VS se alimenta el sensor con un voltaje negativo de -9V, el pin de la fuente de alimentación GND se conecta la configuración de las baterías.

La señal de salida del sensor se comunica con las entradas analógicas del arduino nano que en nuestro caso son las entradas A3 y A4 y para establecer la comunicación de la señal se conecta el GND del sensor con el GND del arduino.

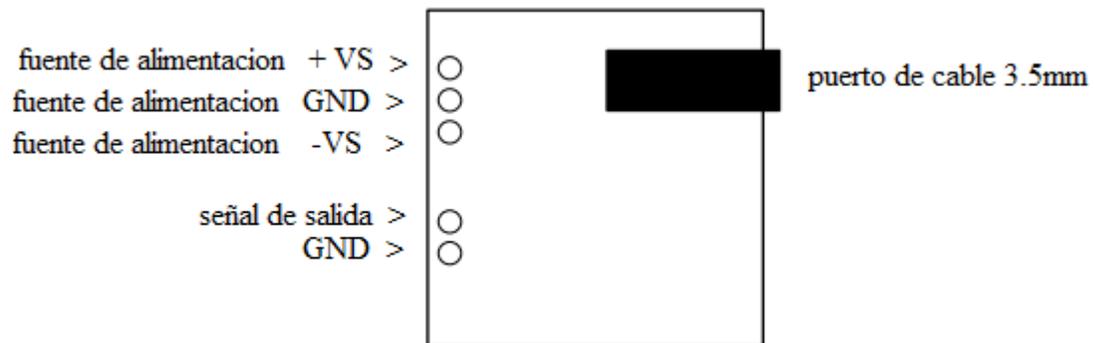


Figura 25. Configuración de pines del sensor muscular

Fuente:(Technologies, 2015b)

En la fuente de alimentación del sensor muscular utilizamos dos pilas recargables de nueve voltios y se configuraron con los siguientes pasos.

El borne positivo de la primera batería se conecta en el terminal positivo del pin +VS del sensor muscular, luego la segunda batería se conecta a la primera, desde el terminal positivo al negativo, de estas dos terminales sale el cable GND, que se conecta al GND de la fuente de alimentación del sensor muscular; el terminal negativo de la segunda batería se conecta al -VS del sensor muscular.

Para los cables donde van los electrodos se tienen en cuenta el músculo en el cual se conectan, en nuestro caso los electrodos del primer sensor está conectado al musculo bicep que es el encargado de hacer el movimiento prensil de la mano robótica, y el segundo musculo que se utiliza es el tríceps que es el encargado de hacer el movimiento de rotacional de la mano.

El electrodo con el pin de color rojo se conecta en la zona media del cuerpo muscular, el electrodo de color verde se conecta en un extremo del mismo cuerpo muscular, y el electrodo de color amarillo se conecta en una parte ósea o no muscular pero cerca al cuerpo a tratar y se toma como referencia la parte delantera del codo.

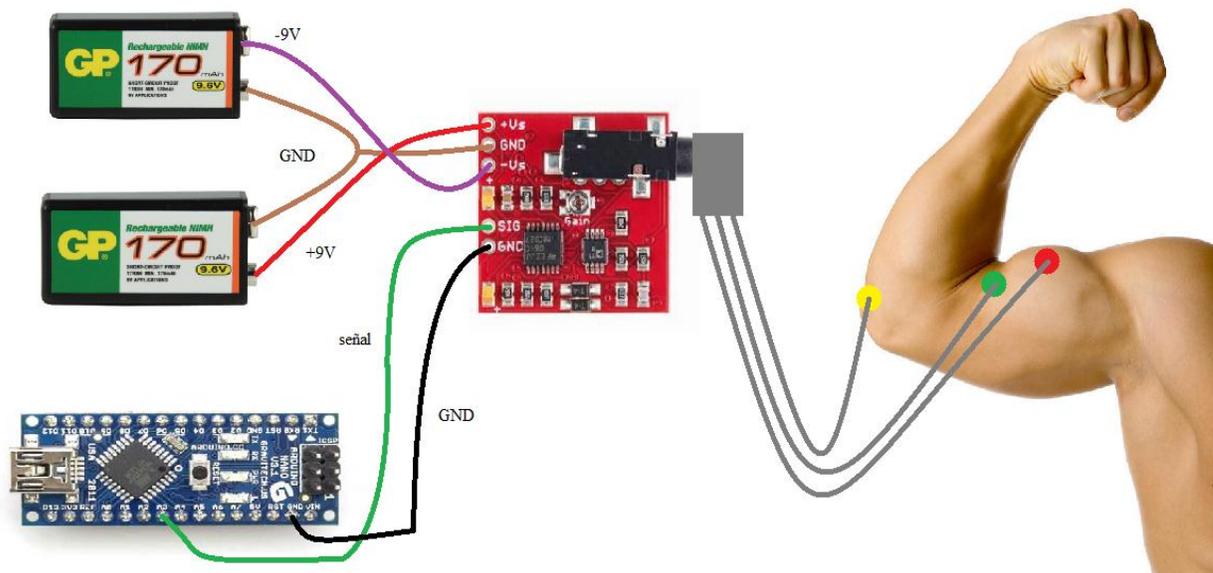


Figura 26. Conexión sensor y arduino

Fuente:(Technologies, 2015a)

Para identificar la posición de los electrodos en el grupo muscular se identificaron a través de los planos del sensor, ya que el proveedor no especificó la conexión de éstos y la información suministrada en las páginas web no son claras por los cambios que sufren los colores de los conectores en los electrodos.

En el plano eléctrico indica la configuración del Jack plus donde menciona la posición de las salidas de los cables como las entradas del puerto de los cables y se realizaron midiendo continuidad para no tener errores en la conexión.

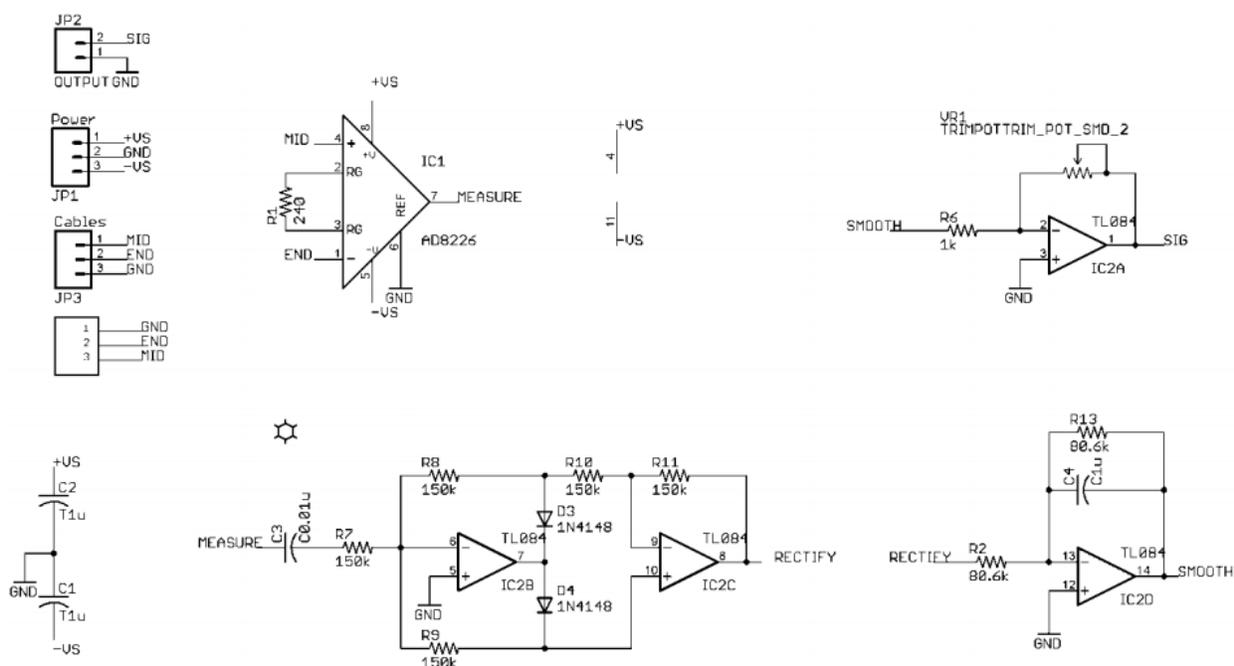


Figura 27. Planos eléctricos del sensor

Fuente: (Technologies, 2015c)

### 9. Probar el prototipo bajo condiciones controladas.



Figura 28. Conexión electrodos bicep y tríceps

Fuente: Autores

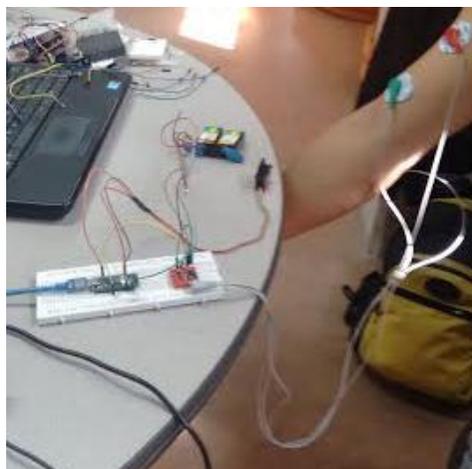


Figura 29. Sistema funcionamiento de la mano robótica

Fuente: Autores

## 10. Conclusiones

Uno de los aspectos importantes que se destacó en la parte del diseño de la mano, fue la interacción con el software cad inventor 2015, que permitió cumplir a cabalidad las expectativas del diseño de la mano robótica, porque con este tipo de software se facilita el diseño y la simulación y a su vez se puede corregir o modificar la pieza en este formato digital.

En el sistema de control de las señales fue importante utilizar el microcontrolador arduino ya que es muy amigable con el usuario y para este proyecto uno de los aspectos fundamentales es que el usuario pueda interactuar con la mano robótica y modificar la programación según sea las necesidades en este hardware libre.

El aspecto más importante en la adquisición de señales electromiográficas fue aprender a interactuar con este tipo de sensores ya que a través de él podemos aprovechar las señales de los músculos y a su vez simular cualquier movimiento o acción mecánica sin que el usuario tenga que mover o comandar cualquier otro dispositivo para el funcionamiento del sistema.

En el momento del ensamble de estos dispositivos y piezas mecánicas se logró obtener la construcción y el funcionamiento de la mano robótica, la cual cumple con el 50% de movimiento de la una mano humana que satisfacen algunas funciones básicas como coger, sostener y manipular objetos pequeños que no superen un peso mayor a 1 kilogramo, con un costo mínimo de 1.000.000 la cual es asequibles para las personas de bajos recursos y que estén afectadas por este tipo de discapacidad.

## 11. Recomendaciones

Durante el desarrollo del proyecto y la elaboración del mecanismo podemos recomendar la implementación de más sensores para que permitan que el funcionamiento de los dedos sea independiente ya que la estructura es adecuada para acondicionarle esta reforma.

Para aumentar la capacidad de carga, teniendo la mano en reposo y verticalmente se recomienda acondicionar a las piezas que componen la rotación de la muñeca un sistema de guías ranurado para que no sufra el servomotor ya que en nuestro sistema presenta una deficiencia en el ajuste de la hélice y el servomotor.

Se recomienda acondicionar las piezas principales para guiar los cables por dentro de la estructura dándole a si una mayor estética y recubrimiento de los cables.

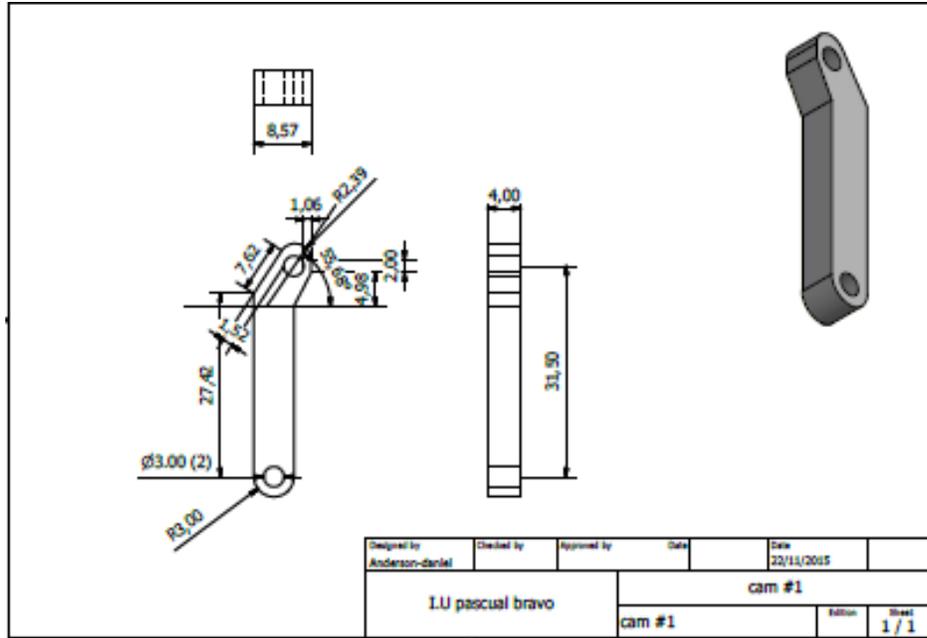
## 12. Referencias bibliográficas

- Arduino. (2015a). arduino. Retrieved from [www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#](http://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#)
- Arduino. (2015b). arduino ethernet. Retrieved from <http://arduino.cl/arduino-ethernet/>
- Arduino. (2015c). arduino leonardo. Retrieved from <http://arduino.cl/arduino-leonardo/>
- Arduino. (2015d). arduino nano. Retrieved from <http://arduino.cl/arduino-nano/>
- Arduino. (2015e). arduino nano pdf. Retrieved from <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>
- Arduino. (2015f). arduino uno R3. Retrieved from <http://arduino.cl/arduino-uno/>
- Bienestar, salud y. (2015). salud y bienestar. Retrieved from <http://lasaludi.info/anatomia-de-la-mano-humana.html>
- Caldas, E. (2015). electrónicos caldas. Retrieved from <http://www.electronicoscaldas.com/motores/608-servo-motor-mg995.html>
- Dalcame. (2015). dalcame. Retrieved from <http://www.dalcame.com/emg.html#.Vj452bcvfIU>
- Dane. (2015). senso general. Retrieved from [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/discapacidad/identificacion en los territorios.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/discapacidad/identificacion%20en%20los%20territorios.pdf)
- David. (2015). clud de la informatica,robotica y electronica. Retrieved from <http://webdelcire.com/wordpress/archives/2747>
- gary job. (2015). musculo de la mano. Retrieved from <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/ova/mod/resource/view.php?inpopup=true&id=618>
- Hobbyking. (2015). servomotor mg995. Retrieved from [http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/\\_\\_6221\\_\\_Towerpro\\_MG996R\\_10kg\\_Servo\\_55g\\_10kg\\_20sec.html](http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__6221__Towerpro_MG996R_10kg_Servo_55g_10kg_20sec.html)
- Ortodoncia.ws. (2015). Ortodoncia.ws. Retrieved from <https://www.ortodoncia.ws/publicaciones/2007/art6.asp>
- Ramirez, Y. (2015). monografias.com. Retrieved from [http://www.monografias.com/usuario/perfiles/yamid\\_ramirez/monografias](http://www.monografias.com/usuario/perfiles/yamid_ramirez/monografias)
- Robotica. (2015). robotica. Retrieved from <https://robotica.wordpress.com/about/>
- Robòtics, Q. (2015). Robòtics, Quantum. Retrieved from <http://blocs.xtec.cat/quantumrobotics/category/robotica-industrial/>

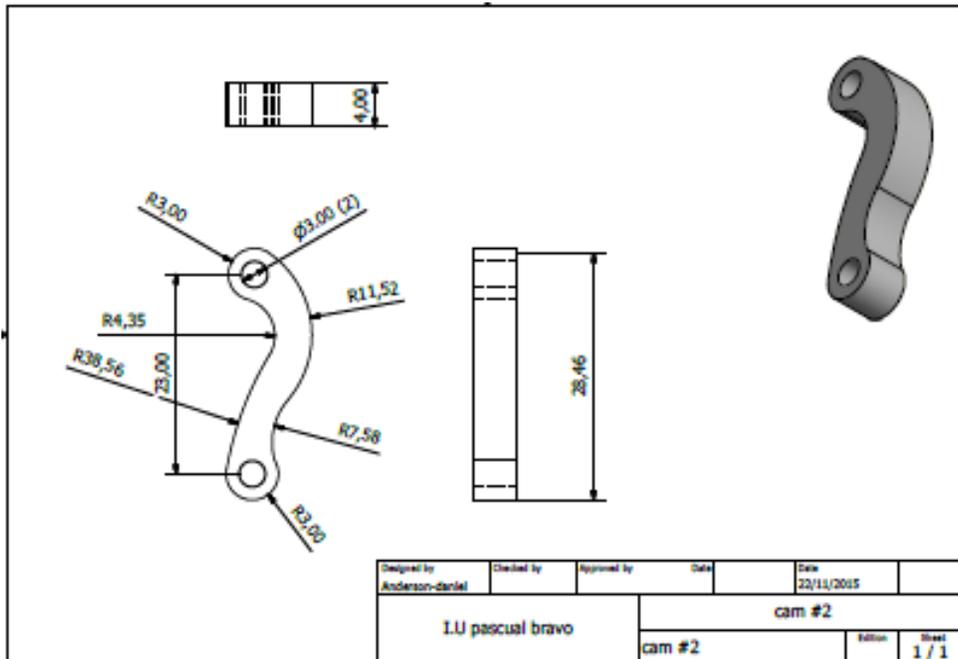
- Servodatabase. (2015). servodatabase. Retrieved from <http://www.servodatabase.com/servo/towerpro/mg90s>
- Tabare, J. (2015). SlideShare. Retrieved from <http://es.slideshare.net/Jonathantabare/sistema-muscular-humano-50173318>
- Technologies, A. (2015a). conexión sensor y arduino. Retrieved from [https://www.pololu.com/file/download/Muscle\\_Sensor\\_v3\\_users\\_manual.pdf?file\\_id=0J745](https://www.pololu.com/file/download/Muscle_Sensor_v3_users_manual.pdf?file_id=0J745)
- Technologies, A. (2015b). configuracion de pines del sensor. Retrieved from [https://www.pololu.com/file/download/Muscle\\_Sensor\\_v3\\_users\\_manual.pdf?file\\_id=0J745](https://www.pololu.com/file/download/Muscle_Sensor_v3_users_manual.pdf?file_id=0J745)
- Technologies, A. (2015c). planos electricos del sensor. Retrieved from [https://www.pololu.com/file/download/Muscle\\_Sensor\\_v3\\_users\\_manual.pdf?file\\_id=0J745](https://www.pololu.com/file/download/Muscle_Sensor_v3_users_manual.pdf?file_id=0J745)
- Technologies, A. (2015d). sensor muscular v3. Retrieved from [https://www.pololu.com/file/download/Muscle\\_Sensor\\_v3\\_users\\_manual.pdf?file\\_id=0J745](https://www.pololu.com/file/download/Muscle_Sensor_v3_users_manual.pdf?file_id=0J745)
- Valuehobby. (2015). servomotor mg90s. Retrieved from <http://www.valuehobby.com/mg90s-mini-servo.html>

# 11. Anexos

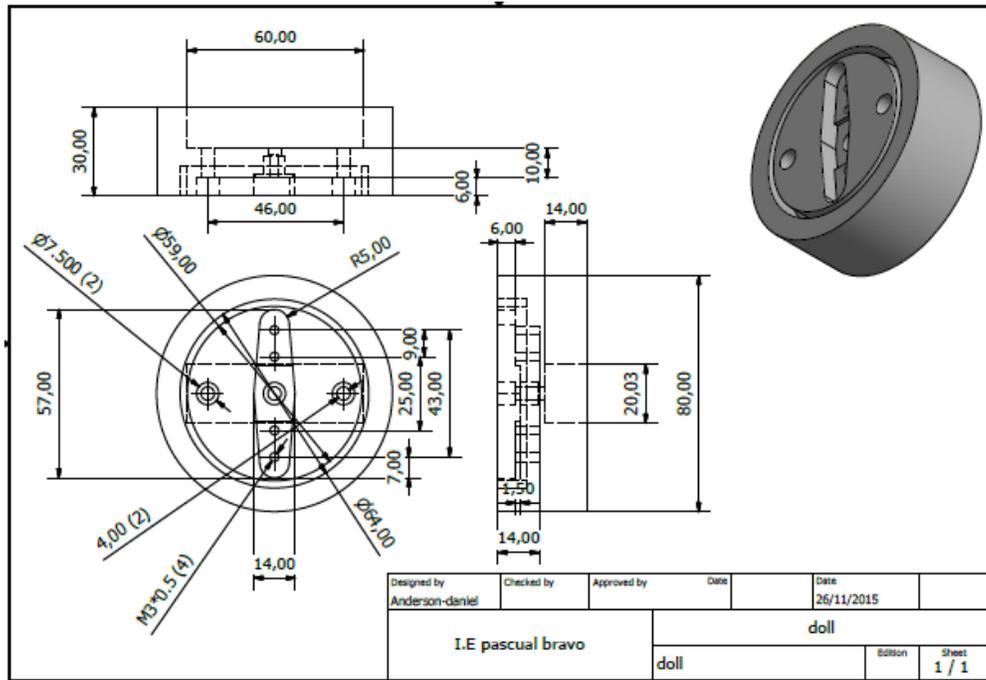
## Anexo 1



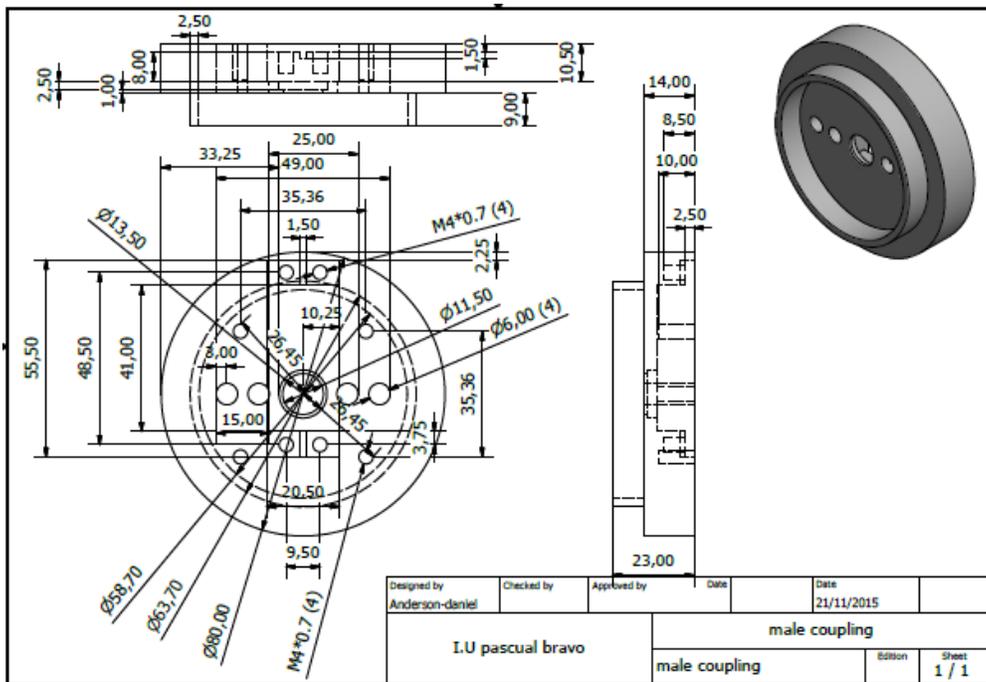
## Anexo 2



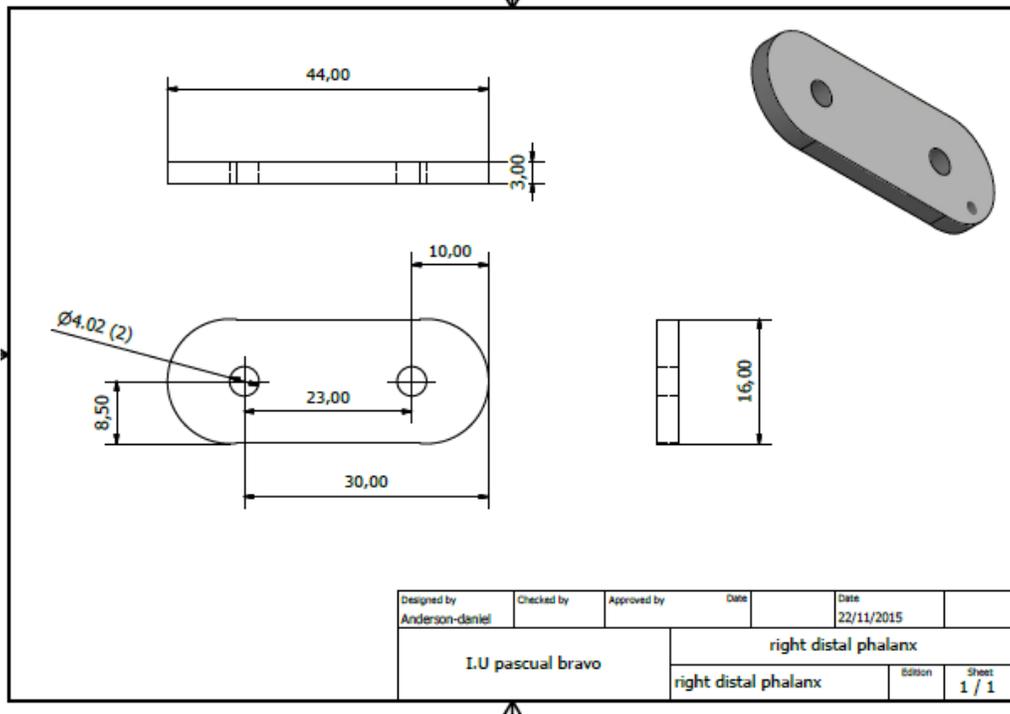
Anexo 3



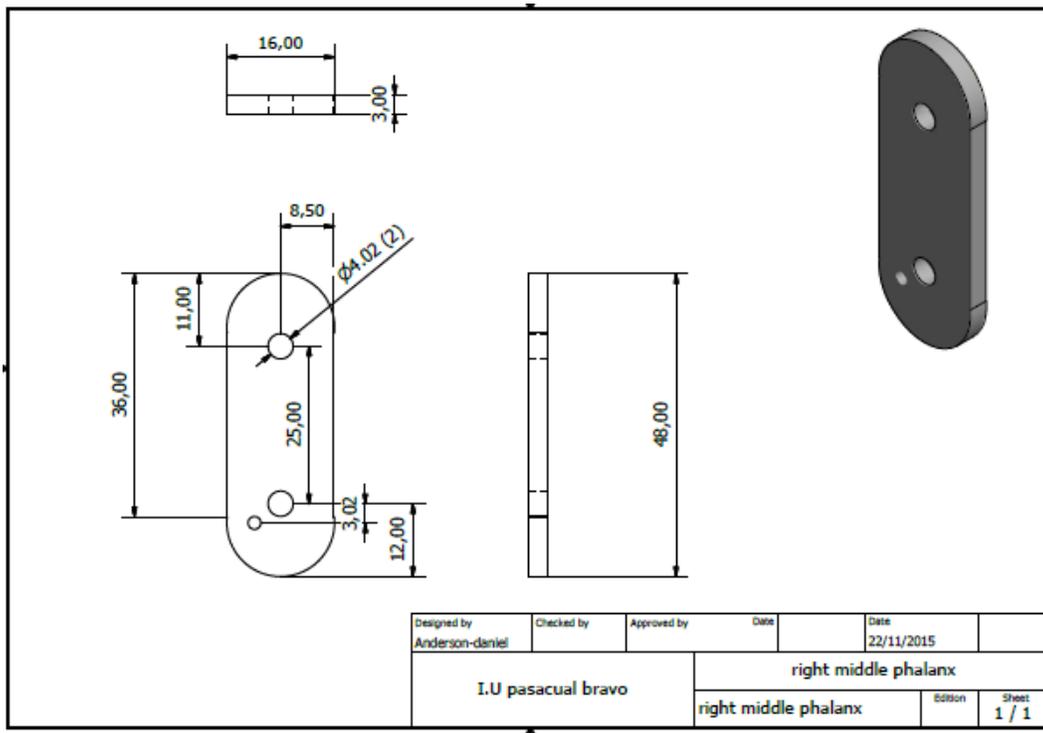
Anexo 4



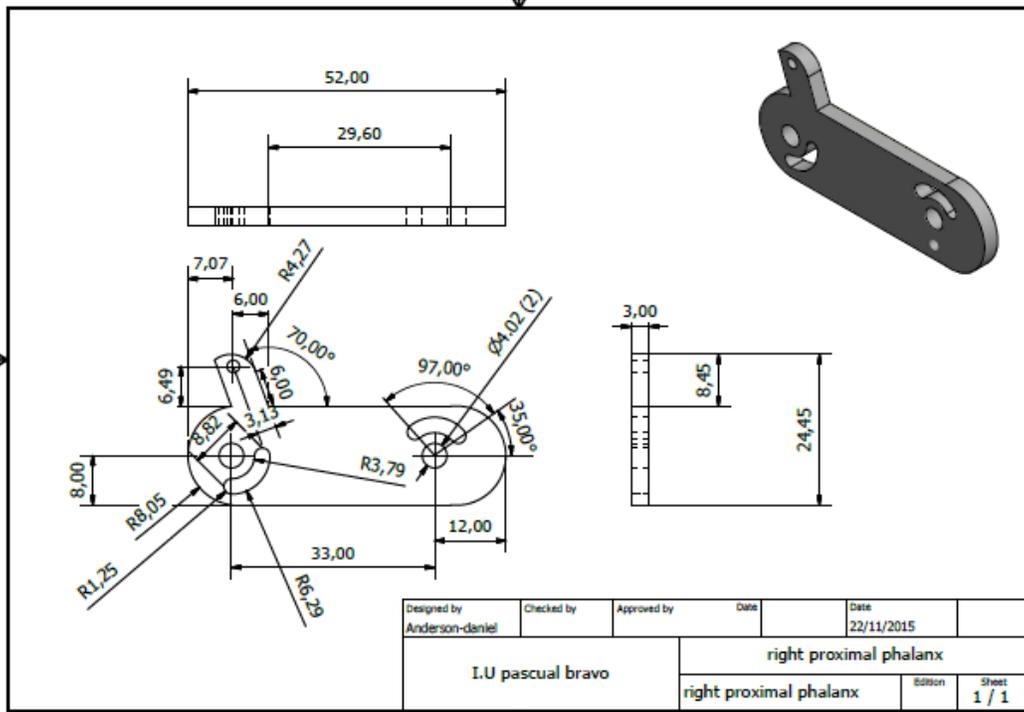
Anexo 5



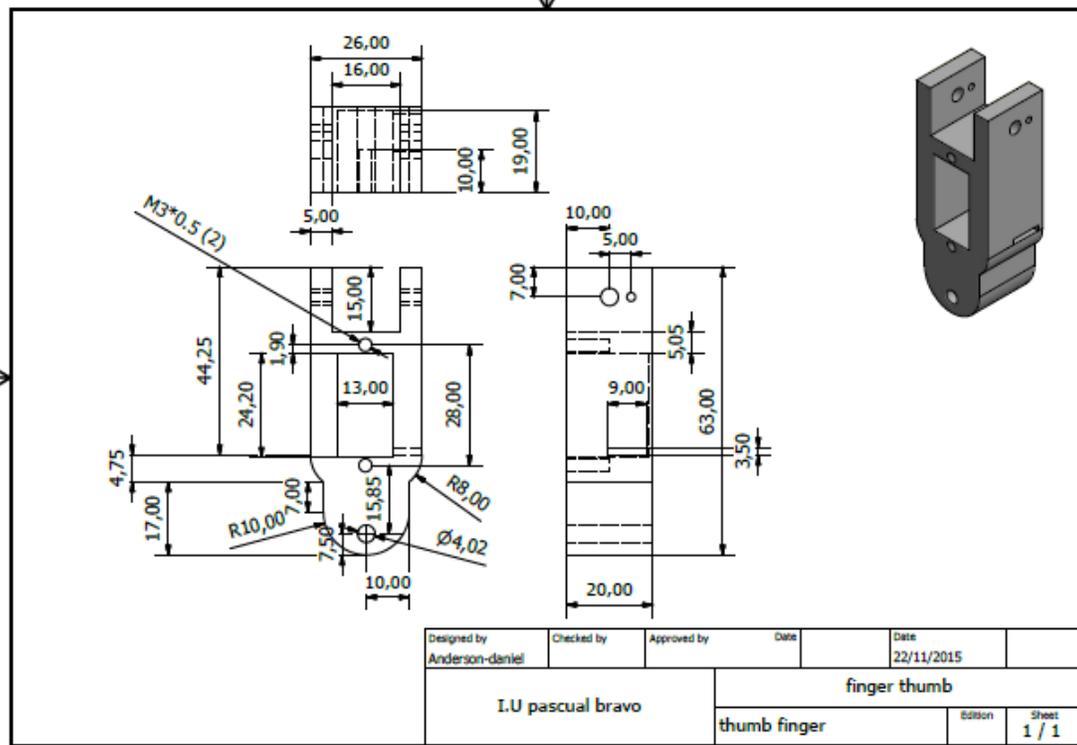
Anexo 6



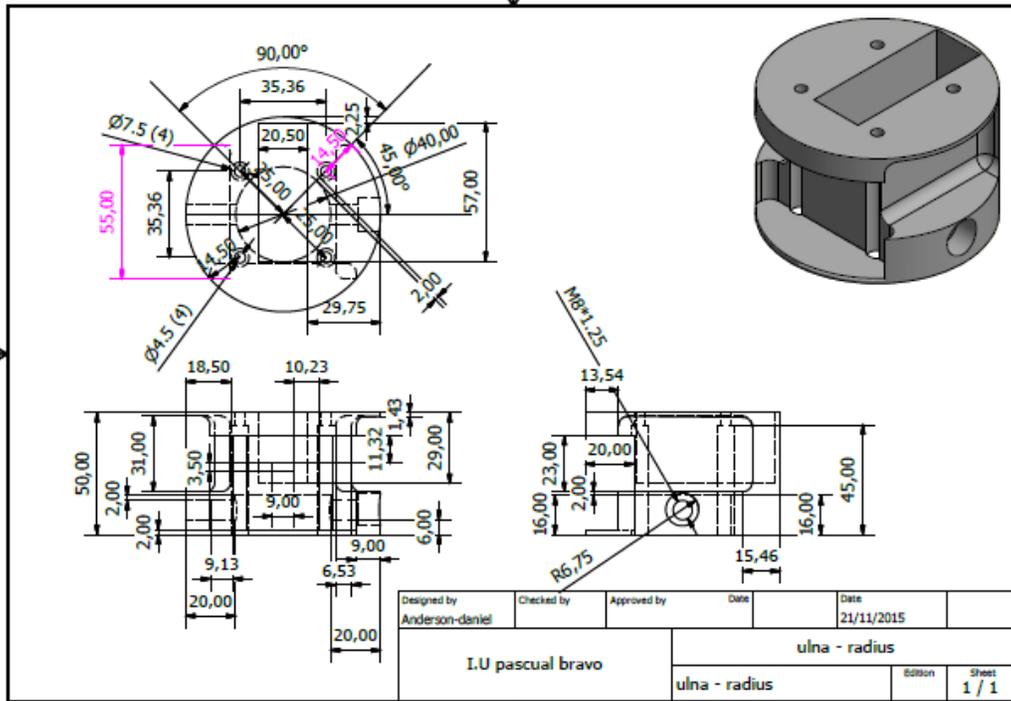
Anexo 7



Anexo 8



Anexo 9



Anexo 10

