

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Diseño y control de una mano robótica para
función motora de personas discapacitadas**

Julinhio Reynoso Villaverde

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Mg. Ing. Armando Felipe Calcina Sotelo

AGRADECIMIENTO

Ante todo, primero quiero dar gracias al divino señor, por iluminar mi camino en cada paso que doy, por poner en mi camino a personas de gran apoyo en el desarrollo de este trabajo y etapa que esta por culminar.

DEDICATORIA

Dedicado con tanto amor y cariño a mis queridos padres que velan por mi futuro y también a mis familiares que me brindan su apoyo incondicional.

ÍNDICE

Contenido	
ASESOR	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I	15
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema	15
1.2. Formulación del problema general.....	16
1.2.1 Problemas específicos	16
1.3. Objetivo general	16
1.3.1. Objetivo general.....	16
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. Justificación	17
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes del problema	18
2.2. BASES TEÓRICAS.....	24
2.2.1 Funciones de la mano humana.....	24
2.2.2. Mano Robot para ayuda de personas discapacitadas.....	25
2.2.3. Robot.....	27
2.2.4. Tipos de articulaciones	28
2.2.5. Cinemática.....	30
2.2.6. Cinemática directa.....	30
2.2.7. Matriz de paso homogénea	31
2.2.8. Cinemática inversa de la mano	35
2.3. Bloque de control con arduino	39

2.3.1	Servomotores.....	41
2.3.2	Flexoresistencias.....	41
2.3.3	Arduino.....	42
2.4.	Definición de términos básicos.....	43
2.4.1	Arduino.	43
2.4.2	Eslabones.....	43
2.4.3	Flexoresitencias.....	43
2.4.4	Microcontroladores.....	43
2.4.5	Led.	43
2.4.6	Protoboard.....	43
2.4.7	Posición.	44
2.4.8	Servomotores.	44
2.4.9	Sensor.....	44
2.4.10	Twiter.	44
2.4.11	Torque.....	45
CAPÍTULO III		46
METODOLOGÍA.....		46
3.1.	Método y alcance de la investigación	46
3.2.	Diseño de la investigación.....	47
3.3.	Método de investigación.....	48
3.4	Recursos.....	48
CAPÍTULO IV		49
ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN		49
4.1.	Identificación de requerimientos.....	49
4.1.1.	Prototipo de mano robótica.....	51
4.2.	Análisis de la solución	51
4.2.1	Propuesta de la solución	52
4.3.	Exigencias de diseño.....	53
4.3.1.	Lista de exigencias	53
4.3.2.	Conceptos de solución.....	57
4.3.3	Evaluación económica	59
4.3.4.	Evaluación técnica.....	60
4.3.5.	Evaluación de conceptos de solución.....	61

4.4. Proyecto preliminar	62
CAPITULO V	64
CONSTRUCCIÓN DE LA MANO ROBÓTICA	64
5.1. Construcción del brazo	64
5.1.1. Detalles funcionales de la mano robótica.....	71
5.2. Pruebas y resultados	76
CONCLUSIONES.....	86
RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXOS	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de Exigencias.....	53
Tabla 2. Evaluación económica.....	60
Tabla 3. Criterios y valor técnico	61
Tabla 4. Evaluación de conceptos de solución.....	61
Tabla 5. Propiedades mecánicas del PVC.	66
Tabla 6. Datos de simulación.	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fisiología de la mano humana	25
Figura 2. Guante sensorizado. Tomada de “Cómo hacer un guante con sensores	26
Figura 3. Mano articulada con sensore	26
Figura 4. Articulación y par cinemático.....	28
Figura 5. Formas de articulaciones	29
Figura 6. Representación de la transformación homogénea.....	32
Figura 7. Relaciones geométricas del dedo índice. Tomada de Gutiérrez, (2010, p. 76)	37
Figura 8. Relaciones geométricas del dedo pulgar. Gutiérrez, (2010, p. 78).....	38
Figura 9. Diagrama esquemático de la mano robótica	40
Figura 10. Servomotor. Tomada de “Cómo funciona un servomotor”, por Cómo funciona, s.f.	41
Figura 11. Flexorresistencia. Tomada de “Tutorial: Aprender a usar un sensor flex con Arduino”, por Ude, 2016	42
Figura 12. Placa Arduino Uno. Tomada de “Tutorial: Aprender a usar un sensor flex con Arduino”, por Ude, 2016.....	42
Figura 13. Arduino UNO.....	50
Figura 14. Bluetooth Arduino.,	50
Figura 15. Caja negra de la mano robótica.....	51
Figura 16. Esquema de etapas de diseño de la Norma VDI 2221.....	52
Figura 17. Evaluación de conceptos de solución.....	62
Figura 18. Concepto óptimo de solución	63
Figura 19. Estructura mecánica de mano robótica	65
Figura 20. Simulación de movimientos.....	67
Figura 21. Montaje de un dedo.....	69
Figura 22. Montaje de la mano y dedo	69
Figura 23. Montaje de la mano, dedos muñeca y antebrazo	70
Figura 24. Montaje de los componentes y ensamble de la mano, dedos, muñeca y antebrazo.....	71
Figura 25. Circuitería servos.....	72

Figura 26. Conexiones Arduino con flexorresistencia.....	72
Figura 27. Ensamble electrónico de la mano robótica propio	73
Figura 28. Bloque de movimiento de la mano robótica.....	74
Figura 29. Flexorresistencias en los dedos	75
Figura 30. Guante sensorial	75
Figura 31. Mano robótica terminada	76
Figura 32. Resultado final de la mano robótica	76
Figura 33. Programación arduino.	77
Figura 34. Diagrama electrónico.....	78

RESUMEN

Una de las extremidades del ser humano es decir la mano humana es uno de los elementos físicos del ser humano y la más asombrosa de la vida y naturaleza, y que no es superada en ningún aspecto con otra herramienta, en ello las investigaciones en gran parte relacionada con robótica realiza esfuerzos por querer o desear imitarla.

Las manos robóticas subactuadas, se caracterizan por ser mecanismos cada vez más complejos y también por la complejidad en el sistema de control que a la vez mejora la funcionalidad de los manipuladores robóticos las mismas que extienden su capacidad de manipulación de elementos distintos con formas y tamaños diferentes; luego encontramos otras manos robóticas en las que su propósito es la caracterización de un manera determinada comportamiento de la mano humana cuyo objetivo está centrada en las tareas de agarre y manipulación.

El objetivo principal del trabajo de investigación es diseñar y controlar un prototipo de mano robótica para realizar una función motora de personas discapacitadas.

En este trabajo de investigación se realizado una metodología de diseño y control de una mano robótica para función motora de personas discapacitadas teniendo en cuenta la manera que puede ofrecer un accionamiento, controlado por un sistema de plataforma Arduino, determinando su capacidad de controlar, combinar y hacerlos funcionales, los dispositivos de movimiento que conforman la mano robótica que son accionados e impulsados por actuadores o llamados servomotores.

En el transcurso de este trabajo se ha diseñado la mano robótica y su respectivo control con una metodología donde realizado una de las condiciones funcionales de un prototipo de mano con actuadores que ofrecen un número de funciones que responden a las maniobras de movimientos diversos.

Uno de los resultados obtenidos es que la mano robótica ha sido diseñada y construida de manera que puede interactuar permitiendo la manipulación y agarre de los diversos objetos, lo cual resalta la funcionalidad del prototipo.

Palabras clave: Mano robótica, mano con Arduino, función mano, movimiento mano, control Mano

ABSTRACT

One of the extremities of the human being is to say the human hand is one of the physical elements of the human being and the most amazing of life and nature, and that is not surpassed in any way with another tool. Robotics related party makes efforts to want or want to imitate it.

Under-robotic robotic hands are characterized by being increasingly complex mechanisms and also by the complexity in the control system that at the same time improves the functionality of robotic manipulators which extend their ability to manipulate different elements with different shapes and sizes. ; Then we find other robotic hands in which its purpose is the characterization of a certain behavior of the human hand whose objective is focused on the tasks of grip and manipulation.

The general objective of this research work is to design and control a prototype robotic hand to perform a motor function of disabled people.

In this research work, a methodology of design and control of a robotic hand for motor function of disabled people is proposed taking into account the way a drive can offer, controlled by an Arduino platform system, determining its ability to control, combine and make them functional, the movement elements that make up the robotic hand that are driven and driven by a set of actuators or called servomotors. In the course of this work, the robotic hand and its respective control have been designed with a methodology where a situation of technical viability of an actuator has been carried out, capable of offering a number of states that respond to the maneuvers of diverse movements.

One of the results obtained is that the robotic hand has been designed and constructed so that it can interact allowing the manipulation and grip of the various objects, which highlights the functionality of the prototype.

Keywords: Robotic hand, hand with Arduino, hand function, hand movement, control Hand.

INTRODUCCIÓN

La mano es parte del ser humano y puede definirse que es la herramienta más perfecta que dios nos ha dado.

Una de las extremidades del ser humano como es la mano humana, se utiliza muy constantemente en un inmenso mundo de aplicaciones con lo cual el hombre desarrolla un sinnúmero de actividades mejorando cada vez sus destrezas y habilidades en cuanto a movimientos se refiere.

Estas aplicaciones de movimientos se pueden resumir en actividades más importantes: explorar, interactuar y realizar funciones con el entorno, realizar funciones con otros seres humanos, tocar, coger manipular objetos y cosas, etc.

El estudio de esta parte como es la imitación de mano humana mediante un prototipo funcional es una de la más estudiadas en la especialidad de robótica.

Los objetivos del presente proyecto son diseñar un prototipo de mano robótica utilizando una simulación realizada por software SOLID WORKS, así mismo construir un prototipo de mano robótica con dimensionamientos e impresión en 3D. Construir un prototipo de mano robótica, comandada mediante control de una plataforma Arduino a través de comunicación bluetooth y por medio de un guante instrumentado como protección externa.

Determinar la relación de funcionamiento y desempeño del prototipo de mano robótica diseñada y construida para el agarre de determinados elementos geométricos.

Su justificación está dada porque es la herramienta más útil universal y perfecta que desarrolla múltiples movimientos de apoyo para el ser humano. La tecnología que avanza a grandes pasos no deja de ser una aplicación para resolver problemas de aquellas personas que por algún motivo no tienen las manos completas, en ello la robótica posee bondades en base a los sensores y actuadores que apoya a la evolución científica y que realmente es muy importante su aplicación. Cabe afirmar

que, aún nos encontramos muy lejos de poder realizar un manipulador robótico capaz de reemplazar en su totalidad a la función de la mano humana.

En estos tiempos se están realizando investigaciones para determinados comportamientos de las manos por su puesto con intervención de la robótica como tecnología emergente y que realmente se muestran interesantes debido a su avance y aplicación.

La mano robótica ha sido diseñada y construida de manera que puede interactuar permitiendo la manipulación y agarre de los diversos objetos, lo cual resalta la funcionalidad del prototipo.

El investigador

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

La discapacidad o incapacidad es una situación en el cual ciertas personas tienen deficiencias sea físicas a veces sensoriales por tiempos de los cuales al actuar o realizar actividades lo trabajos diversos, se presentan ciertas dificultades o barreras para poder ejecutarlas adecuadamente de esa manera restringen su participación en la sociedad y en desigualdad de situaciones con los demás.

El problema que hay que resolver es en qué momento de la vida este ser comienza con sus limitaciones, lo que llamamos actualmente la discapacidad, o como consecuencia de un accidente de una persona expuesto a los riesgos del trabajo.

En el país según la SCRT se reporta “una estadística de acuerdo a los datos de siniestros en nuestra cartera del Seguro Complementario de Trabajo de Riesgo (SCTR) Salud, las lesiones del miembro superior (brazos y manos) representan el 36% del total de atenciones por accidentes de trabajo y un 26% de los gastos en prestaciones de salud”. (Gestión, 2017).

"El año 2015 registramos un promedio de 34 accidentes de extremidad superior por día y esto representó en total más de 12,000 casos al cierre de año", indicó el SCTR. (Gestión, 2017).

“En esa línea, dijo que la mayoría de accidentes de trabajo se dan en actividades como la manufactura y en el sector construcción, con 27.25% y 13.63% de los casos, respectivamente. Siendo estos siniestros registrados mayoritariamente en la ciudad de Lima” 77.28% (Gestión, 2017).

José Castello (2017) manifiesta que, del total de casos, “174 fueron amputaciones traumáticas con pérdida parcial o total de la extremidad. En 55 de estos casos (32%) la amputación se dio por encima de la muñeca y en los 119 casos restantes (68%) fueron pérdida parcial o total de manos o dedos”. (Gestión, 2017).

1.2. Formulación del problema general

¿Cómo diseñar y controlar una mano robótica para lograr la función Motora de personas discapacitadas?

1.2.1 Problemas específicos

¿Cómo diseñar un prototipo de mano robótica utilizando una simulación realizada por software SOLID WORKS?

¿Cómo construir un prototipo de mano robótica con dimensionamientos e impresión en 3D?

¿Cómo construir un prototipo de mano robótica, comandada mediante control de una plataforma Arduino a través de comunicación bluetooth y por medio de un guante instrumentado como protección externa?

¿Cómo determinar la relación de funcionamiento y desempeño del prototipo de mano robótica diseñada y construida para el agarre de determinados elementos geométricos?

1.3. Objetivo general

1.3.1. Objetivo general

El objetivo del presente trabajo de investigación es diseñar y controlar un prototipo de mano robótica para realizar una función motora de personas discapacitadas.

1.3.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos del presente trabajo de investigación son:

- Diseñar un prototipo de mano robótica utilizando una simulación realizada por software SOLID WORKS.
- Construir un prototipo de mano robótica con dimensionamientos e impresión en 3D.
- Construir un prototipo de mano robótica, comandada mediante control de una plataforma Arduino a través de comunicación bluetooth y por medio de un guante instrumentado como protección externa.
- Determinar la relación de funcionamiento y desempeño del prototipo de mano robótica diseñada y construida como apoyo para el agarre de determinados elementos geométricos.

1.4. Justificación

Debido a los avances tecnológicos hoy en día es posible realizar la conectividad de elementos que sean funcionales para realizar ciertas actividades laborales de algún miembro o parte del cuerpo humano debido a las condiciones o circunstancias de pérdida de alguna parte de las extremidades del ser humano, en este caso la mano humana.

Por ello se requiere la interconexión de elementos robóticos que apoyen a las necesidades y funciones de los sistemas interconectados que para las personas del quehacer común. Así este trabajo resultará no solo en datos y tecnologías, sino que servirá para poder continuar investigando en el área de la Ingeniería Mecánica, meca trónica o ramas afines y aportará conocimientos para futuras investigaciones en nuestro país y en otras partes del mundo. Este proyecto pretende diseñar y controlar una mano robótica para función motora de personas discapacitadas, que pueda ser diseñado y construido a un menor precio y se podrá adecuar a diferentes usos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

Ramiro Cabás (2011) En su tesis titulada “Metodología de diseño de manos robóticas basada en los estados de su sistema accionador”, en este trabajo de tesis se propone “una metodología basada en el diseño de manos robóticas Teniendo en cuenta la capacidad de combinarlos y hacerlos independientes. Los elementos móviles que componen una mano robótica son accionados por un actuador o conjunto de actuadores. El sistema accionado es el órgano principal que da vida a un determinado sistema robótico como una mano robótica, por lo tanto, es preciso identificar la capacidad que tiene el mismo de hacer que ese movimiento pueda generar tareas cada vez más compleja”. (p. II)

Así mismo en una de sus conclusiones manifiesta, “El desarrollo de manos robóticas, con restricciones bien marcadas en el diseño, en muchos casos suelen coartar la libertad para experimentar e investigar, sin embargo, también da paso a la innovación en materia de materiales, mecanismos y estructuras especiales. En el transcurso de este trabajo el autor se ha encontrado en este segundo caso, lo cual le ha permitido meterse, de forma casi obligatoria, en nuevos caminos no convencionales para poder saltar los obstáculos presentados. Esto dio lugar al principio de una nueva metodología de diseño”.(p. 179)

Hower Ceballos (2012) en su tesis titulada “Análisis y diseño de un prototipo de una mano robótica con catorce grados de libertad, capaz de ser dirigida a través de internet en tiempo real” en una de sus conclusiones manifiesta: “El uso de los microcontroladores ayuda a optimizar diferentes procesos industriales mediante el uso de su lógica programable; los microcontroladores PIC han sido ampliamente conocidos en el mercado debido a su tiempo de permanencia, diferentes gamas y facilidad de uso, además, permite un bajo consumo de corriente por lo cual es posible alimentarlos directamente desde el voltaje arrojado por el puerto USB y por tales características fueron seleccionados en el diseño del prototipo de mano robótica. Para la conexión del prototipo con el computador se utiliza la interface USB permite mejorar la capacidad de interconexión de dispositivos permitiendo adjuntar periféricos rápidamente sin necesidad de reiniciar la computadora, permite la transmisión de datos a alta velocidad y la distribución de energía. Los periféricos 78 para puertos USB son reconocidos automáticamente por el computador (y se configuran casi automáticamente) lo cual permite instalar un nuevo dispositivo en el PC de forma sencilla. Los aparatos conectados a un puerto USB estándar no necesitan estar enchufados a la corriente o disponer de baterías para funcionar. El propio puerto está diseñado para transmitir energía eléctrica al dispositivo conectado”. (pp. 77-78)

Boris Stheven Sullcahuamán (2013), en su tesis titulada “Diseño Mecánico de un Prototipo de Prótesis Mioeléctrica Transradial”, “para optar el grado académico de Ingeniero Mecánico en la PUCP, se presenta el análisis de un mecanismo de un grado de libertad que simula el movimiento de los dedos índice y pulgar de una mano humana con el propósito de realizar la sujeción de objetos de 0,5 kg de masa, considerando el tamaño y peso de la mano de una persona adulta promedio, el movimiento de los dedos está restringido por la relación de posición angular entre falanges, para ello se utiliza el mecanismo de doble manivela aplicado en la articulación de cada falange. Además, se realiza el análisis a través de las ecuaciones de Freudenstein para determinar las dimensiones y verificar cada elemento a través del

cálculo por resistencia de materiales. Finalmente, para el accionamiento de los dedos se emplea un actuador neumático que garantiza un control proporcional de la fuerza a emplear”. (p. ii)

En la actualidad a nivel internacional se han trabajado distintas de investigaciones relacionadas a manos y brazos robóticos.

Youngblut, Christine y otros. (1996) “Review of virtual environment interface technology”, “en este trabajo se determinaron parámetros relacionados con la fuerza que realiza el dedo índice humano para realizar el agarre y se determinó que por breves períodos de tiempo el dedo índice puede ejercer una fuerza de 30 – 50 N y para períodos prolongados la fuerza varía de 4 – 7 N”.

García-Córdova, Francisco y Martínez, José. (1999) “Diseño mecatrónico de un dedo antropomórfico”, en este trabajo se desarrolló un tipo de dedo antropomórfico que es “un sistema ligero y pequeño cuyo movimiento está es representado por un sistema de transmisión basado en tendones y motores de corriente continua, dedo antropomórfico diseñado presenta dos grados de libertad, cada eslabón del dedo tiene asociado dos tendones, el primero causa la flexión del dedo y el segundo la extensión del mismo. El control del dedo está basado en controladores neuronales basados en modelos neurobiológicos, en este diseño se buscó la simulación de todos sus elementos con respecto al de un dedo humano”.

Darío, Paolo y otros. (2000) en el trabajo de investigación “An integrated approach for the design and development of a grasping and manipulation system in humanoid robotics”, en este trabajo se resume el “desarrollo de un sistema de manipulación antropomórfico en el cual se le adapta un módulo de coordinación sensor-motor a través de un sistema táctil y de visualización el cual puede ser usado como prótesis de manos humanas y proponen como futuros trabajos el desarrollar un programa de computación que pueda leer

los módulos del cerebro asociados con la coordinación sensor-motor para la manipulación”.

Sprinter, Scott y Ferrier, Nicola. (2000) en el trabajo de investigación titulado “Design and control of a force-reflecting haptic interface for teleoperation grasping”, en este trabajo se desarrolló un sistema múltiple de dedos para el proceso de sujeción teleoperado.

Banks, Jessica (2001) trabajo titulado “Anthropomorphic robotic finger platform base on shape memory alloy”, este trabajo se trata de “ el diseño de un dedo robótico en miniatura que imita el sistema músculo-esquelético del dedo humano a través de alambres denominados SMA (Shape memory alloy) el cual es un material que se expande o contrae debido a la modulación de calor y que presenta un comportamiento no lineal similar al músculo humano. Igualmente describe que la mano humana puede servir como paradigma para una interfaz robótica con el ambiente, así, su morfología ha mantenido activo el interés por las investigaciones en manipuladores y en particular por los efectores finales, donde su funcionalidad sigue siendo una referencia para la realización de nuevos diseños. Y concluye indicando que uno de los desafíos que esto implica comprende en la simulación de la anatomía humana del dedo que puede resultar complicado; por lo tanto, el desarrollo y construcción de un solo dedo robótico puede ser un buen inicio para el diseño de un efector final apropiado para un robot”.

En el trabajo “The development of a prosthetic arm” Harvey, David y Longstaff (2001) en este trabajo se desarrolló un “sistema biomecánico de tal forma que el estudio se orienta con fines de sustituir, en el cuerpo humano, a la mano en implantes de prótesis para lo cual incorpora a la mano mecánica un sistema sensorial que retroalimenta el sistema nervioso para proveer experiencias de percepción táctil”.

Fernández, C. y otros (2002) en el trabajo titulado “Aprendizaje en teleoperación. Aplicación a los procesos de agarre de objetos”, en este

estudio se propone: “un método de aprendizaje para sistemas teleoperador aplicado a los procesos de agarre, en el cual, dado un objeto de una forma arbitraria, los puntos de agarre deben ser calculados automáticamente a partir de los ejemplos proporcionados por el usuario mediante la teleoperación”. (p. 1).

Lotti, Fabrizio y Vassura, Gabriele. (2002) en el trabajo “A novel approach to mechanical design of articulated fingers for robotic Hands”, se desarrolló tipo de dedo con una “estructura de eslabones rígidos conectados a través de un sistema de bisagras flexibles que sustituyen a las articulaciones. Este tipo de mecanismo no convencional trajo grandes beneficios en cuanto a la simplificación del diseño estructural. Se presenta el diseño de un prototipo con el cual se realizan pruebas para evaluar la factibilidad del diseño”.

Yamano, I. y otros (2003) en el trabajo de investigación titulado “Development of a robot finger for five-fingered hand using ultrasonic motors” “Se desarrolló en esta investigación un dedo con cuatro grados de libertad para ser integrado en una mano robótica de cinco dedos. Se utilizaron motores ultrasónicos y elementos elásticos para su transmisión. Se realizaron pruebas para verificar el mecanismo de transmisión concluyendo que el mecanismo implementado confirma los cálculos realizados en cuanto al movimiento del dedo. Para futuros trabajos se propone la optimización del elemento elástico para lograr mejores tiempos de respuesta”.

Wilkinson, D. y otros (2003) presenta su trabajo titulado “ An extensor mechanism for an anatomical robotic hand” en este trabajo se indica que, “un mecanismo extensor fue desarrollado en este trabajo, el cual constó con la ubicación externa del sistema de movimiento del dedo, basado en elementos elásticos unidos en las articulaciones del dedo de esta forma el

dedo diseñado se pudo realizar de forma más compacta debido a que el mecanismo transmisor de movimiento se encuentra en una parte externa”.

Ceccarelli, M y otros (2004) cuyo trabajo titulado “Diseño y experimentación

de un dedo articulado antropomorfo con un grado de libertad”, la finalidad de este trabajo fue el “diseño de un nuevo prototipo de dedo robótico con un grado de libertad con funcionamiento sencillo y económico que pueda usarse como un módulo par una mano antropomórfica, se prestó atención al diseño del mecanismo articulado que transmite la potencia entre la entrada motriz y las falanges de un dedo. El diseño de este mecanismo se logró analizando el agarre tipo cilíndrico humano para conseguir las dimensiones que permitan una transmisión de movimientos antropomórfico similar al del dedo humano” (párr. 1).

Mosquera, L. y Guedez, V. (2.004) trabajo titulado. “Estudio biomecánico de la mano durante el agarre de herramientas manuales: Datos antropométricos preliminares” La finalidad de este trabajo fue “contrastar los datos obtenidos con los datos de estudios internacionalmente reconocidos y que usualmente se usan como referencia a la hora de analizar el trabajo con herramientas manuales ante la imposibilidad de contar con estudios propios, el trabajo incluyó análisis antropométricos, electromiográficos y dinamométricos de la mano en una población de 200 personas” (párr. 1).

Dario, P. y otros (2004) cuyo trabajo titulado “An integrated approach for the design and development of a grasping and manipulation system in humanoid robotics”, en este trabajo de investigación se resume que un “prototipo de mano biomecatrónica compuesta por tres dedos (dos dedos que simulan los dedos índice y medio y un dedo que simula el pulgar) de tal forma que en el proceso de agarre pudieran desarrollarse dos fases” estas constan de:

Fase 1, de posición, ubicación y adaptación del elemento a coger por parte de la mano robótica.

Fase 2, de agarre del objeto.

En la fase1, los dedos índices y medio cogen al objeto, y en la fase 2, el pulgar realiza la acción de apriete de objetos.

En estas fases se menciona que “el antropomorfismo es uno de los factores principales que se deben observar en el desarrollo de grippers o efectores finales que asemejen lo más posible a la mano humana, y en consecuencia, la reproducción de los movimientos y la forma naturales de los dedos llegan a ser muy importantes”.

Aviles, O. y otros (2005) En este trabajo titulado “Dedos para grippers robóticos – revisión bibliográfica”, se muestra la “Evolución que han tenido los distintos tipos de diseño de dedos mecánicos haciendo énfasis en su mecanismo de transmisión de movimientos, y acotaron que: si bien los desarrollos reportados muestran un avance significativo en el diseño e implementación de manos antropomórficas es claro que esta área tiene muchos campos de aplicación que no se dejan solo al campo de la Salud sino también al área industrial, el conocimiento de las diferentes técnicas de generación de movimiento así como la transmisión del mismo es de vital importancia a la hora de proponer un nuevo mecanismo”.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1 Funciones de la mano humana

Portilla Flores, Avilés Sánchez (2010) “El uso principal de las manos es tomar y sostener objetos, aunque de estos usos se derivan muchos otros, dada la gran versatilidad de los movimientos que realiza la mano; además de la precisión que se alcanza con los mismos”.

Quiroz Gutiérrez, (1962). Afirma que “en efecto la mano humana puede maniobrar en muchas posiciones, y para lograr aquello, cuenta con la destreza de los dedos y la habilidad de la muñeca para acomodarla en la posición deseada” (pp. 26-27).

Desde una perspectiva netamente anatómica, la mano y la muñeca se componen de veintisiete (27) huesos, de los cuales catorce (14)

son falanges en los dedos, cinco (5) metacarpianos en el área de la palma y ocho (8) carpos en la muñeca”. La fisiología de la mano humana se observa en la Figura N° 1

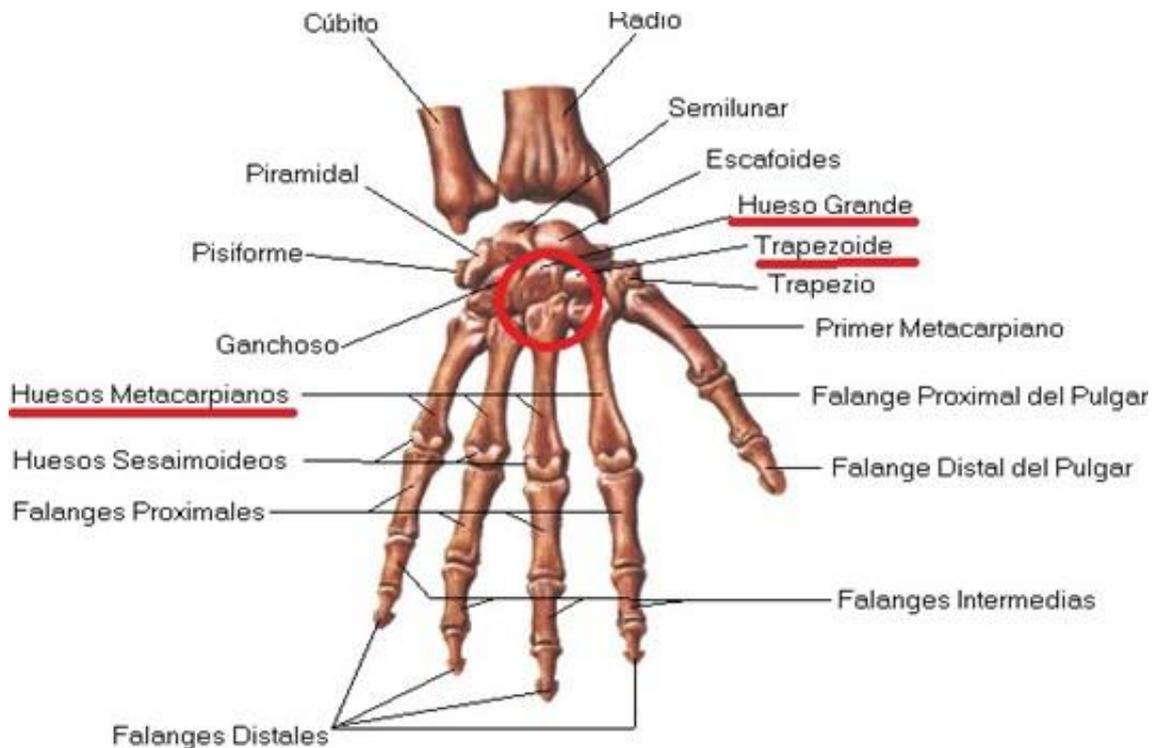


Figura 1. Fisiología de la mano humana

Fuente: https://www.ecured.cu/Articulaci%C3%B3n_del_carpo#Composiciones_de_las_articulaciones

2.2.2. Mano Robot para ayuda de personas discapacitadas

La electrónica aplicada a la robótica para ayuda en personas discapacitadas que han perdido uno de los miembros más utilizados como es la mano sea por accidentes u otras causas, es en ese sentido lo que se desea lograr a través del diseño de prototipos o prótesis que sean capaces de imitar los accionamientos o movimientos de los dedos o una parte como es la mano humana. Para ello se utilizará unos guantes sensorizados como protección del sistema de apoyo y de accionamiento de los movimientos que realiza los dedos de la mano especialmente cuando se quiere agarrar o coger algún elemento u objeto, se muestra en la figura 2.

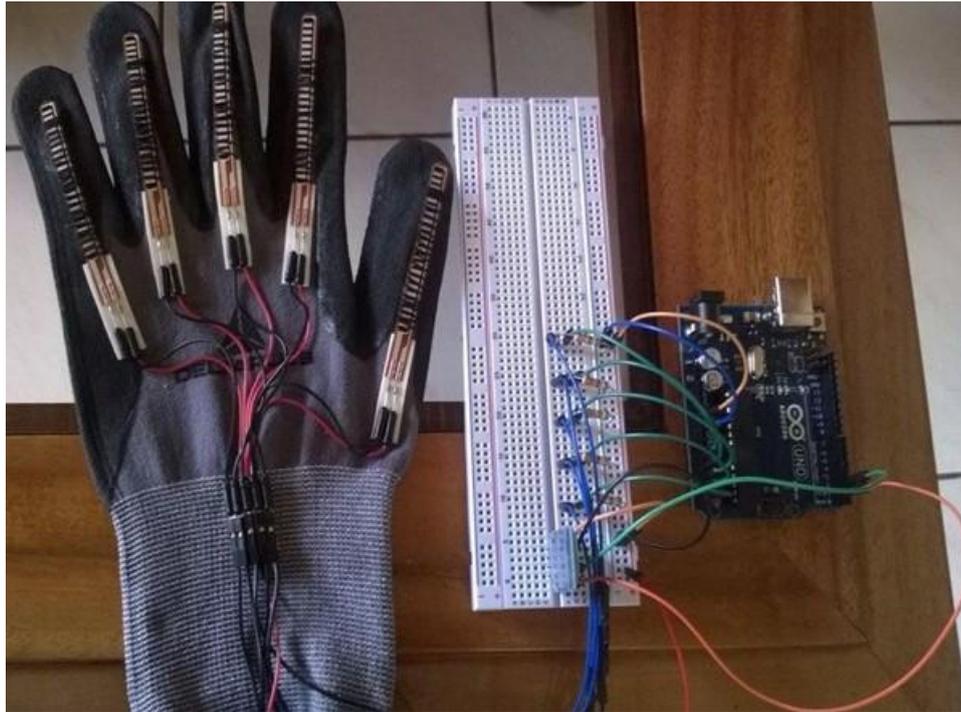


Figura 2. Guante sensorizado. Tomada de “Cómo hacer un guante con sensores flex y conexión para Android”, por Divella96, 2016

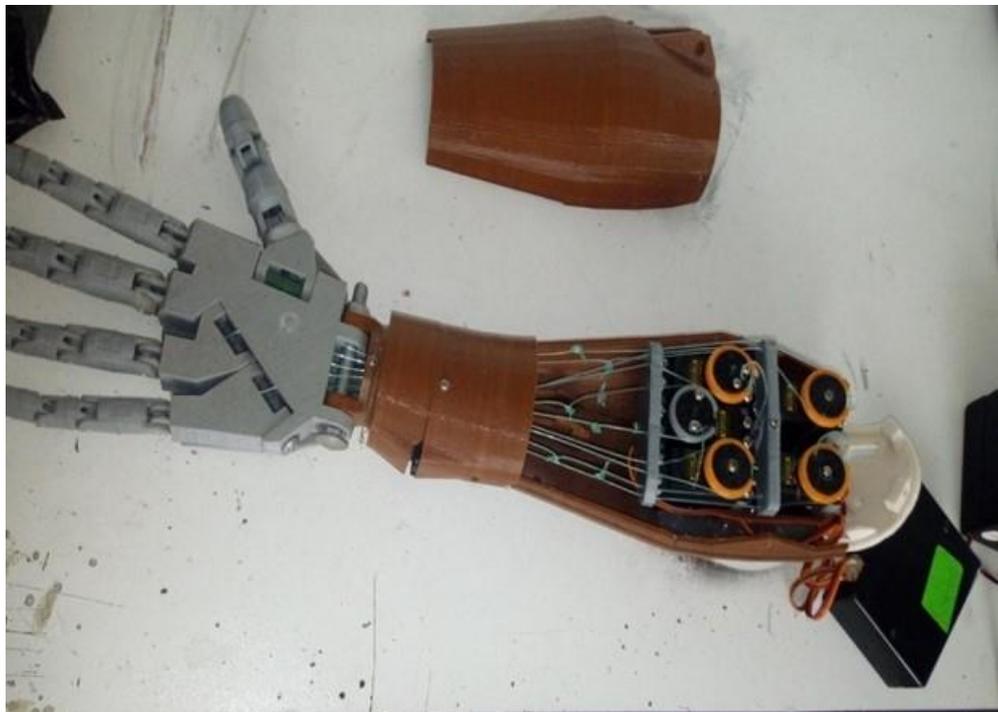


Figura 3. Mano articulada con sensor
Fuente: propia

2.2.3. Robot

La palabra robota, significa “fuerza de trabajo o servidumbre. Según la definición del Robot Institute of América, define que un robot industrial es un “manipulador programable multifuncional diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, mediante movimientos variados, programados para la ejecución de distintas tareas, el término tiene amplia aceptación y pronto se aplica a autómatas construidos en los años veinte y treinta que se exhiben en ferias, promociones de productos y otras aplicaciones”. Se manifiesta tratar de imitar el movimiento de la mano en los seres humanos. Para ello se debe utilizar técnicas de controles que definan movimientos y funciones comandados por dispositivos electrónicos.

<https://sites.google.com/site/lacienciatecnologicarobotica/objetivos-de-la-inteligencia-artificial>),

La robots que desempeñan diversas funciones en la industria son principalmente brazos articulados. Un robot manipulador está compuesto por elementos mecánicos y por diversas articulaciones. “Normalmente se distingue entre el brazo y el órgano Terminal o efector final que puede ser intercambiable, empleando pinzas o dispositivos específicos para distintas tareas, el aumento del número de articulaciones aporta mayor maniobrabilidad, pero dificulta el problema del control, obteniéndose normalmente menores precisiones por acumulación de errores, un robot manipulador es una cadena cinemática abierta formada por un conjunto de eslabones o elementos de la cadena interrelacionados mediante articulaciones o pares cinemáticos”(https://sites.google.com/site/latecnorobotica/sistema_mecanico) A continuación, se muestra en la figura N° 4. Las articulaciones y par cinemático relacionadas con el movimiento relativo conectadas con los demás eslabones sucesivos eslabones.

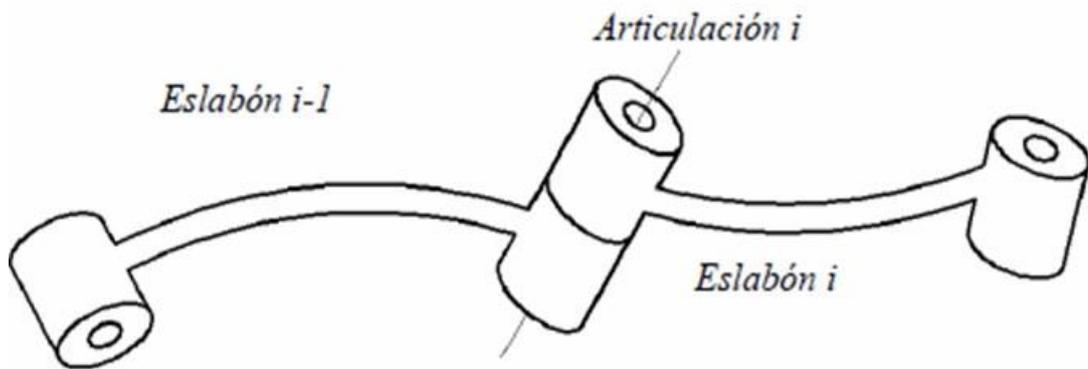


Figura 4. *Articulación y par cinemático.*

Fuente: Tomada de Diseño y simulación de una mano mecánica para ser utilizada como un efector final robótico, por Gutiérrez, 2010, p. 25.

2.2.4. Tipos de articulaciones

Hay otros tipos de articulaciones, en robótica se utilizan generalmente articulaciones que faciliten movimientos como se muestra en la figura N° 5, en ello se representa la articulación de rotación con un movimiento de un grado de libertad esta gira una rotación en torno al eje de la articulación, esta articulación se utiliza mayormente y el grado de libertad se verifica en una traslación al eje de la articulación, dicha articulación es cilíndrica y tiene dos grados de libertad, conformados por una rotación y otra de traslación, otra articulación es la plana que tiene el movimiento de desplazamiento planar.

Ello, posee dos eslabones tales como:

Eslabón i-1

Eslabón i

La articulación i grados de libertad que se muestra en la fig. N° 5, la forma 3 de articulación esférica, se compone de tres giros en tres direcciones perpendiculares en las tres coordenadas xyz .

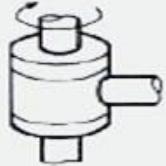
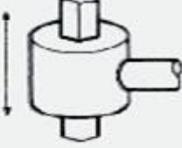
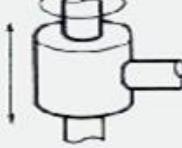
ESQUEMA	ARTICULACIÓN	GRADOS LIBERTAD
	ROTACIÓN	1
	PRISMÁTICA	1
	CILINDRICA	2
	PLANAR	2
	ESFÉRICA (RÓTULA)	3

Figura 5. *Formas de articulaciones*
Fuente: (Ollero 2007)

Según Gutierrez (2010) se puede mencionar que: “En cuanto a los efectores finales, se puede mencionar que son los elementos que se colocan en el extremo del último enlace el manipulador y que suministra la capacidad de agarre del objeto que se pretende manipular, o la colocación de una herramienta apropiada para la tarea (pintura, soldadura, entre otros), las características que hay que tener en cuenta para su diseño son: capacidad de carga, fuerza de agarre, geometría y dimensiones de los objetos que debe manejar, tolerancias, tipos de movimientos que puede ejecutar, alimentación (neumática, eléctrica, hidráulica), tiempo de actuación del mecanismo de agarre y característica de la superficie de contacto, los efectores

finales más simples son pinzas mecánicas, típicamente con dos dedos y accionamiento neumático todo/nada” (pp. 26-27)

“Existen también dedos o pinzas con material deformable para evitar que se produzca el deslizamiento de la pieza, igualmente existen pinzas con sujeciones interiores y exteriores, de apertura amplia entre otras, dentro de las nuevas estructuras para el diseño de robots manipuladores se han desarrollado en los últimos años tecnologías robóticas que han permitido abordar aplicaciones no convencionales entre las cuales se encuentran: los robots redundantes con un incremento en el número de grados de libertad; robots flexibles los cuales son útiles cuando se requiere bajo peso y gran alcance; y, por último las manos mecánicas o robóticas los cuales son órganos terminales o efectores finales de robots para la manipulación con múltiples dedos”. (Gutiérrez, 2010, pp. 27)

2.2.5. Cinemática

Gutiérrez (2010) define que “la cinemática del robot estudia el movimiento del mismo con respecto a un sistema de referencia. Así, la cinemática se interesa por la descripción analítica del movimiento espacial del robot como una función del tiempo, y en particular por las relaciones entre la posición y la orientación del extremo final del robot con los valores que toman sus coordenadas articulares”.

2.2.6. Cinemática directa

Gutierrez (2010) Las teorías y herramientas que son un conjunto de elementos que permiten “describir el movimiento de un robot manipulador y determinar la posición final de su elemento terminal sobre la base del conocimiento de sus articulaciones y los parámetros geométricos de los elementos que lo componen, es decir, dada una posición final del efector final de un robot, se desea determinar su posición luego de aplicar distintas acciones que dependen de su configuración particular”.

El tipo elementos que integran los “eslabones y articulaciones que componen el robot la obtención de la posición final no es en general complicada, siendo incluso en ciertos casos (manipuladores con pocos grados de libertad) fácil de encontrar mediante simples consideraciones geométricas”. La matriz de transformación homogénea puede utilizarse para la determinación de los manipuladores con mayor grado de libertad, se define como la matriz de transformación homogénea a una matriz de dimensión 4x4 que representa la “transformación de un vector de coordenadas homogénea de un sistema de coordenadas a otro, se puede considerar que una matriz homogénea se haya compuesta por cuatro submatrices de distinto tamaño: una submatriz R3x3 que corresponde a una matriz de rotación; una submatriz P3x1 que corresponde al vector de traslación; una submatriz f1x3 que representa una transformación de perspectiva y una submatriz W1x1 que representa un escalado global”. (Gutiérrez, 2010, pp. 34-35)

Luego se tiene que:

$$T = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & P_{3 \times 1} \\ f_{1 \times 3} & W_{1 \times 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Rotación} & \text{Traslación} \\ \text{Perspectiva} & \text{Escalado} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.2.7. Matriz de paso homogénea

Ollero (2007) esta “matriz homogénea permite obtener el resultado de rotación y traslación conjunta; en robótica, esta describe el movimiento relativo entre dos eslabones de una cadena cinemática, la cual se representa con la letra A, un súper índice a la izquierda para indicar al eslabón que sirve de base al movimiento relativo entre dos elementos, y un subíndice a la derecha para señalar al eslabón que realiza el movimiento” de esta manera $i-1A_i$ indica que

es la matriz de paso homogénea entre el elemento “i” (asociado a un sistema tomado como móvil) y el elemento “i-1” (tomado como fijo),

en donde describe la localización del sistema de referencia asociado al elemento "i", respecto al sistema de referencia asociado al elemento "i-1", se considera cuatro eventos para la transformación homogénea.

- 1.- Rotación alrededor del eje Z_{i-1}
- 2.- Traslación a lo largo de Z_{i-1}
- 3.- Traslación a lo largo de X_{i-1}
- 4.- Rotación alrededor del eje X_i

En la figura N° 6. Se representa las transformaciones mencionadas anteriormente.

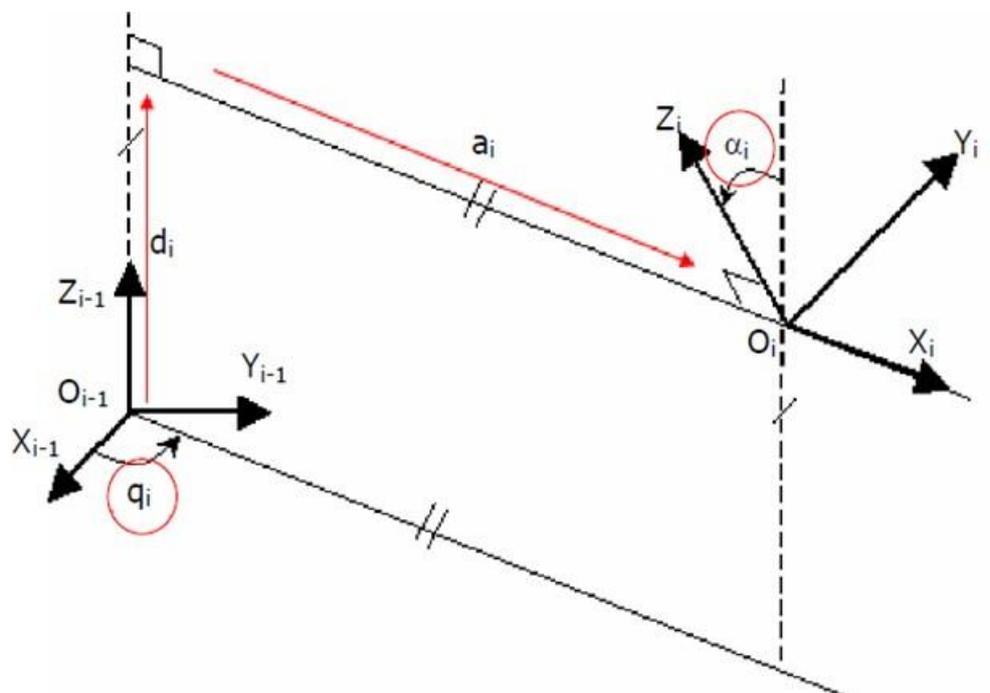


Figura 6. Representación de la transformación homogénea.

Fuente: Gutiérrez, (2010)

La expresión matemática equivalente es la "matriz de paso homogénea, la cual se obtiene con la multiplicación de las matrices de traslación y rotación" (Gutiérrez, 2010, p. 37) correspondientes a los cuatro pasos mencionados.

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\text{Sen} & 0 & 0 \\ \text{Sen} \theta & \text{Cos} \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \text{Cos} \alpha & -\text{Sen} \alpha & 0 \\ 0 & \text{Sen} \alpha & \text{Cos} \alpha & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} \text{Cos} \theta & -\text{Cos} \alpha \text{Sen} \theta & \text{Sen} \alpha \text{Sen} \theta & a \text{Cos} \theta \\ \text{Sen} \theta & \text{Cos} \alpha \text{Cos} \theta & -\text{Sen} \alpha \text{Cos} \theta & a \text{Sen} \theta \\ 0 & \text{Sen} \alpha & \text{Cos} \alpha & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

(2)

Para el dedo índice se tiene la matriz siguiente:

Matriz homogénea correspondiente al eslabón 1:

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(3)

Matriz homogénea correspondiente al eslabón 2

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\text{sen} \theta_2 & 0 & a_2 \cos \theta_2 \\ \text{sen} \theta_2 & \cos \theta_2 & 1 & a_2 \text{sen} \theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(4)

Matriz homogénea correspondiente al eslabón 3

$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\text{sen} \theta_3 & 0 & a_3 \cos \theta_3 \\ \text{sen} \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & a_3 \text{sen} \theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Matriz homogénea correspondiente al eslabón 4

$${}^3A_4 = \begin{bmatrix} \cos \theta_4 & -\text{sen} \theta_4 & 0 & a_4 \cos \theta_4 \\ \text{sen} \theta_4 & \cos \theta_4 & 1 & a_4 \text{sen} \theta_4 \\ 0 & 0 & 1 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Matriz de transformación homogénea

$$T = {}^0A_1 * {}^1A_2 * {}^2A_3 * {}^3A_4 = {}^0A_4 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & P_x \\ n_y & o_y & a_y & P_y \\ n_z & o_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Definiendo el vector de posición p y las ternas orto normales

$$P = \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$n = \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{bmatrix}$$

$$o = \begin{bmatrix} o_x \\ o_y \\ o_z \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$a = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}$$

Con las ecuaciones 7, 8 y 9 desarrolladas para los valores de Px, Py y Pz se puede ubicar el extremo del dedo índice para los valores de los ángulos θ_1 , θ_2 , θ_3 y θ_4 .

Se procede al mismo desarrollo para el dedo pulgar, similarmente se obtienen las matrices de paso homogénea para cada eslabón.

2.2.8. Cinemática inversa de la mano

Gutiérrez, (2010, p. 37) La cinemática inversa de la mano determina los valores que adoptan las coordenadas articulares del conjunto del robot, de tal manera que su extremo se oriente y posicione de acuerdo a una determinada ubicación espacial, utilizando en ella una resolución no sistemática, dependiendo de la configuración del robot y pueden existir múltiples soluciones. Para realizar un estudio cinemático inverso se utilizarán los siguientes modelos:

a) “Modelado por medio de relaciones geométricas: a diferencia del modelado que se puede llevar a cabo para la cinemática directa, se suele utilizar para obtener los valores variables articulares a partir de relaciones geométricas y trigonométricas a través de resolución de triángulos”.

b) “Modelado por medio de matrices de transformación homogénea: Es un procedimiento opuesto al realizado en el análisis para la cinemática directa, en donde se despeja por medio de la matriz las diferentes variables de las coordenadas articulares, partiendo de los vectores de la posición inicial del robot”.

Por medio de la cinemática inversa se determina la configuración que los dedos de la mano robótica pueden adoptar para determinadas posiciones, ubicación y respectiva orientación.

Ollero (2007), “este estudio se puede realizar de dos maneras, uno por medio de relaciones geométricas, otro a través de las matrices de transformación homogéneas inversas”, el estudio de la cinemática inversa se realiza por medio de las relaciones geométricas debido a que, la configuración geométrica de la mano requiere de este método es más sencillo y práctico.

Este análisis se realizará particularmente para el dedo índice, para los demás dedos el análisis es similar al dedo índice.

Para el dedo índice se considera el análisis siguiente:

1. La mano ejecuta su movimiento en un plano, la posición de la coordenada en el eje Z (P_z) puede ser valor fijo que en este caso es de - 30mm.
2. El extremo final del dedo índice viene dada por las coordenadas P_x , P_y y P_z , mientras que la orientación está dada, en este caso, por el ángulo que forma la horizontal con la falange distal.

3. En la figura 7 y 8 mostramos las relaciones de geométricas y angulares del dedo índice de orientación dada y posición.

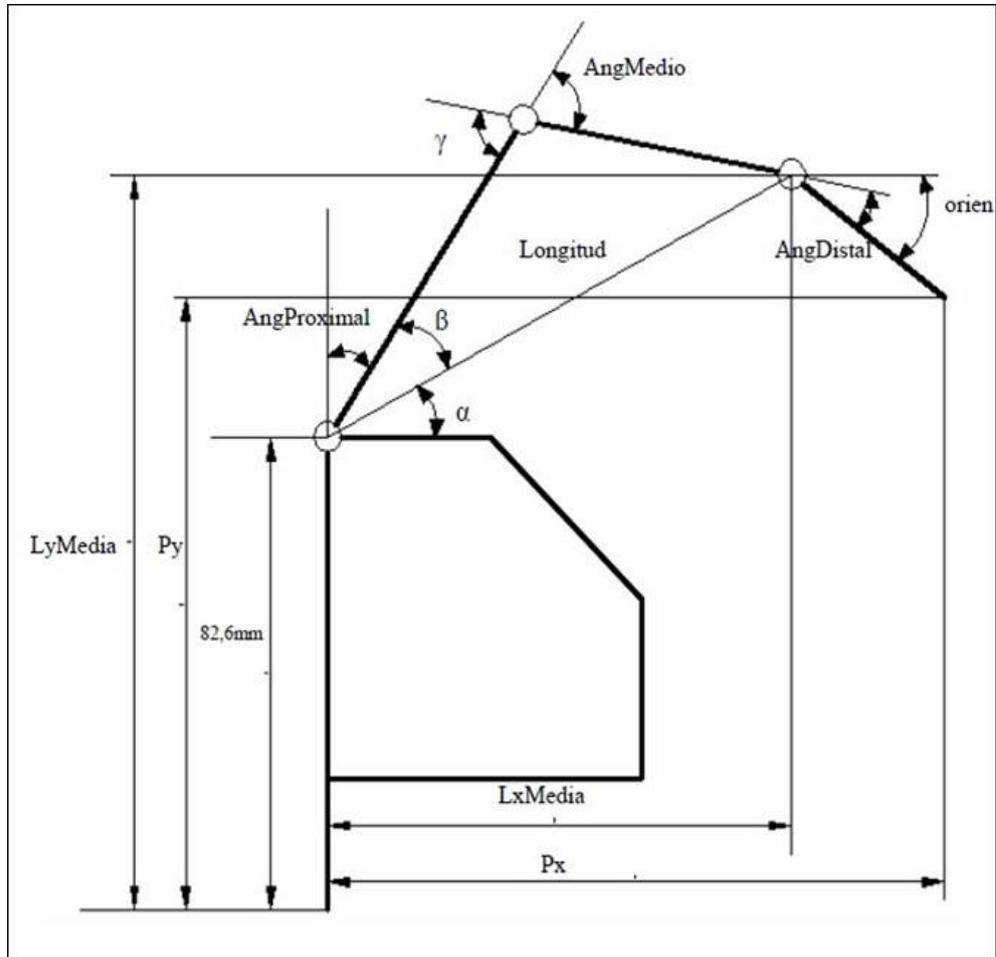


Figura 7. Relaciones geométricas del dedo índice. Tomada de Gutiérrez, (2010, p. 76)

Las formulas geométricas del dedo índice, son las siguientes:

$$\begin{aligned}
 \text{Ang Proximal} &= (\pi / 2) - (\alpha - \beta) \\
 \alpha &= \text{Tg}^{-1} \left(\frac{\text{LyMedia} - 82,6}{\text{LxMedia}} \right) \quad (10)
 \end{aligned}$$

$$LxMedia = Px - \text{Cos}(\text{orient}) * \text{LongDistal}$$

$$LxMedia = Py - \text{Sen}(\text{orient}) * \text{LongDistal}$$

$$\beta = \text{Cos}^{-1} \left(\frac{\text{Long Pr oximal}^2 - \text{LongDistal}^2 + \text{Longitud}^2}{2 * \text{Long Pr oximal} * \text{Longitud}} \right)$$

$$\text{AngMedio} = \pi - \gamma$$

$$\gamma = \text{Cos}^{-1} \left(\frac{\text{Long Pr oximal}^2 + \text{LongDistal}^2 - \text{Longitud}^2}{2 * \text{Long Pr oximal} * \text{Longitud}} \right)$$

$$\text{AngDistal} = \text{Ang Pr oximal} - \text{AngMedio} + \text{orient} - \pi \quad (11)$$

1. Posición del dedo índice en la coordenada Z (Pz) es de 30mm.
2. Las coordenadas Px, Py y Pz indican la posición del dedo pulgar
3. En la figura se observa la geometría del dedo pulgar para una posición dada

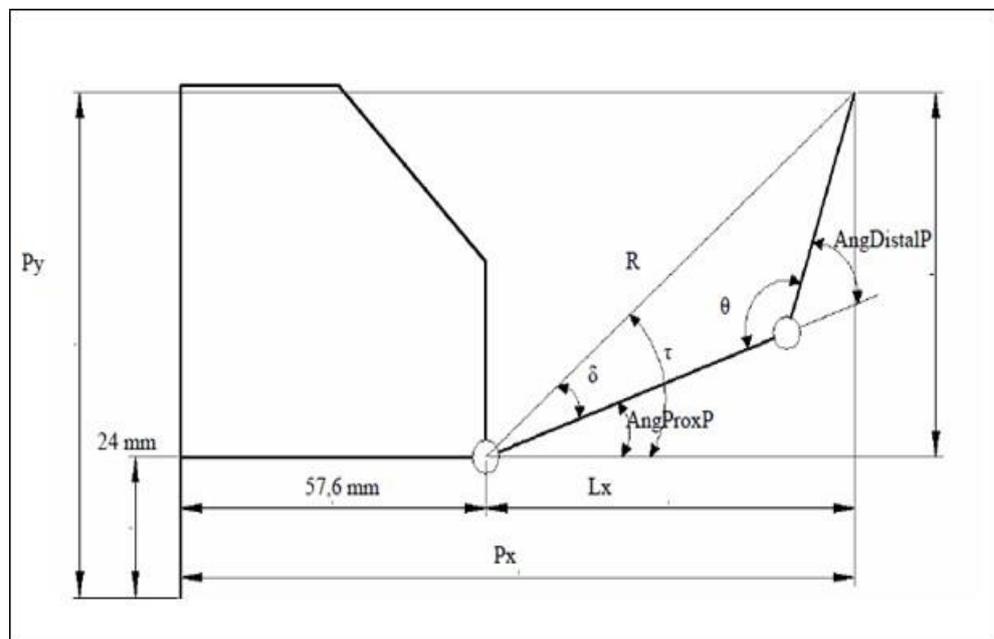


Figura 8. Relaciones geométricas del dedo pulgar. Gutiérrez, (2010, p. 78)

Las relaciones de geométricas del dedo pulgar, mostrada en la figura 8, se detallan a continuación :

$$Ly = Py - 24$$

$$Lx = Px - 57.6$$

$$R = \sqrt{(Lx^2) + (Ly^2)}$$

$$\tau = \text{sen}^{-1} \left(\frac{R^2 \text{Long Pr oxP}^2 - \text{LongDistP}^2}{2 * R * \text{Long Pr oxP}} \right)$$

$$\text{Ang Pr oxP} = \tau - \delta$$

$$\theta = \text{cos}^{-1} \left(\frac{\text{Long Pr oxP}^2 + \text{LongDistP}^2 - R^2}{2 * \text{Long Pr oxP} * \text{LongDistP}} \right) \quad (12)$$

Así se representa las fórmulas de obtención del análisis geométrico referente al análisis de la cinemática inversa de la mano.

2.3. Bloque de control con arduino

La mano robótica es programada mediante una plataforma de Arduino, lo cual permite realizar la simulación de la función de movimiento de los cinco dedos, protegida por un guante sensorial.

Arduino, es un sistema de plataforma libre, esta se utiliza como medio de control para desarrollo con micro controladores de bajo costo, es una plataforma de hardware y software libre, es factible para ser usada en distintas formas y aplicaciones, en este caso en las de función procesamiento de señales.

En la figura 9, se representa el diagrama esquemático de la mano robótica, donde se muestra el bloque de mando, correspondiente al software de la plataforma ARDUINO, en donde se programa al bloque de control, en función

de las variables de entrada y salida, también se muestra en ello el bloque de control, donde se realiza las conexiones de cableado en la placa Arduino, conectando los elementos que van a realizar los distintos movimientos a través del programa que se realiza en el bloque de mando.

En el bloque de control de la figura 9 se observa el bloque de conexión lo cual se dividen en dos, el bloque de control de movimiento y el bloque de movimiento, algo importante que tiene es la característica de estos bloques es que en ello se realiza las conexiones de los cables directamente en el Protoboard de los distintos componentes, entre ellos los servomotores, las flexoresistencias y los leds, entre otros. Del bloque de control de movimiento se envían las señales que capta y se generan en el software de la plataforma Arduino, los servomotores se posicionan en el estado inicial, el bloque de movimiento se constituye por el sistema de mecanismo conformante de la estructura física y geométrica de los dedos.

El bloque sensorial corresponde a la conexión de las flexoresistencias ubicadas en el guante; de manera que al ser puesto y mover los dedos, la mano robótica ejecuta la réplica de los movimientos que se esté realizando, de una mejor forma posible.

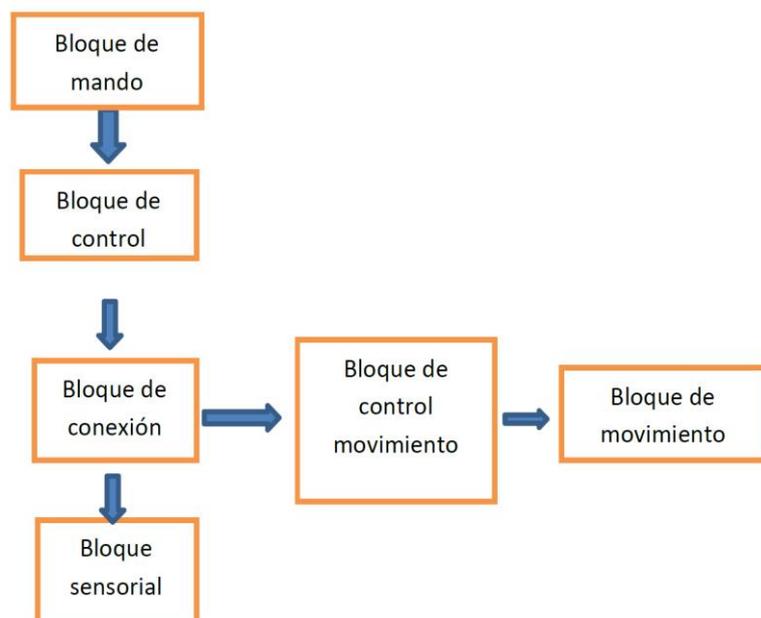


Figura 9. Diagrama esquemático de la mano robótica

2.3.1 Servomotores

El servomotor es un tipo de motor de cc de precisión para llevar a cabo la función de controlar la posición, la velocidad y el torque, para lo cual se comunica mediante la función de pulsos eléctricos, es decir señales de voltajes bajos para determinar el ángulo de posición del eje del motor. “el servo puede recibir un pulso cada 20 ms (0.02 segundos). La longitud del pulso determinará los giros de motor; un pulso de 1.5 ms., por ejemplo, hará que el motor vaya a una posición de 90 grados (posición neutra). Si el pulso es menor de 1.5 ms., entonces el motor se acercará a los 0 grados. Si el pulso es mayor de 1.5ms, el eje se moverá acercándose a los 180 grados.” En la figura 10 se muestra al servomotor.



Figura 10. Servomotor. Tomada de “Cómo funciona un servomotor”, por *Cómo funciona*, s.f.

2.3.2. Flexoresistencias

El Flex sensor es un tipo de resistencia que cambia sus valores en función de la curvatura es decir de acuerdo a la cantidad de giro que da la resistencia m sus valores óhmicos van a ir variando por la variación de curvatura por tanto la resistencia eléctrica será menor cuando la curvatura es también menor y será mayor cuando la curvatura también es mayor. Estos son empleados en los guantes

para detectar el movimiento del dedo, para controlar automóviles, productos de fitness, en este caso para permitir realizar moviminetos comandados entre otros, ver figura 11.

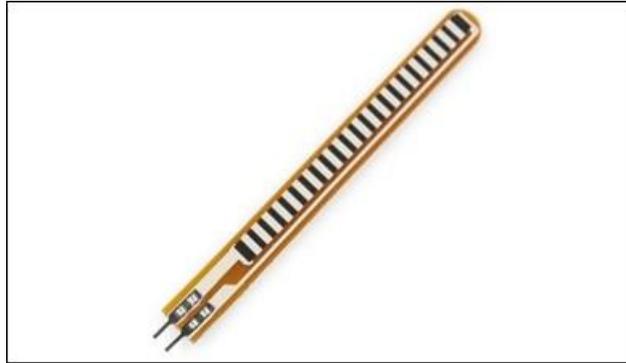


Figura 11. Flexorresistencia. Tomada de “Tutorial: Aprender a usar un sensor flex con Arduino”, por Ude, 2016

2.3.3. Arduino

Ivrea, Italia (2005). Arduino es una plataforma de código abierto conformado por hardware y software de fácil utilización, las placas, “Arduino son capaces de leer los insumos - la luz en un sensor, un dedo en un botón, o un mensaje de Twitter - y lo convierten en una salida - la activación de un motor, encender un LED, publicar algo en línea, se puede decirle a su tablero qué hacer mediante el envío de un conjunto de instrucciones para el micro controlador en el tablero. Para ello se utiliza el lenguaje de programación de Arduino (basado en Wiring), y el software de Arduino (IDE)”. Se muestra en la figura 12.

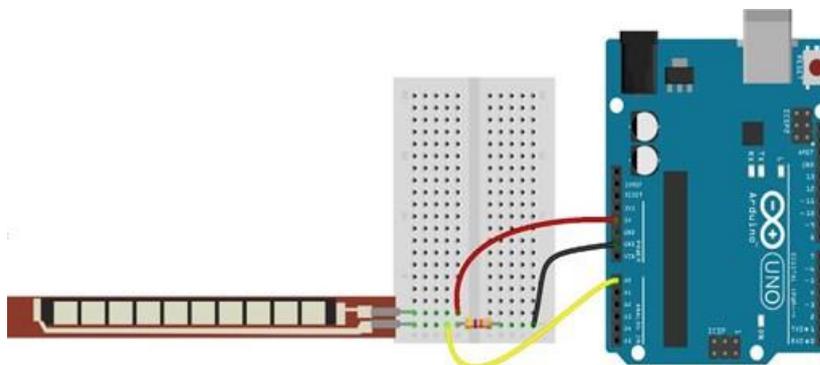


Figura 12. Placa Arduino Uno. Tomada de “Tutorial: Aprender a usar un sensor flex con Arduino”, por Ude, 2016

2.4. Definición de términos básicos

2.4.1 Arduino.

Es una plataforma de código abierto (open- source) con soporte en hardware y software flexibles y simples de usar. Permite crear entornos interactivos que ejerce control de elementos mecánicos y electrónicos.

2.4.2 Eslabones.

Son elementos mecánicos de enlace se usa para unir o hacer cadenas curvos o lineales.

2.4.3 Flexoresitencias.

El flexo resistencia es un tipo de resistencia que cambia sus valores en función de la curvatura es decir de acuerdo a la cantidad de giro que da la resistencia, en este caso, a la vez que genera las “señales para controlar los servomotores responsables del movimiento”.

2.4.4 Microcontroladores.

Un micro controlador (abreviado μ C, UC o MCU) es un dispositivo electrónico que contiene una memoria grabable y programable que ejecuta órdenes que han sido grabadas en su memoria.

2.4.5 Led.

Según la Sigla de la expresión inglesa light-emitting diode, “diodo emisor de luz, es un tipo de diodo empleado en computadoras, paneles numéricos”, (en otros dispositivos de visibilidad) etc.

2.4.6 Protoboard.

Según Tuelectrónica.es, es una “placa que posee unos orificios conectados eléctricamente entre sí siguiendo un patrón horizontal o vertical”. También sirve para realizar conexiones de los dispositivos

electrónicos mediante cables para los cuales se utiliza los agujeros que están alineados ordenadamente y previo a una tarjeta electrónica se experimenta primero el llamado protoboard,

2.4.7 Posición.

Se define como “la posición de una partícula en el espacio se representa como una magnitud vectorial respecto a un sistema de coordenadas de referencia”.

2.4.8. Servomotores.

Un servomotor es un motor eléctrico que puede ser controlado tanto en velocidad como en posición.

Es un tipo de motor de cc de precisión para llevar a cabo la función de controlar la posición, la velocidad y el torque, para lo cual se comunica mediante la función de pulsos eléctricos.

2.4.9 Sensor.

Se define como sensor a un dispositivo electrónico que tiene propiedades de ser sensible a una magnitud dada, y al variar esta magnitud también varía la propiedad en cierta intensidad, manifestando la variación de la magnitud, y de su medida.

2.4.10 Twiter.

Es el nombre de una “plataforma de microblogging que permite comunicarse y compartir contenidos en tiempo real desde cualquier lugar en el mundo a través de internet”.

2.4.11 Torque.

Al torque se puede definir como un brazo de palanca que sirve para realizar un incremento de fuerza que puede realizar un movimiento de rotación en función a la longitud el brazo por la fuerza ejercida sobre él, que llamamos torque o momento de la fuerza.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

El tipo de investigación es tecnológico y se ha utilizado el nivel aplicativo o de innovación donde la combinación o estructuras del objeto ha permitido mejorar la productividad del flujo de su funcionamiento ambos medidos a través de la variable dependiente (Espinoza. 2014)

En el diseño de la mano robótica se debe tener en cuenta varios criterios a realizar entre ellos los componentes y dispositivos para realizar el ensamble los movimientos, el agarre, tipos de actuadores, articulaciones, velocidad para realizar movimientos entre otros.

El prototipo debe cumplir con el planteamiento propuesto, la obtención de las conclusiones que son aspectos importantes que se debe obtener considerando el costo y la economía del diseño y construcción del prototipo de mano robótica.

El diseño CAD es necesario ya que en ello se obtendrá los aspectos del diseño de los componentes de las piezas para las articulaciones y ensambles adecuados.

En cuanto a la electrónica y control, para iniciar con el control de todo el proceso, se debe seleccionar una buena arquitectura es decir módulos de respuesta rápida, procesamiento y permitan implementar algoritmos de control. Se debe partir del procesamiento de señales el cual busca obtener una señal óptima, esto se consigue con una etapa de acondicionamiento. Una vez recibido el comando que envía el dispositivo de medición y que corresponde con un movimiento, éste se decodifica, obteniendo los parámetros característicos de dicho movimiento.

3.2. Diseño de la investigación

Para la ejecución de este trabajo de investigación se ha realizado el diseño de aplicación que un esquema de trabajo apoyará a la secuencia del proceso y los objetivos específicos planteados.

El diseño que se utilizó durante la investigación fue el Diseño de Aplicación, ya que se evaluó la conversión de un modelo teórico de solución a un objeto físico. Para la evaluación de la solución es el prototipo de la incubadora. (Equipo experimental).

La comparación entre pruebas se basó en la siguiente estructura:

EE x O1

Donde:

- EE: Equipo experimental.
- X: Funcionamiento del equipo diseñado
- O1: Observación de la variable dependiente del EE.

3.3. Método de investigación

El método de investigación está compuesto de cinco fases que a continuación se detallan:

Fase I: organización y recopilación de los planteamientos metodológicos de estudios realizados por otros autores referentes a la mano robótica.

Fase II: características del agarre del manipulador.

Fase III: Determinación del análisis cinemático.

Fase IV: Realización de la simulación del movimiento de la mano.

Fase V: Diseño del prototipo de la mano robótica.

3.4 Recursos

- Recurso humano: se requiere algunas personas para solicitar algunas informaciones, datos y aportes para realizar este trabajo de investigación.
- Recursos institucionales: Esta investigación se realizó en la Universidad Continental de Ciencias e Ingeniería, en la facultad de Ingeniería Mecánica de la UCCI.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

4.1. Identificación de requerimientos

A.- Diseño

El diseño tiene como finalidad “realizar los diseños mecánicos y electrónicos generales apropiados basados en bosquejos, teniendo en cuenta características mecánicas como esfuerzos sobre los materiales, resistencia, etc. Como también conceptos electrónicos como la potencia a usar, baterías a usar, protecciones al circuito, etc.”
(https://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_mec%C3%A1nico)

B.- Diseño a partir de herramientas CAD

El diseño CAD cuya finalidad es realizar los diseños CAD obteniendo los planos mecánicos y la simulación con las herramientas de SOLID WORK.

C.- Selección de componentes

La selección de componentes tiene como finalidad identificar de los componentes electrónicos básicos del entorno Arduino y los materiales a usar; teniendo en cuenta las características de los dispositivos electrónicos y dispositivos mecánicos así mismo los componentes para el control de señales.

Estos componentes son dispositivos electrónicos tales como:

- Arduino (UNO): es la plataforma o software de desarrollo libre, de bajo costo, ver figura 13.



Figura 13. *Arduino UNO.*

Fuente: <https://hifisac.com/shop/product/ar-unor3c-arduino-uno-r3-compatible-con-arduino-6109#attr=>

BLE Bluetooth 4,0: para Arduino, Android, IOS, HM-10 BLE CC2540 CC2541 serie módulo inalámbrico TTL transceptor junta, antena PCB, ver figura 14.



Figura 14. *Bluetooth Arduino.,*

Fuente: <https://hifisac.com/shop/product/ar-unor3c-arduino-uno-r3-compatible-con-arduino-6109#attr=>

- ServoMotores y Motores DC, tipo de motor de cc de precisión para llevar a cabo la función de controlar la posición, la velocidad y el torque, para lo cual se comunica mediante la función de pulsos eléctricos.

E.- Programación de algoritmos

La programación de algoritmos controlara a los actuadores eléctricos conectados en la mano robótica.

4.1.1. Prototipo de mano robótica

Para la realización del diseño y construcción de la mano robótica se considera la secuencia de actividades a seguir:

A.- Producción de piezas a usar en el diseño de mano robótica
Considerando el diseño mecánico realizado en la etapa 1, se procede a realizar la construcción teniendo en cuenta los datos geométricos de diseño, y luego se procederá a fabricaren la impresora 3D.

B.- Ensamble de los componentes mecánicos y dispositivos eléctricos
Se realiza el ensamble de las piezas mecánicas o eslabones y los actuadores eléctricos para el movimiento a la mano robótica. También se fijarán los sensores y el módulo de comunicación al guante instrumentado.

C.- Potencia de los actuadores

Se realizará el ensamble de los dispositivos electrónicos para cumplir la tarea de dar potencia a los actuadores, también para los componentes de procesamiento de señal

4.2. Análisis de la solución

Para realizar el análisis de la solución se puede observar en la caja negra el sistema general de la mano robótica en cuanto a las funciones de entrada y salida que será la solución en cuanto se refiere a la función motora de la mano robótica, se muestra en la figura 15.



Figura 15. Caja negra de la mano robótica.
Fuente propia

4.2.1 Propuesta de la solución

Como base de la propuesta de la solución para el proceso de investigación, se siguió la metodología de la Norma VDI 2221 de diseño. La norma VDI 2221 divide el proceso de diseño de máquinas en 7 etapas que se muestran en la figura 16.

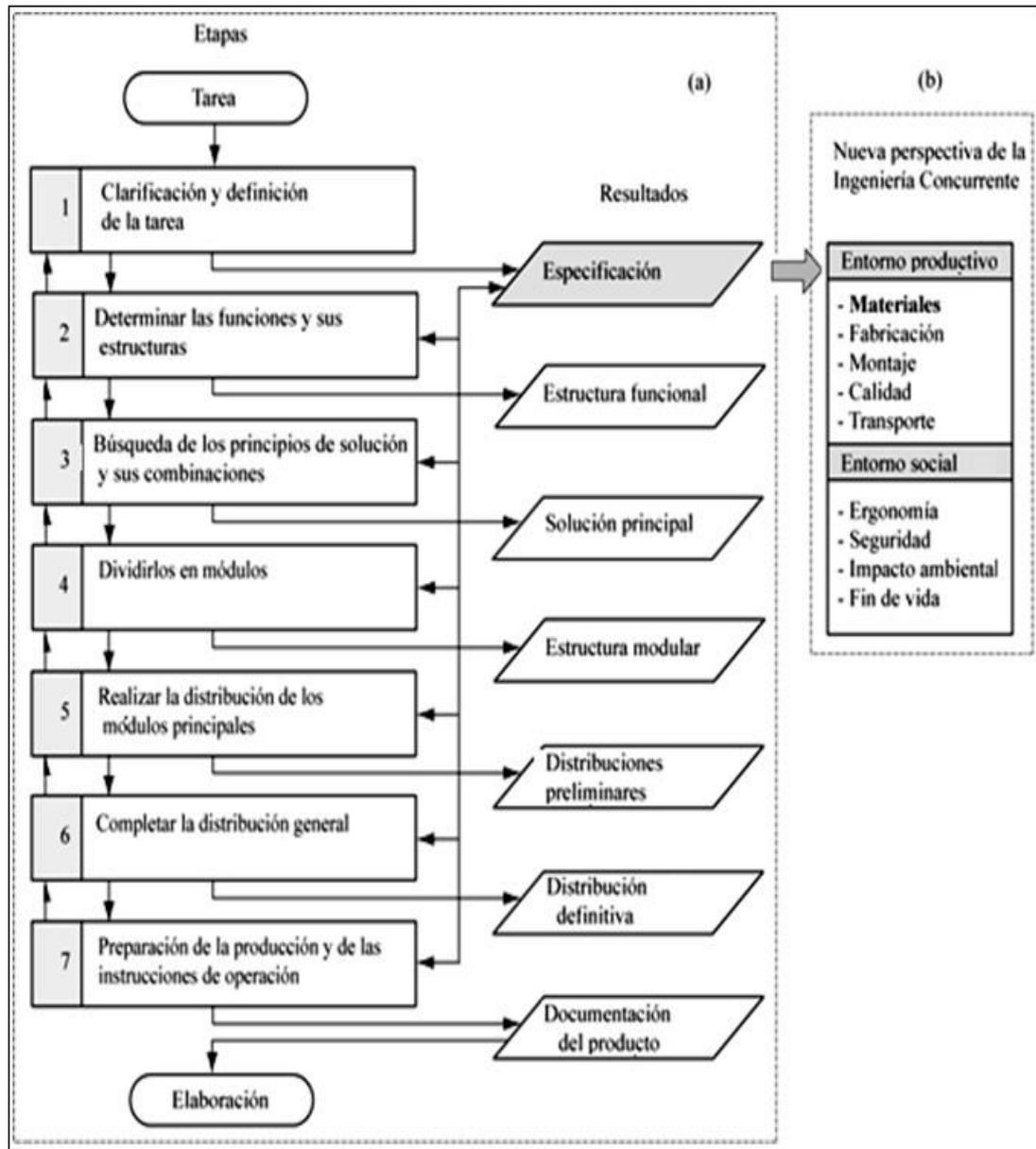


Figura 16. Esquema de etapas de diseño de la Norma VDI 2221.

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Etapas-del-proceso-de-diseno-segun-la-norma-VDI-2221_fig1_237027287

La norma VDI 2221 establece que no es estrictamente obligatorio seguir el orden de las etapas como se muestran en la figura 16, por lo que la etapa 3 de “Búsqueda de los principios de solución” fue desarrollada en el Capítulo II, detallando todas las tecnologías que pudieran ser seleccionadas para el desarrollo del problema.

4.3. Exigencias de diseño

Para el diseño debe cumplir las siguientes exigencias:

1. Diseñar un mecanismo prototipo que se realice funciones de movimiento, para simular las acciones de la mano humana.
2. Los dispositivos utilizados en el diseño deben brindar características de respuesta deseadas.
3. Los precios de los componentes deber ser bajos por cuanto se desea que sean económicos y estén al alcance de los más necesitados.
4. Los sensores y actuadores deben ser adecuados a un guante para la manipulación y función del sistema.
5. La comunicación será de manera inalámbrica con respuesta inmediata.

4.3.1. Lista de exigencias

Tabla 1. *Lista de Exigencias*

Lista de exigencias				Pág. 1/3
Proyecto		Mano robótica para función motora de personas discapacitadas		Revisado:
Cliente				Elaborado:
Fecha (cambios)	Deseo	Exigencia	Descripción	Responsable
FUNCIONES				

20/08/2019		X	Producir los movimientos deseados de los dedos...	
20/08/2019		X	Producir movimientos por acción de transmisión de movimientos.	
20/08/2019		X	Producir movimiento de rotación de los servomotores en los dedos.	
20/08/2019		X	El sistema debe realizar sus funciones con componentes y/o partes móviles que permitan maniobrar	
		X	Eficiencia global superior al 80 %.	
20/08/2019		X	El sistema debe controlarse de manera totalmente automatizada.	
GEOMETRÍA				
20/08/2019		X	El sistema debe tener una estructura , ligera compacta y maniobrabable.	
20/08/2019		X	El sistema cuenta con dos estructuras contiguas: estructura de la mano y estructura del brazo, las cuales están contenidas en la misma estructura.	
20/08/2019		X	Ningún componente queda al exterior de la estructura principal. Solo lo hacen la pantalla indicadora y los interruptores de inicio.	
CINEMÁTICA				
20/08/2019		X	El sistema debe desenvolverse dinámicamente en un espacio reducido.	
20/08/2019		X	Debe contar con un sistema de giro para movimiento de los dedos.	
20/08/2019		X	El sistema de giro debe ser sencillo y con 5 grados de libertad.	
20/08/2019		X	No deben producirse ruidos o vibraciones exageradas producto del funcionamiento.	
FUERZAS				
20/08/2019		X	La estructura del sistema de volteo debe resistir el peso de hasta 6 huevos como máximo.	
20/08/2019		X	El sistema debe tolerar deformaciones en sus componentes producto de las interacciones térmicas.	

ENERGÍA			
20/08/2019		X	El sistema debe operar en su totalidad con energía eléctrica de la red doméstica.
		X	El sistema debe no debe exceder de una temperatura de 30 °C que se requiere para garantizar su operatividad
20/08/2019		X	El sistema debe tener aislamientos térmicos entre sus componentes para evitar cortos circuitos
20/08/2019	X		Las pérdidas deben ser menores al 10 %.
20/08/2019		X	La alimentación de los servomotores no debe ser superior a los 9V.
20/08/2019		X	La generación de calor es mediante resistencia calefactora.
20/08/2019		X	La transferencia de calor hacia los huevos es por convección.
MATERIA			
20/08/2019		X	Los fluidos utilizados son únicamente agua potable y aire sin tratamiento especializado.
20/08/2019		X	Debe haber aire fresco desde el exterior al interior
20/08/2019		X	El flujo de aire no es necesariamente constante.
20/08/2019		X	Los materiales utilizados no deben tener efectos de la corrosión u oxidación
SEÑALES			
20/08/2019		X	Deben usarse sensores digitales y analógicos para el procesamiento de señales.
20/08/2019		X	El procesamiento de datos se realiza automáticamente mediante software.
20/08/2019		X	Todo el sistema opera de manera automática mediante tarjetas Arduino.
SEGURIDAD			
24/08/2019	X		El sistema debe estar protegido contra descargas eléctricas.

	X		No debe existir elementos o partes punzocortantes expuestas.	
ERGONOMÍA				
24/08/2019	X		El acceso hacia los componentes debe ser sencillo e intuitivo.	
FABRICACIÓN				
24/08/2019		X	Los componentes por naturaleza deben garantizar su fabricación nacional y permanentes en el mercado nacional.	
MONTAJE				
24/08/2019	X		El sistema debe garantizar su ensamble con herramientas domésticas.	
24/08/2019	X		Debe ser capaz de operar en espacios reducidos.	
TRANSPORTE				
24/08/2019		X	Debe ser liviano y de fácil manejo.	
USO				
24/08/2019		X	El sistema es completamente silencioso.	
24/08/2019		X	El sistema no tiene movimientos exagerados.	
24/08/2019		X	Las partes móviles se reducen al mínimo.	
24/08/2019		X	El sistema empieza a operar automáticamente al pulsar el movimiento de los dedos.	
24/08/2019	X		El sistema debe poder ser utilizado por personas sin conocimientos específicos de automatización o electrónica.	
MANTENIMIENTO				
24/08/2019		X	Las partes móviles con fricción deben requerir el mínimo de mantenimiento.	
24/08/2019		X	No deben usarse lubricantes líquidos.	

	X		El sistema debe emitir alertas cuando un componente opere deficientemente o deje de operar.	
24/08/2019		X	No debe requerir labores de limpieza o revisión constantes.	
24/08/2019		X	El sistema es completamente autónomo.	
COSTOS				
24/08/2019	X		El costo de fabricación deben ser menores a los costos de otros similares que ofertan en el mercado,	
PLAZOS				
24/08/2019	X		El desarrollo del sistema no debe superar los 2 meses para la etapa de diseño y los 2 meses para la etapa de prueba.	

4.3.2. Conceptos de solución

Del diseño y las exigencias antes descritas se obtiene el concepto de solución previa que es:

Concepto de solución 1:

- 02 Microcontroladores Arduino Mega
- 05 Sensores flex
- 02 sensores bluetooth
- Micro-servos
- Micro-pulsador
- Resistencias 2200 ohms
- 01 mano y dedos impresos en 3D
- 01 antebrazo impresos en 3D
- 02 Protoboard
- 05 poleas 30mm diámetro
- Cables eléctricos
 - 03 metros de cuerda de nylon
 - 01 guantes tejidos de lana
 - 01 batería de 9V

- 01 adaptador 220 V – 9V

Concepto de solución 2:

- 02 microcontroladores Arduino Mega
- 05 sensores flex
- 02 sensores bluetooth
- Micro servos
- Micro-pulsador
- Resistencias 2200 ohm
- 01 mano y dedos impresos en 3D
- 01 antebrazo impresos en 3D
- 02 Protoboard
- 05 poleas 30mm diámetro
- Cables eléctricos
 - 03 metros de cuerda de nylon
 - 01 guantes tejidos de lana
 - 01 batería de 9V
 - 01 adaptador 220 V – 9V

Concepto de solución 3:

- 02 microcontroladores Arduino Mega
- 05 sensores flex
- 02 sensores bluetooth
- Micro-servos
- Micro-pulsador
- Resistencias 2200 ohm
- 01 mano y dedos impresos en 3D
- 01 antebrazo impresos en 3D
- 02 Protoboard
- 05 poleas 30mm diámetro
- Cables eléctricos
 - 03 Metros de cuerda de nylon

- 01 guantes tejidos de lana
- 01 batería de 9V
- 01 adaptador 220 V – 9V

Concepto de solución 4:

- 02 microcontroladores PIC
- 05 sensores flex
- 02 sensores bluetooth
- Micro-servos
- Micro-pulsador
- Resistencias 2200 ohm
- 01 mano y dedos impresos en 3D
- 01 antebrazo impresos en 3D
- 02 Protoboard
- 05 poleas 30mm diámetro
- Cables eléctricos
 - 03 metros de cuerda de nylon
 - 01 guantes tejidos de cuero
 - 01 batería de 9V
 - 01 adaptador 220 V – 9V

4.3.3 Evaluación económica

Costo admisible de fabricación: S/. 1440.00 Costo ideal = 0.7 x
S/.1440 = S/. 1008.00

Valor económico = Costo ideal/Precio aproximado

Tabla 2. Evaluación económica.

	Concepto de Solución 1	Concepto de Solución 2	Concepto de Solución 3	Concepto de Solución 4
Precio aproximado	1440	1480	1550	1490
Valor económico	0.90	0.76	0.64	0.83

De este cuadro se observa que el concepto de solución 1 tiene el más alto valor económico, por lo que sería la alternativa seleccionada.

4.3.4. Evaluación técnica

Para la evaluación técnica se tienen en cuenta los siguientes criterios que estarán valorizados entre 1 como mínimo y 5 como máximo.

Valor técnico = Suma ponderada/Puntaje máximo Criterios:

- (C1): Fabricación simple o sencilla
- (C2): Fácil transporte
- (C3): Operación sencilla
- (C4): Demanda de energía
- (C5): Demanda de mantenimiento
- (C6): Ruido bajo

Tabla 3. Criterios y valor técnico

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	Suma ponderada	Puntaje máximo	Valor técnico
	PESO	0.25	0.25	0.15	0.15	0.05	0.15			
Concepto de Solución 1	Valor	5	5	4	4	4	3	4.35	5	0.87
	Puntaje	1.25	1.25	0.6	0.6	0.2	0.45			
Concepto de Solución 2	Valor	2	4	4	3	4	3	3.2	5	0.64
	Puntaje	0.5	1	0.6	0.45	0.2	0.45			
Concepto de Solución 3	Valor	3	4	3	2	4	3	3.15	5	0.63
	Puntaje	0.75	1	0.45	0.3	0.2	0.45			
Concepto de Solución 4	Valor	5	4	4	4	3	3	4.05	5	0.81
	Puntaje	1.25	1	0.6	0.6	0.15	0.45			

4.3.5. Evaluación de conceptos de solución

Tabla 4. Evaluación de conceptos de solución

	Concepto de Solución 1	Concepto de Solución 2	Concepto de Solución 3	Concepto de Solución 4
Valor económico	0.9	0.76	0.64	0.83
Valor técnico	0.87	0.64	0.63	0.81

Los resultados obtenidos se visualizan en una gráfica de la figura 17.

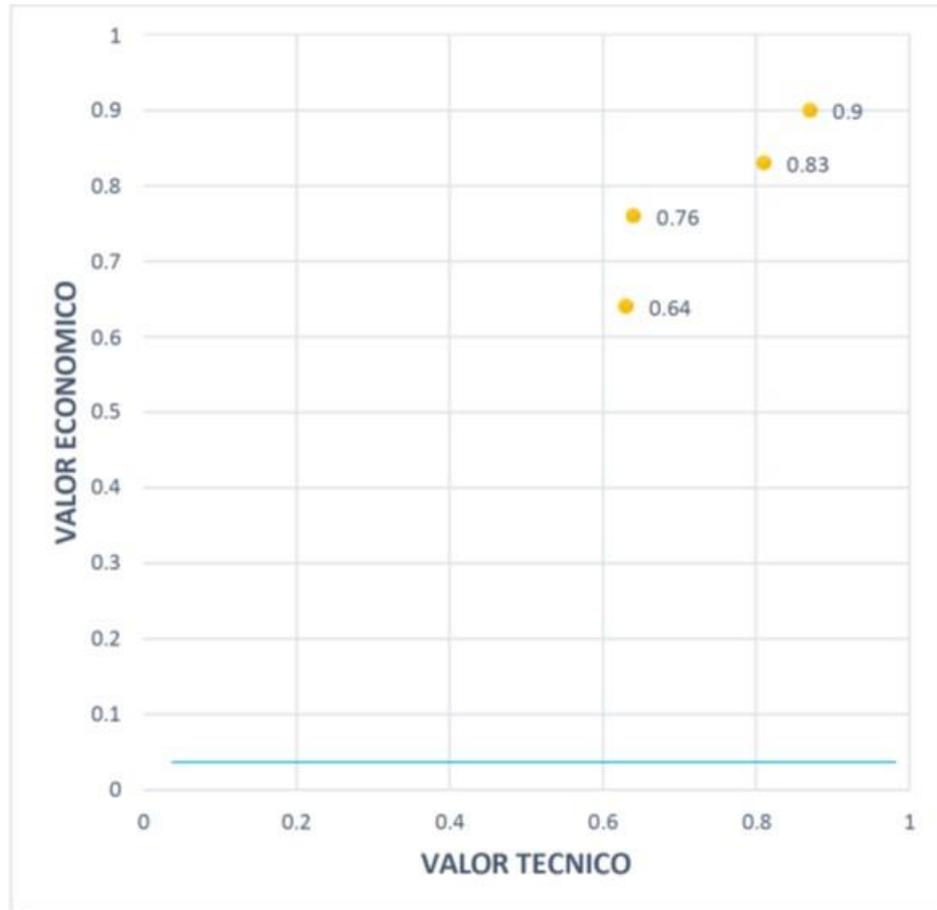


Figura 17. Evaluación de conceptos de solución.

La solución ideal se encuentra en el punto definido como (1:1). Por lo tanto el concepto óptimo se elige entre los conceptos que se encuentren más cercanos a la solución ideal del gráfico.

Se determina así que el CONCEPTO DE SOLUCIÓN 1 es el CONCEPTO ÓPTIMO con el que se procederá la siguiente fase de ingeniería de detalle.

4.4. Proyecto preliminar

La alternativa seleccionada como Concepto Óptimo es el concepto de solución 1 que consta de los siguientes elementos:

- 02 microcontroladores Arduino Mega
- 05 sensores flex

- 02 sensores bluetooth
- Micro-servos
- Micro-pulsador
- Resistencias 2200 ohm
- 01 mano y dedos impresos en 3D
- 01 antebrazo impresos en 3D
- 02 Protoboard
- 05 poleas 30mm diámetro
- Cables eléctricos
- 03 metros de cuerda de nylon
- 01 guantes tejidos de lana
- 01 batería de 9V
- 01 adaptador 220 V – 9V

La figura 18 muestra la distribución de elementos del concepto óptimo.



Figura 18. *Concepto óptimo de solución*

Fuente: propia

CAPITULO V

CONSTRUCCIÓN DE LA MANO ROBÓTICA

5.1. Construcción del brazo

La construcción de la mano del prototipo requiere de una estructura mecánica que sirva para brindar un soporte físico que apoye al ensamble de los dispositivos mecánicos y electrónicos, que para ello se utilizaron el software Autocad y solid work permitiendo el diseño dimensional de la estructura mecánica, así mismo se pudo simular las piezas del prototipo es decir de los dedos de la mano robótica en Solid Works.

“La estructura de cada dedo se implementó con un material flexible de 23 mm de diámetro, con un refuerzo de PVC rígido en espiral anti-choque, que soporta una presión de 150 psi. Esta manguera se une a un servomotor a través de un Nylon, transparente, de 0,30 mm de diámetro y resistencia de 12,62 Kg. Los dedos se unen a una caja de madera de 3 mm de espesor, que representa la palma de la mano; en ella se encuentran 3 LEDs, diodos emisores de luz, que indican si el guante sensorial está abierto o cerrado”.

“Los dedos son movidos por cinco servomotores Servo 9g SG90 de Tower Pro, con un torque de 1,98 kg-cm a 4,8 V y con un ángulo de rotación de 180°, además, se emplearon 5 flexoresistencias SEN-10264, las cuales se adaptaron a un guante de Nylon con palma de Nitrilo, el componente electrónico se implementó en una placa de Arduino UNO-R3, la cual se

programa a través del software Arduino IDE, Integrated Development Environment por sus siglas en inglés, la placa de Arduino UNO R3 incorpora un micro controlador ATmega328, el cual cuenta con 14 pines de entradas y salidas digitales, de los cuales 6 son salidas PWM; además, posee 6 entradas analógicas”.

El prototipo se alimenta de cinco señales como entradas analógicas a las flexo resistencias, una señal de salida digital para las cargas, así como pines PWM, para modular el ancho de pulso y para el control de los servomotores.



Figura 19. Estructura mecánica de mano robótica

Fuente: Propia

En la figura 19 se observa estructura del diseño de la mano robótica, se observa la posición de los dedos, los hilos de nylon que están ligadas a cada servomotor las medidas referenciales de los dedos y los servomotores., los cuales se sitúan adecuadamente y al ser energizados no se toquen entre ellos, de manera que no se enreden tirantes.

Los planos realizados en AutoCAD y en Solid Works, así como el Diagrama de flujo electrónico de la mano robótica se muestran en los anexos.

SIMULACIÓN DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA

La simulación y movimiento de los dedos de la mano permite establecer la mejor operación del material de acuerdo a los parámetros físicos es decir las elongaciones a las que se someterán.

En La tabla 5 se observa las propiedades del PVC, el cual se utilizaron para la estructura de los dedos; entre las propiedades se mencionan: la densidad, la conductividad térmica, el calor específico, el coeficiente de expansión térmica, el módulo de elasticidad, el límite elástico, la tensión de rotura y el % de elongación.

Tabla 5. *Propiedades mecánicas del PVC.*

DES GLOS AND O	POLIPROPILENO	POLIÉSTER	NYLON
	No absorbe agua	Absorbe algo de agua	Absorbe bastante agua
	Se seca rápido	Se seca lento	Se seca rápido
	Resiste hasta 130°C	Resiste hasta 260°C	Resiste hasta 254°C
	Poca Resistencia UV	Mucha Resistencia UV	Alguna Resistencia UV
	Se estira y se encoge moderadamente	Resistente al estirar y encoger	Muy Resistente al estirar y encoger
	Resistente al Moho	Resistente al Moho	Resistente al Moho
	Flota	No Flota	No Flota

Fuente: Internet

<https://www.regalonline.es/blog-de-regalos-de-empresa/polipropileno-poliester-y-nylon-todo-lo-que-quiera-saber-sobre-estos-materiales/>

Fuerzas que actúan sobre cada dedo

El movimiento producido encada dedo proporcionan un torque de 1,98 kg-cm, teniendo que:

$$9,8067 \text{ N} \rightarrow 1 \text{ Kg } F$$

$$X \rightarrow 1,98 \text{ Kg } F$$

$$X = 1,98 \text{ Kg } F \times 9,8067 \text{ N } 1 \text{ Kg } F$$

$$X = 19,417 \text{ N}$$

19,417 N. = fuerza producida por el servomotor en cada dedo

De acuerdo a las propiedades mecánicas del material PVC y luego de determinado la fuerza, se realiza la simulación del desplazamiento, la tensión y el factor de seguridad para cada dedo de la mano robótica.

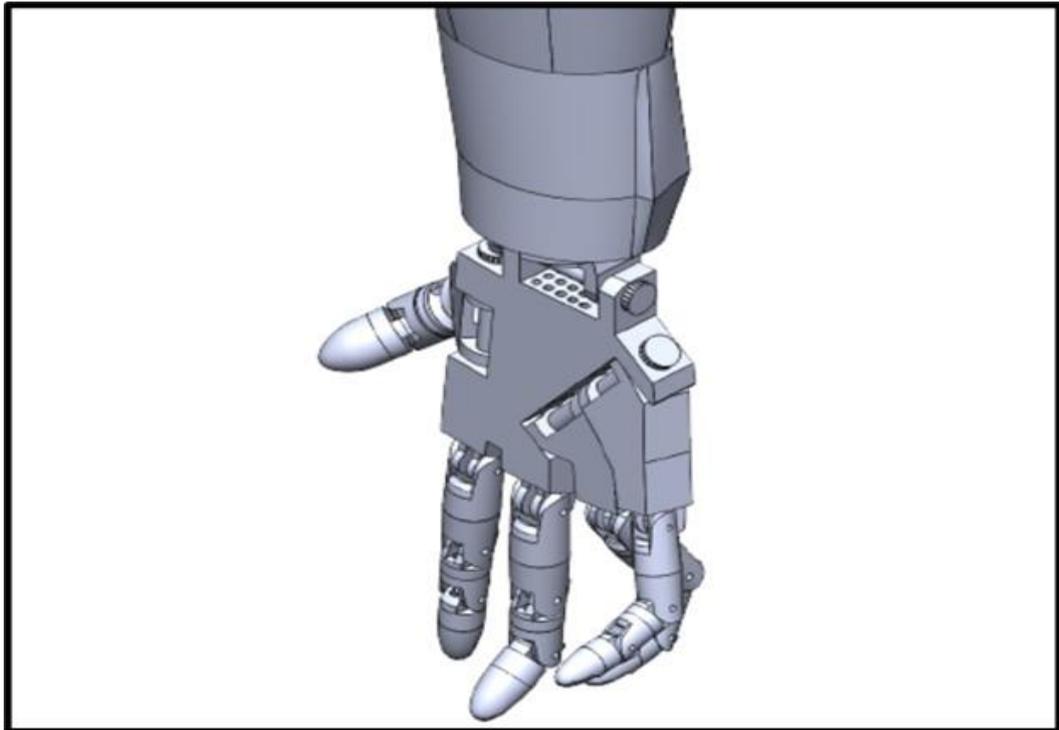


Figura 20. Simulación de movimientos

Fuente: propia

En la figura 20 se observa la simulación en Solid Work del dedo índice. “La sección A ilustra los resultados de la traslación total de la estructura, siendo la mínima representada con el color morado con un valor de 0 mm, y la máxima representada en color Rojo, con un valor de 21,5 mm; en la sección B se aprecia la tensión a la que es sometido el dedo, donde la tensión mínima corresponde al color morado, con un valor de 0,0160 MPa, y la tensión máxima viene dada por el color azul, con un valor de 9,87 MPa; en la sección C se muestra el factor de seguridad, donde se destaca el valor mínimo en rojo y el máximo en naranja, con valores de 0,00698 y 3,52, respectivamente”.

Tabla 6. *Datos de simulación.*

DEDO	Desplazamiento mm		Tensión Mpa		Factor de seguridad	
	mín	máx	mín	máx	mín	máx
meñique	0	11,81	0.00241	8,13	0,083	3,91
anular	0	24.11	0,01972	9,91	0,0059	3,491
medio	0	30,61	0,02312	11,81	0,0059	2,981
índice	0	21,49	0,0161	9,86	0,0061	3,522
pulgar	0	11,301	0,0184	8,57	0,0081	3,762

En la tabla N°6, se presentan los valores obtenidos de la simulación, para los dedos. Se observa la máxima elongación refiere al dedo medio, la tensión máxima es de 79,289 MPa lo cual establece que no surtirá deformación por los esfuerzos a que se someterá.

Se establecen que la estructura no surtirá deformación ya que supera el punto de ruptura; es decir la “fuerza que produce el servomotor no alcanza a quebrar la estructura de los dedos, gracias a las características de tensión y elasticidad del PVC. Sin embargo, el material puede presentar deformación o estiramiento si se somete a fuerzas o temperaturas mayores a las aplicadas en las simulaciones”.

Fases de construcción

En la figura 21 y 22 muestra la fabricación de las falanges de los dedos. Se observa que los dedos de la mano están conformados por cinco segmentos de material con características de flexibilidad, para facilitar el ensamble, los segmentos se encuentran unido medio de abrazaderas.

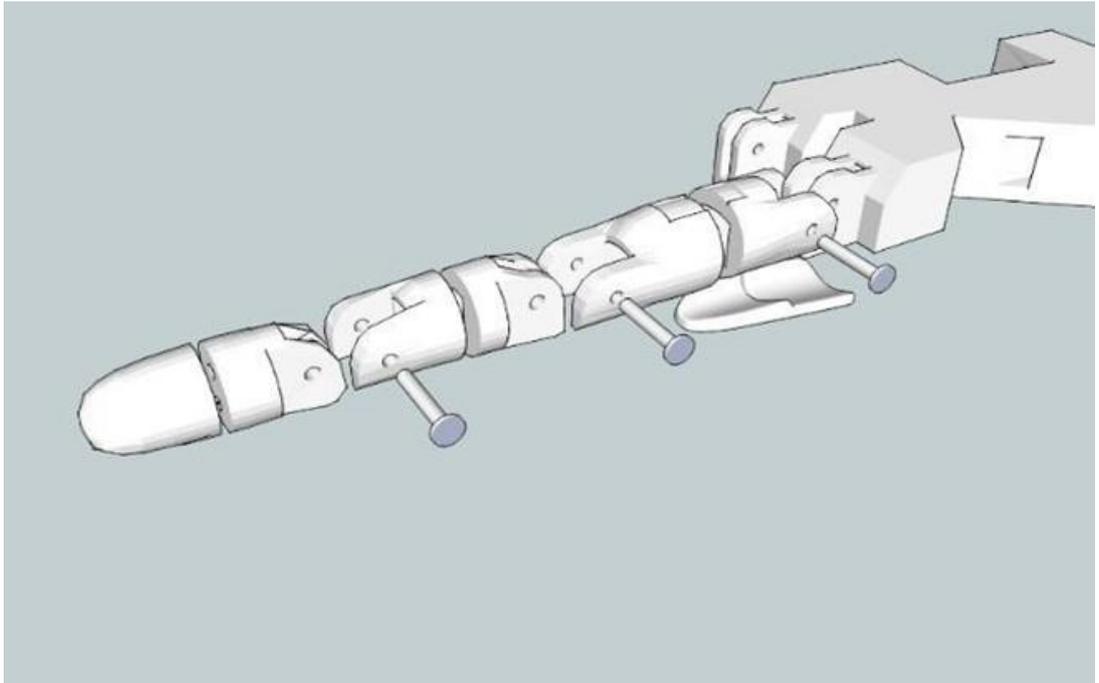


Figura 21. *Montaje de un dedo*

Fuente: propia

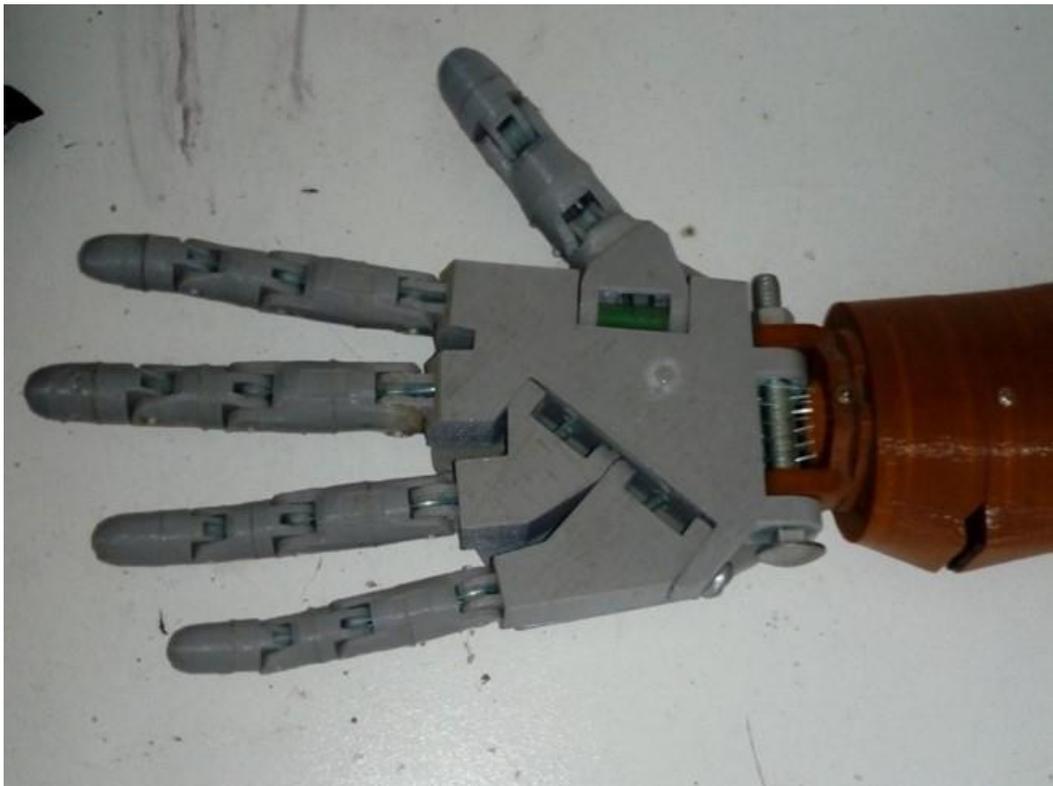


Figura 22. *Montaje de la mano y dedo*

Fuente: propia

La estructura, está fabricada con material flexible de nylon, proveniente de la realización de una impresora 3D.

Se observa en la figura 23 el montaje de la mano y dedos como componentes del ensamble.

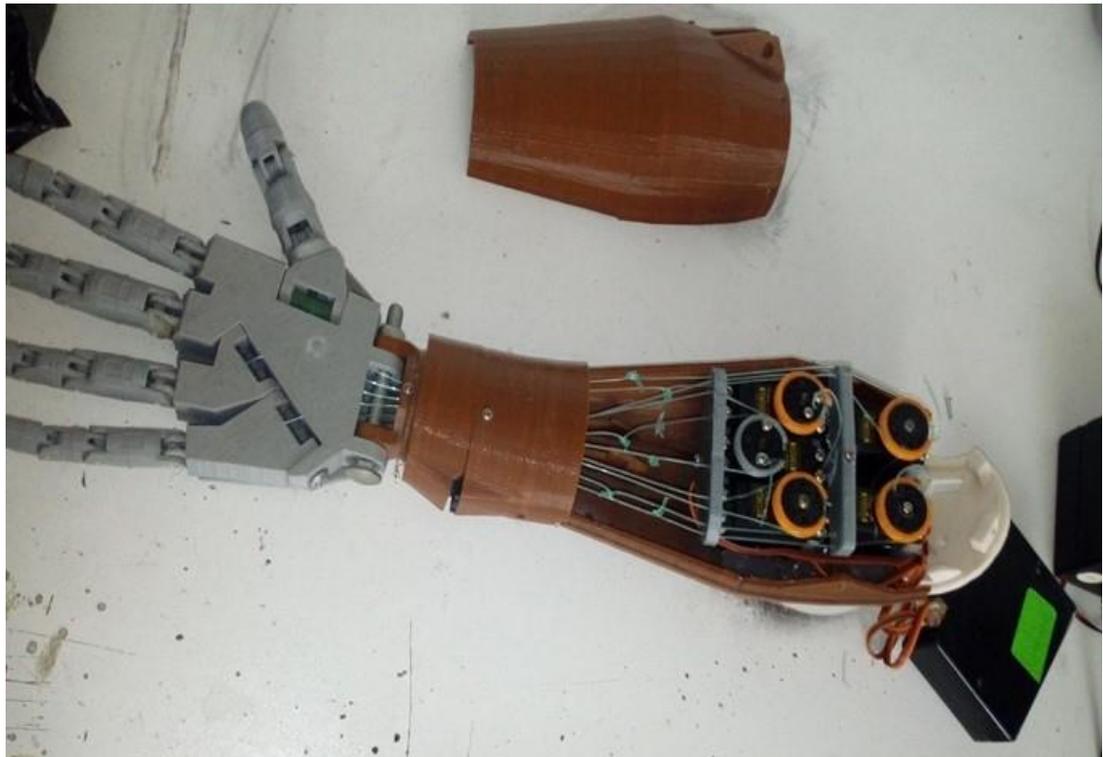


Figura 23. Montaje de la mano, dedos muñeca y antebrazo

Fuente: propia

En la figura 24 se observa el montaje de la mano los dedos y antebrazo como componentes del ensamble robótico.



Figura 24. Montaje de los componentes y ensamble de la mano, dedos, muñeca y antebrazo

5.1.1. Detalles funcionales de la mano robótica

En la figura 25 se observa el ensamble de los componentes y dispositivos electrónicos de la mano robótica. Constituye de una fuente de alimentación DC, que puede ser un acumulador de energía, que alimente un regulador de 5 V de tensión para alimentación de los circuitos eléctricos, seguidamente en la figura N° 25 se tiene el microcontrolador Arduino, que es la que procesa la comunicación enviada desde la IDE por medio del cable de comunicación; a la placa se conexionan entradas a las flexoresistencias y las salidas hacia de los servomotores.

Conexión de servos

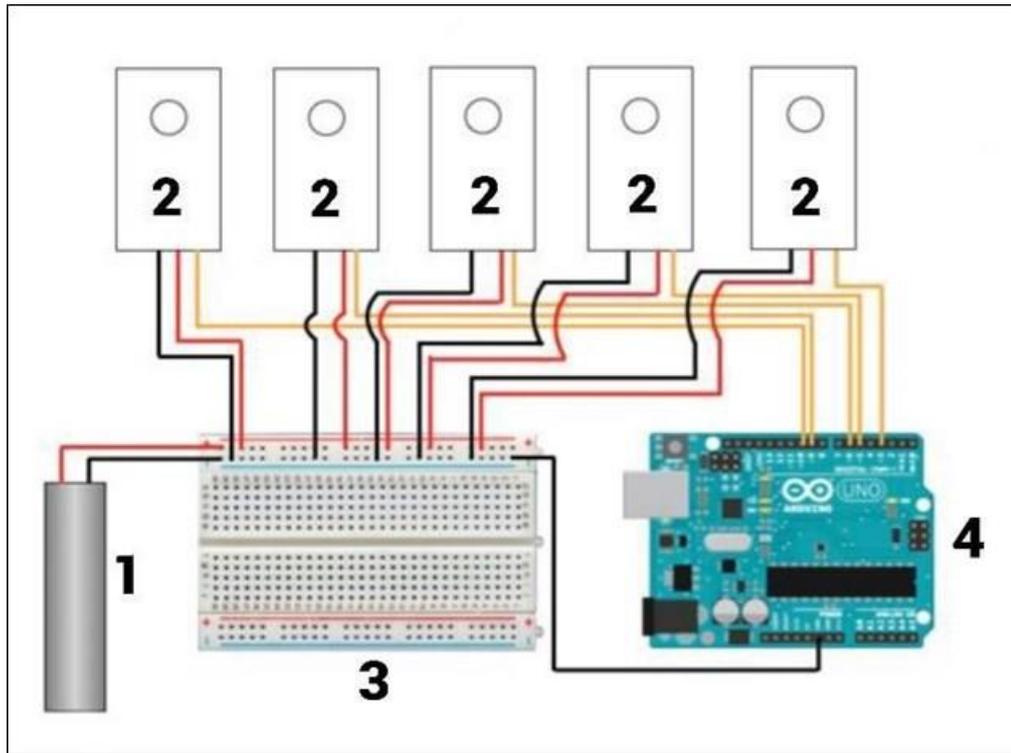


Figura 25. Circuitería servos.

Fuente: https://www.askix.com/diy-mano-robotica-controlada-por-un-guante-y-arduino_4.html

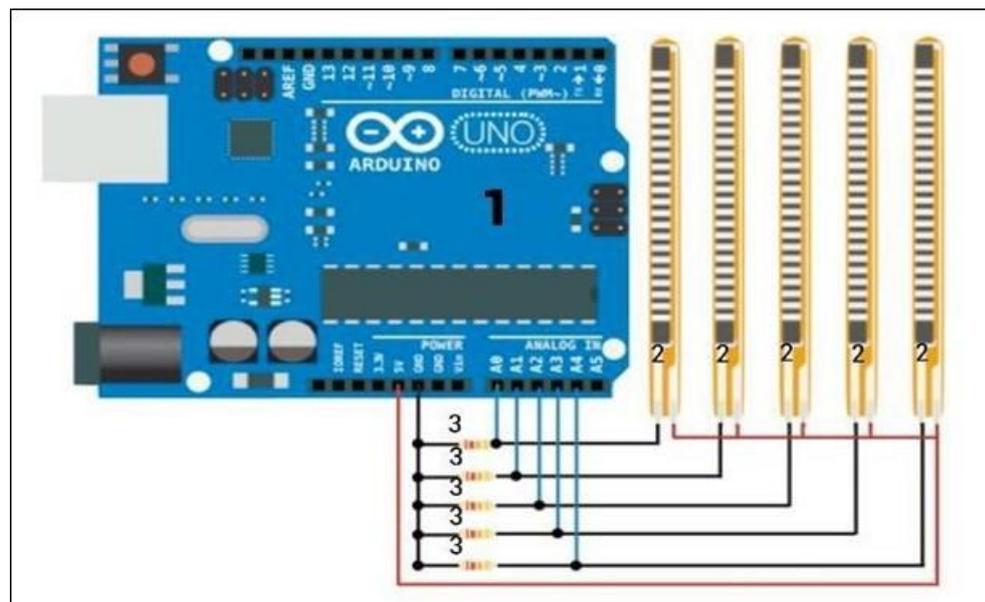


Figura 26. Conexiones Arduino con flexores.

Fuente: https://www.askix.com/diy-mano-robotica-controlada-por-un-guante-y-arduino_4.html

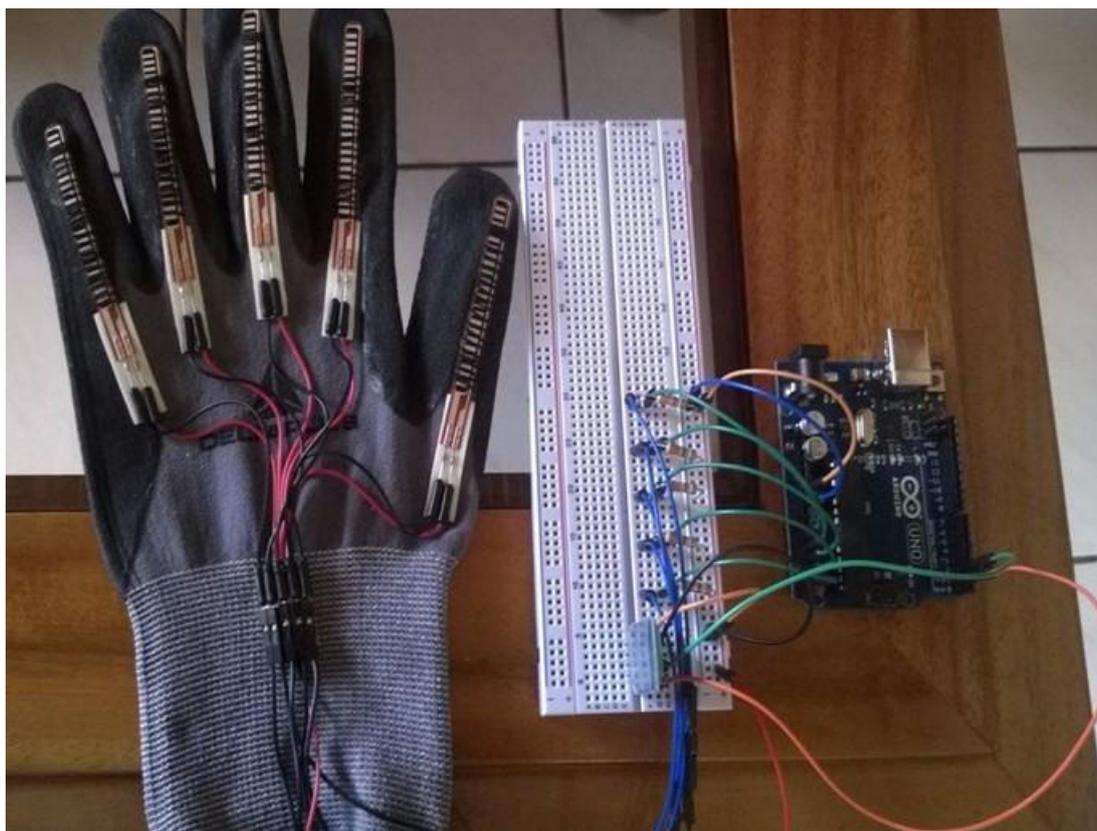


Figura 27. *Ensamble electrónico de la mano robótica propio*

El ensamble electrónico se muestra en la figura 27 en ello se visualiza la instalación electrónica de los componentes en la placa arduino , las conexiones hacia el protoboard donde está instalado cada dispositivo también se encuentra instalado el interruptor que energiza el equipo en su conjunto, también está instalado el protoboard, en el cual se realiza la conexión de los servomotores, las flexo resistencias, los LEDs y energiza la mano robótica.

El conjunto de dispositivos de movimiento conformantes de la estructura física de los dedos está ligados al accionamiento de los servomotores como se aprecia en la figura 28.



Figura 28. *Bloque de movimiento de la mano robótica.*

En la figura 28 también, se tiene la estructura de la mano donde se simula el movimiento de los dedos, los servomotores ubicados internamente en la placa Arduino realizan la apertura y cierre de movimientos.

En la figura 29, se muestran el flexo resistencias conectadas a los cables; como se mencionó líneas arriba estas sirven para lectura la resistencia frente a las curvaturas o ángulos de giro de los dedos generando valores en la resistencia variable, el flexo resistencias detectan la curvatura del movimiento e informan al bloque de mando para generar los pulsos o voltajes que se requieren para el accionamiento de los servomotores replicando así movimiento.



Figura 29. Flexorresistencias en los dedos



Figura 30. Guante sensorial

En la figura 29 también se observa los cinco flexos resistencias que se encuentran unidas a un cable con terminales. En la figura 30 se aprecia un guante sensorial de mano, al cual se encuentran en su interior las falanges de los dedos, en las cuales se insertan los flexos resistencias que realizaran el movimiento curvo para la manipulación.

En la siguiente imagen podemos observar el modelo de cómo debería quedar la mano, tanto por la palma como por el dorso, a excepción de que la primera pieza de cada dedo (yema) no deberá ser pegada aún.

5.2. Pruebas y resultados

En la figura 31 y 32 se observa la mano robótica con un diseño atractivo final obtenido en una impresora 3D, se visualiza la parte frontal de la mano los componentes diversos la base o palma, las falanges y las uniones.

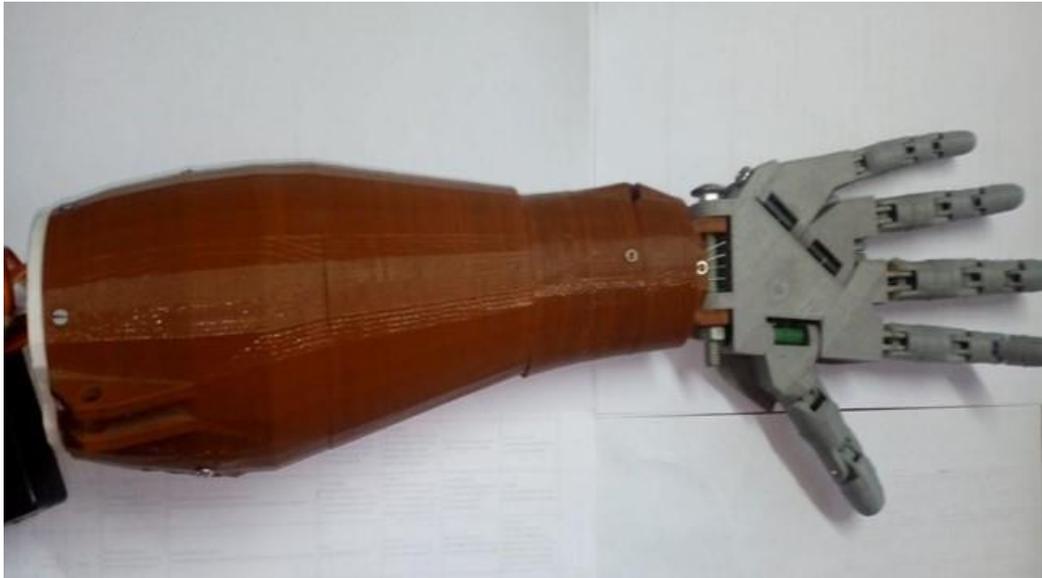


Figura 31. *Mano robótica terminada*

Fuente: propia



Figura 32. *Resultado final de la mano robótica*

Fuente: propia

En la figura 33, se muestra parte de la programación realizada en la plataforma Arduino que corresponde al movimiento de los dedos de la mano robótica. La programación de esta parte es importante para realizar el funcionamiento del prototipo y de los dispositivos o servomotores para fijar la posición angular requerida. Al enviar la señal de programación, la posición angular de los dispositivos servomotores varía de manera que permanecerá así hasta que exista una señal de entrada; esto ocurrirá si las flexores resistencias están flectadas.



```
sketch_nov12a $
#include <Servo.h>
#define LA 11

Servo servo3;

#define dedo3 A2

int val3;

void setup ()
{
  servo3.attach(6);
}

void loop ()
{
  val3= analogRead(dedo3);
  val3 = map(val3, 20, 50, 0, 179);
  servo3.write (val3);
  delay (5);
}
```

Figura 33. Programación arduino.

Al accionar el bloque sensorial y accionar el guante, los sensores flexibles envían una señal que depende del grado de flexión, cuya “resistencia incrementa de acuerdo al grado de inclinación de la misma. Al variar la inclinación de los sensores se obtiene un cambio en la posición de inicio de los servomotores, haciendo que estos simulen el movimiento que realiza la persona que manipula el guante, tal y como se observa en la figura 32 , desde el punto de vista técnico, se obtuvo un prototipo de mano robótica que

permite los siguientes movimientos: al hacer flexión a las flexoresistencias, variará el ángulo de posicionamiento de los servomotores y, a su vez, cada dedo se moverá; cuando no haya flexión, el dedo estará a 10° de inclinación con respecto a la posición de máxima elongación; esto se debe a la deformación inicial de la estructura por su propio peso”.

Cuando el guante se encuentre en posición de cerrado, los dedos realizarán una flexión máxima en una posición de 90° respecto a la posición inicial. En la figura 34 se muestra el diagrama electrónico en él se detallan las conexiones de los dispositivos, también se proporcionan las indicaciones para la conexión de los elementos componentes. La circuitería electrónica básicas: conexiones en serie, paralelas y mixtas; programación de señales de entradas y salidas digitales y también de entradas análogas, en el Arduino.

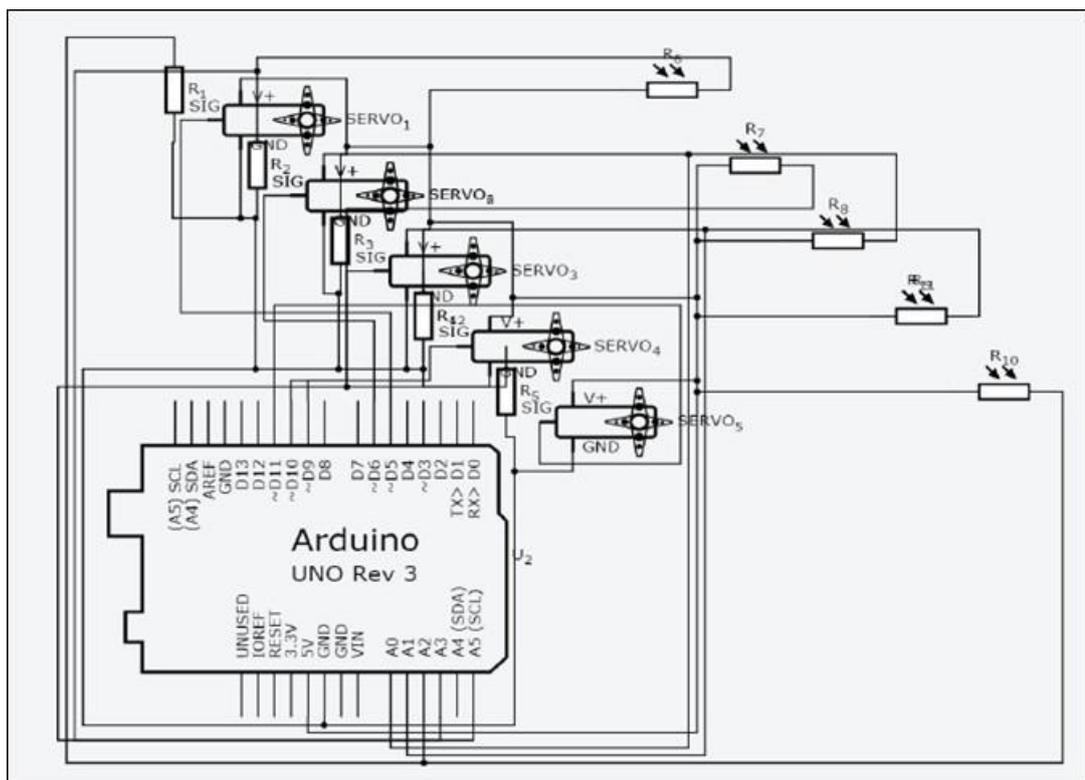


Figura 34. Diagrama electrónico.

Fuente: internet

Programación:

La programación debe realizarse con el cargado en el microprocesador Arduino uno, para poder convertir los movimientos angulares de los dedos conjuntamente con la mano robótica

```
#include <Servo.h>#include
char input = ' ';
int stepSize = 6;
int stepSize2 = 2;
Servo thumbServo;
Servo indexServo;
Servo majeureServo;
Servo ringfingerServo;
void setup() {
thumbServo.attach(2);
indexServo.attach(3);
majeureServo.attach(4);
ringfingerServo.attach(5);
Serial.begin(9600);
}
void loop() {
if(input == ' '){return;}
int tPos = thumbServo.read();
int iPos = indexServo.read();
int mPos = majeureServo.read();
int rPos = ringfingerServo.read();
switch(input){
case 'c':
tPos += stepSize; break;
case 'v':
tPos -= stepSize;
break; case 'e':
iPos += stepSize; break;
```

```

case 'd':
iPos -= stepSize; break;
case 'z':
mPos += stepSize; break;
case 's':
mPos -= stepSize; break;
case 'a':
rPos += stepSize; break;
case 'q':
rPos -= stepSize; break;
case 'n':
tPos += stepSize2; break;
case 'b':
tPos -= stepSize2; break;
case 'i':
iPos += stepSize2; break;
case 'k':
iPos -= stepSize2; break;
case 'o':
mPos += stepSize2; break;
case 'l':
mPos -= stepSize2; break;
case 'p':
rPos += stepSize2; break;
case 'm':
rPos -= stepSize2; break;
} tPos = constrain(tPos, 0, 180);
iPos = constrain(iPos, 0, 180);
mPos = constrain(mPos, 0, 180);
rPos = constrain(rPos, 0, 180);
if(tPos != thumbServo.read()){
Serial.println("writing tPos: " + (String) tPos);
thumbServo.write(tPos);

```

```

} if(iPos != indexServo.read()){
Serial.println("writing iPos: " + (String) iPos);
indexServo.write(iPos);
}
if(mPos != majeureServo.read()){
Serial.println("writing mPos: " + (String) mPos);
majeureServo.write(mPos);
} if(rPos != ringfingerServo.read()){
Serial.println("writing rPos: " + (String) rPos);
ringfingerServo.write(rPos);
}
input = ' ';
}
/*

```

SerialEvent occurs whenever a new data comes in the hardware serial RX. This routine is run between each time loop() runs, so using delay inside loop can delay response. Multiple bytes of data may be available.

```

*/
void serialEvent() {
while (Serial.available()) {
// get the new byte:
char inChar = (char)Serial.read(); input = inChar;
}}

```

```

#include <Servo.h>
Servo servothumb; // Define left servo
Servo servoindex; // Define right servo
Servo servomajeure;
Servo servoringfinger; void setup() {
servothumb.attach(2); // Set left servo to digital pin 10
servoindex.attach(3); // Set right servo to digital pin 9
servomajeure.attach(4);

```

```

servoringfinger.attach(5);
}
void loop() { // Loop through motion tests
handopen(); // Example: move forward
delay(3000); // Wait 2000 milliseconds (2 seconds)
handclose();
delay(2000);
handopen() ;
delay(1000);
victory();

delay(2000);
handopen();
delay(2000);
pinchmode();
delay(4000);
openpinch();
delay(2000);
handopen();
delay(2000); grab();
delay(2000);
handopen();
delay(1000);
thumbclose();
delay(1000);
ringfingerclose();
delay(1000);
}
// Motion routines handopen, handclose, victory, grab...
void handopen() {
servothumb.write(0);
servoindex.write(180);
servomajeure.write(180);

```

```

servoringfinger.write(180);
}
void handclose() { servoindex.write(0);
servomajeure.write(0);
servoringfinger.write(0);
servothumb.write(180);
}
void victory() {
servothumb.write(180);
servoindex.write(180);
servomajeure.write(180);
servoringfinger.write(0);
}
void pinchmode() { servothumb.write(110);
servoindex.write(80);
}
void openpinch() { servothumb.write(0);
servoindex.write(180);
servomajeure.write(0);
servoringfinger.write(0);
}
void grab() { servothumb.write(110);
servoindex.write(80);
servomajeure.write(80);
servoringfinger.write(20);
}
void thumbclose() { servothumb.write(180);
}
void ringfingerclose() { servoringfinger.write(0);
}

#include <Servo.h>
Servo servothumb; // Define thumb servo

```

```

Servo servoindex; // Define index servo
Servo servomajeure;
Servo servoringfinger;
Servo servopinky;
Servo servowrist;
Servo servobiceps;
Servo servoshoulder;
Servo servoomoplat;
void setup() {
servothumb.attach(2); // Set thumb servo to digital pin 2
servoindex.attach(3); // Set index servo to digital pin 3
servomajeure.attach(4);
servoringfinger.attach(5);
servopinky.attach(6);
servowrist.attach(7);
servobiceps.attach(8);
servoshoulder.attach(9);
servoomoplat.attach(10);
}
void loop() { // Loop through motion tests
allopen(); // Example: allopen
delay(4000); // Wait 4000 milliseconds (4 seconds)
handclose();
delay(4000);
allopen();
delay(2000);
shoulderalone();
delay(1000);
}
// Motion routines for handopen, handclose, victory...
void allopen() {
servothumb.write(0);
servoindex.write(0);

```

```

servomajeure.write(0);
servoringfinger.write(0);
servopinky.write(0);
servowrist.write(0);
servobiceps.write(0); //Never more then (90 degree)
servoshoulder.write(110); //Never more then (130 degree)
servoomoplat.write(0);
}
void handclose() {
servothumb.write(180);
servoindex.write(180);
servomajeure.write(180);
servoringfinger.write(180);
servopinky.write(180);
servowrist.write(180);
servobiceps.write(85); //Never more then (90 degree)
servoshoulder.write(90); //Never more then (130 degree)
servoomoplat.write(180);
}
void shoulderalone() {
servothumb.write(0);
servoindex.write(0);
servomajeure.write(0);
servoringfinger.write(0);
servopinky.write(0);
servowrist.write(90);
servobiceps.write(85); //Never more then (90 degree)
servoshoulder.write(130); //Never more then (130 degree)
servoomoplat.write(0);
}

```

CONCLUSIONES

1. El diseño en AutoCAD del prototipo de mano robótica, permitió dimensionar la estructura mecánica. El ensamble mecánico y el control electrónico se realizó a mediante una tarjeta de plataforma libre Arduino uno, la misma que recibe señales de los sensores emite señales de los sensores, flexo resistencias en este caso y que emite las señales para controlar los servomotores que generan el movimiento.
2. El diseño y construcción en 3D ha permitido realizar el ensamble de los elementos que constituyen la mano robótica, así como la conexión de los dispositivos electrónicos y su respectivo control.
3. El diseño realizado obtuvo como resultado la construcción de la mano robótica, lo cual apoya a las personas discapacitadas a realizar tareas de agarre y manipulación de objetos.
4. La mano robótica ha sido diseñada y construida de manera que puede interactuar permitiendo la manipulación y agarre de los diversos objetos, lo cual resalta la funcionalidad del prototipo.

RECOMENDACIONES

1. Este trabajo de investigación sirve apoyo para futuras investigaciones donde se puede determinar los cálculos de la resistencia del material para soportar cargas mayores para efectos de diferentes posiciones de agarre.
2. El sistema de control se puede mejorar realizando un análisis más detallado.
3. En base al modelo desarrollado también se puede determinar las trayectorias de las manos y dedos en puntos diferentes.
4. En base a la plataforma Arduino se recomienda trabajar con otras placas de mayor robustez como el Atmega Arduino.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angulo, J. y AVILÉS, R. *Curso de robótica*. Madrid: Paraninfo, 1985. ISBN: 8428313156.
- Arduino. What is Arduino? [en línea]. 5 de febrero de 2018. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Avilés, O., LEÓN, P. y CALLE, G. Dedos para "grippers" robóticos: revisión bibliográfica. *Scientia et Technica*. Abril de 2005, 1(27), 97-102. ISSN 0122-1701. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4838391>
- Cómo funciona. Cómo funciona un servomotor. [s.f]. Disponible en: <https://comofunciona.co.com/un-servomotor/>
- Dario et al. An integrated approach for the design and development of a grasping and manipulation system in humanoid robotics. En: *Proceedings of 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2000)*. Takamatsu (Japón): IEEE, 2000, vol. 1, pp. 1-7. ISBN: 0-7803-6348-5. doi: 10.1109/IROS.2000.894573
- Divella96. Cómo hacer un guante con sensores flex y conexión para Android. *Instructables circuits* [en línea]. [2016?]. Disponible en: <https://www.instructables.com/Como-Hacer-Un-Guante-Con-Sensores-Flex-Y-Conexi%C3%B3n-/>
- Fernández, C., Vicente, M., Pérez, C., Jiménez, L., Payá, L. Aprendizaje en teleoperación. Aplicación a los procesos de agarre de objetos. Alicante (España): Departamento de Ingeniería de Sistemas Industriales, Universidad Miguel Hernández, 2002. 8 pp. Disponible en: <http://intranet.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXIV/documentos/ro/138.pdf>
- Fu, K., González, R. y LEE, C. *Robótica: control, detección, visión e inteligencia*. Madrid: McGraw-Hill, 1988.
- García, A. ¿Qué es y cómo funciona un servomotor? *Panama Hitek* [en línea]. 2 de diciembre de 2016. Disponible en: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>
- García, F., Martínez, J., Saltarén, R., y López, J. Diseño mecatrónico de un dedo antropomórfico. Parte I: mecánica. En: *Jornadas de Automática (22ª: 2001: Barcelona)*. XXII Jornadas de Automática Barcelona, 12-14 de setiembre de 2001. Barcelona: Comité Español de Automática. 2001. 9 pp. ISBN 84-699-4593-9. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/1048>
- Gere, J. y Timoshenko, S. *Mecánica de materiales*. México: Grupo Editorial Iberoamericana, 1984.

- Gestión. (20 de octubre de 2017). ¿Cuáles son los accidentes más frecuentes durante la jornada laboral? Recuperado de <https://gestion.pe/tendencias/management-empleo/son-accidentes-frecuentes-jornada-laboral-219775-noticia/>
- Gutiérrez, J. *Diseño y simulación de una mano mecánica para ser utilizada como un efector final robótico*. Tesis (Magíster en Ingeniería Mecánica). Valencia, Carabobo (Venezuela): Universidad de Carabobo, 2010, 91 pp. Fecha de consulta: 05-11-2020. Disponible en: <http://produccion-uc.bc.uc.edu.ve/documentos/trabajos/200028D7.pdf>
- Harvey, D. y Longstaff, B. *The development of a prosthetic arm*. Adelaide (Australia): Department of Mechanical Engineering, The University of Adelaide, 2001. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.132.9852&rep=rep1&type=pdf>
- Lotti, F. y Vassura, G. A novel approach to mechanical design of articulated fingers for robotic hands. En: *International Conference on Intelligent Robots and Systems*. Lausana (Suiza): IEEE/RSJ, 2002, pp. 1687-1692, vol.2. doi: 10.1109/IRDS.2002.1043998.
- Milanes, D. y CASTILLA, A. Generación de trayectorias para el brazo robótico (ArmX). *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones* [en línea]. 2016, 37(3), 58-71. ISSN 1815-5928. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/eac/v37n3/eac06316.pdf>
- Moreno, B. y Velásquez, E. *Prototipo de mano mecatrónica para aplicaciones en robótica industrial*. Tesis (Ingeniero Mecatrónico). Envigado, Antioquia (Colombia): Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2013, 89 pp. [Fecha de consulta: 05-11-2020] . Disponible en: https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/328/7/MorenoBrian_2013_PrototipoManoMecatronics.pdf
- Ollero, A. *Robótica, manipuladores y robots móviles*. 1ra. ed. España: editorial Marcombo, 2001, 422 pp. ISBN: 844-267-1313-0
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. *Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad y su Protocolo Facultativo de las Naciones Unidas*. Madrid: Grupo UAM y Real Patronato, 2008.
- Portilla, E., AVILÉS, O., PIÑA, R., NIÑO, P., MOYA, E y MOLINA, M. Análisis cinemático y diseño de un mecanismo de cuatro barras para falange proximal de dedo antropomórfico. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* [en línea]. 2010, 20(1), 45-59. ISSN: 0124-8170. Disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91114807004>

Quiroz, F. *Anatomía humana*. México: Porrúa, 1962.

Rodríguez, M., Swayne, E., Siesquen, M. y Clavijo, I. *Análisis de la situación de la discapacidad en el Perú 2007*. Lima: Instituto Nacional de Rehabilitación "Dra. Adriana Rebaza Flores", 2008, 100 pp. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/391199/Análisis_de_la_situación_de_la_discapacidad_en_el_Perú_200720191017-26355-1tmt1eq.pdf

Roldán, J. *Neumática, hidráulica y electricidad aplicada. Física aplicada. Otros fluidos*. Madrid: Ediciones Paraninfo, 1997.

TÚElectrónica.es. Qué es la protoboard (breadboard) [en línea]. 2018. Disponible en: <https://tuelectronica.es/que-es-la-protoboard/>

UDE. Tutorial: Aprender a usar un sensor flex con Arduino. *LuneGate* [en línea]. 31 de julio de 2016. Disponible en: http://www.lunegate.net/2016/07/tutorial-aprender-usar-un-sensor-flex_31.html#.X5I7Ic6SnIU

Wilkinson, D., Weghe, M. y Matsuoka, Y. An extensor mechanism for an anatomical robotic hand. En: IEEE, *2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Taipei (Taiwán): IEEE, 2003, pp. 238-243, vol.1. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1241602>

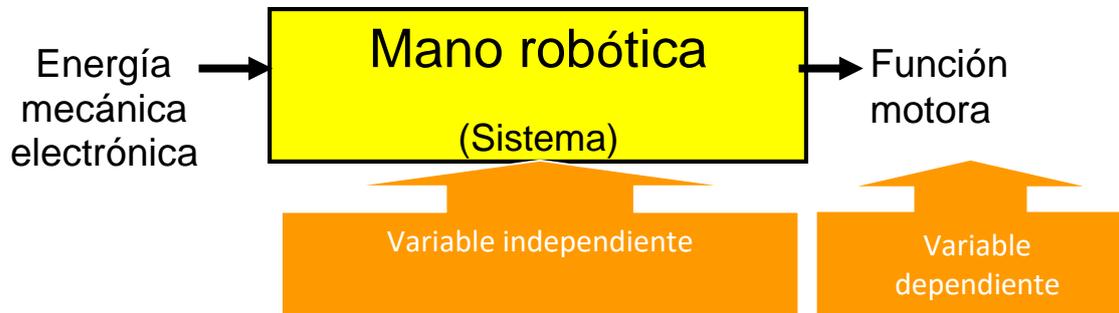
Yamano, I., Takemura, K. y Maeno, T. Development of a robot finger for five-fingered hand using ultrasonic motors. En: IEEE, *Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ of Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems*. Las Vegas, Nevada (USA), octubre de 2003, pp. 2648-2653, vol.3. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/4045996_Development_of_a_robot_finger_for_five-fingered_hand_using_ultrasonic_motors

Youngblut, C., Johnston, R., Nash, S., Wienclaw, R. y WILL, C. *Review of virtual environment interface technology*. Virginia (USA): Institute for Defense Analyses, 1996, 270 pp. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/235114826_Review_of_Virtual_Environment_Interface_Technology

ANEXOS

- ✓ Matriz de formulación
- ✓ Matriz de consistencia
- ✓ Fotos de la mano robótica en diferentes espacios y posiciones físicas
- ✓ Planos de diseño de los componentes de la mano

Matriz de formulación:



Formulación del título

Objeto (sistema)	Enlace	Salida	Delimitación
Diseño y control de una mano robótica	Para	Función motora.	personas discapacitadas

Formulación del tema

Verbo	Elementos del sistema	Enlace	Salida	Delimitación
Diseñar y controlar	Mano robótica	Para	Función motora.	personas discapacitadas

Formulación del problema

Interrogante	VI	Enlace	Verbo	VD	Delimitación
¿Cómo	diseñar y controlar una mano robótica	para	lograr	función motora	personas discapacitadas

Formulación del objetivo

Propósitos				Fines	
Verbo	VI	Medios	Verbo	VD	Delimitación
Diseñar y controlar	Mano robótica	Mediante tecnología arduino	para	Función motora.	personas discapacitadas

Formulación de la hipótesis

Proceso lógico	VI	Medios	Proceso lógico	VD	Delimitación
Si diseñamos y controlamos	Mano robótica	Mediante tecnología Arduino	Entonces permitirá	Función motora.	personas discapacitadas

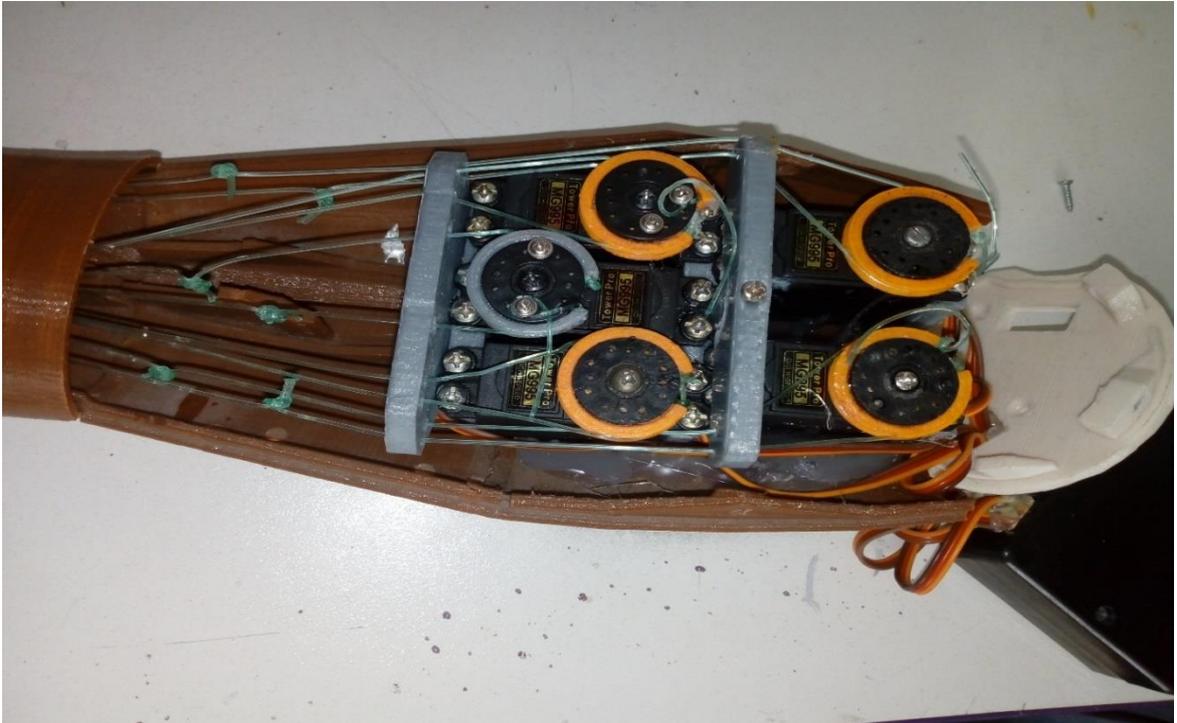
Matriz de consistencia

Título: Diseño y control de una mano robótica para función motora de personas discapacitadas

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	MATERIALES Y MÉTODOS
<p>General</p> <p>El Perú reporta una tasa anual de 35 % de accidentes de manos y dedos; anualmente ocurren más de 7000 accidentes que afectan las extremidades superiores y el 7 % son amputaciones traumáticas con pérdida parcial o total de dedos o manos; por ello, se pone especial énfasis en mejorar las capacidades funcionales motoras y oportunidades de las personas con discapacidad por pérdidas o amputación de la mano.</p> <p>Específicos</p> <p>El diseño de un prototipo de mano robótica requiere utilizar</p>	<p>Objetivo general</p> <p>El objetivo general del presente trabajo de investigación es diseñar y construir un prototipo de mano robótica para realizar una función motora.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>El objetivo específico del presente trabajo es:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseñar un prototipo de mano robótica utilizando una simulación realizada por software Solid Works. • Construir un prototipo de mano robótica con dimensionamientos e impresión en 3D. • Construir un prototipo de mano robótica, comandada mediante 	<p>Si diseñamos y controlamos una mano robótica mediante tecnología Arduino, entonces permitirá realizar la función motora de personas discapacitadas</p>	<p>Variable dependiente:</p> <p>Función motora.</p> <p>Variable independiente</p> <p>:</p> <p>Mano robótica.</p>	<p>Materiales</p> <p>Entre los materiales que se utilizarán en la investigación están:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Laptop perfil 7, - Microcontroladores Arduino Mega - Sensores - Microservos - Micropulsadores - Resistencias 2200 ohms - Materiales impresos en 3D - Protoboard - Cables <p>Métodos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se realiza el diseño de la prótesis de mano robótica en 3D. • Se diseña y construye la mano

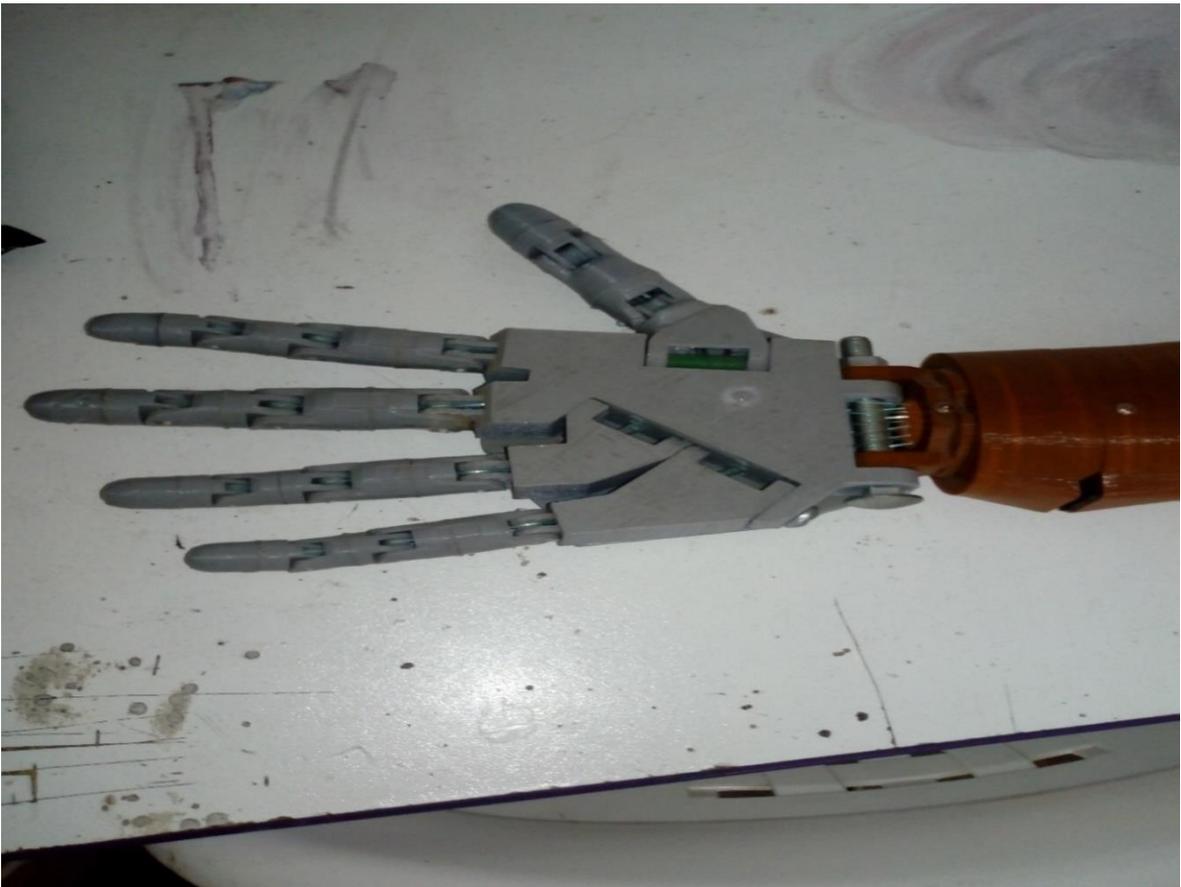
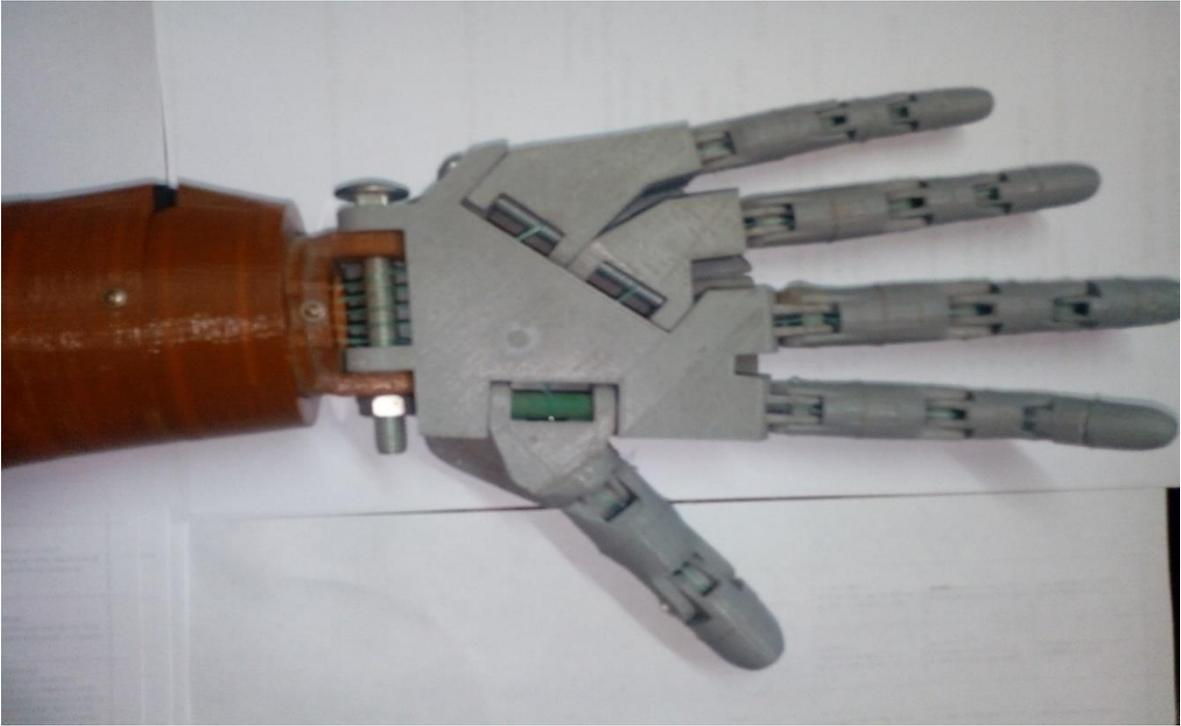
<p>una simulación realizada por software Solid Works.</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo construir un prototipo de mano robótica con dimensionamientos e impresión en 3D? • ¿Cómo construir un prototipo de mano robótica, comandada mediante control de una plataforma Arduino a través de comunicación bluetooth y por medio de un guante instrumentado como protección externa? • ¿Cómo determinar la relación de funcionamiento y desempeño del prototipo de mano robótica diseñada y construida para el agarre de determinados elementos geométricos? 	<p>control de una plataforma Arduino a través de comunicación bluetooth y por medio de un guante instrumentado como protección externa.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la relación de funcionamiento y desempeño del prototipo de mano robótica diseñada y construida para el agarre de determinados elementos geométricos. 			<p>robótica.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se ensamblan los elementos y dispositivos electrónicos, se crean los códigos. Las interfaces de comunicación. • Se prueba el prototipo propuesto en el trabajo de investigación. • Se evalúan los resultados obtenidos con la estadística inferencial. <p>Se validan los resultados.</p>
---	---	--	--	---

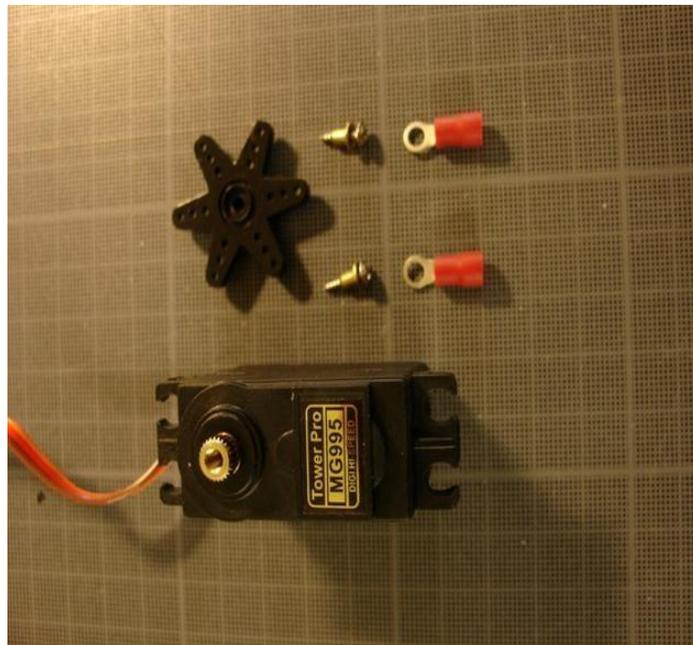
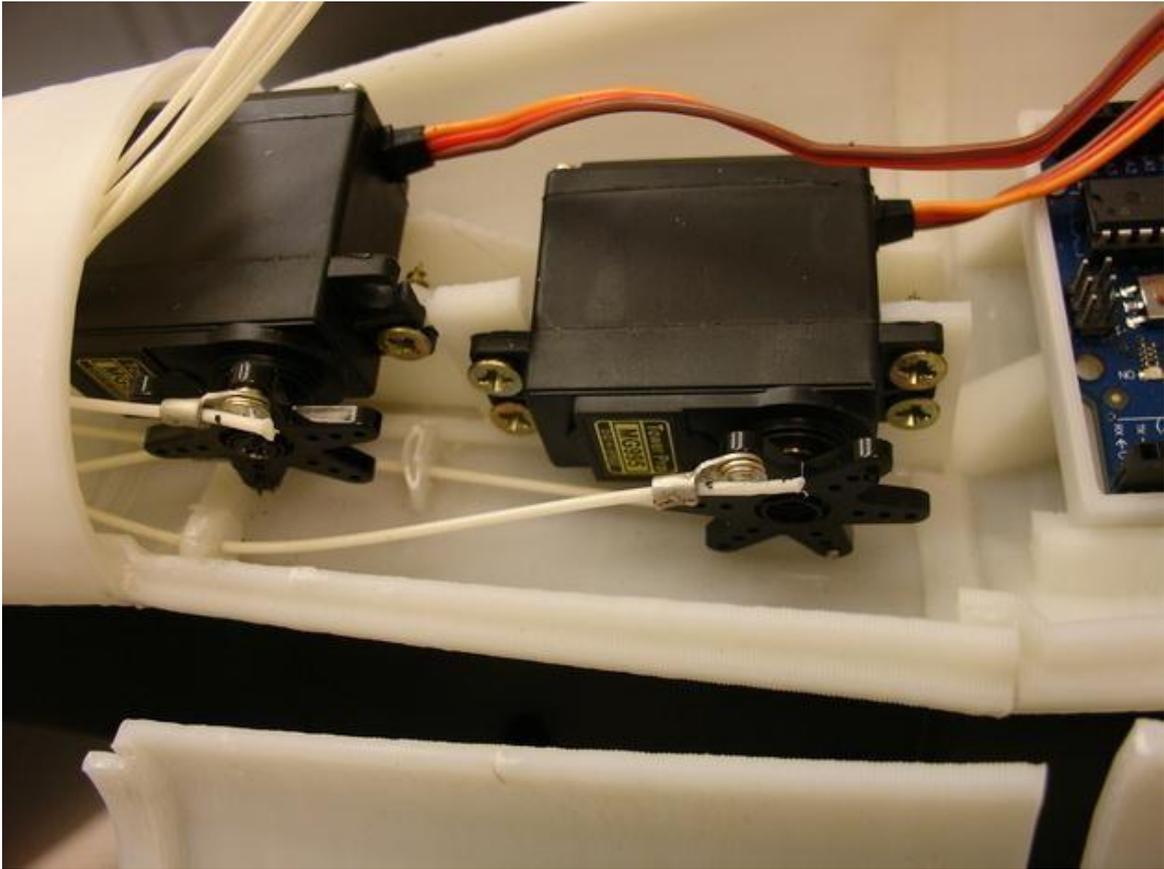
FOTOS DE LA MANO ROBÓTICA EN DIFERENTES ESPACIOS Y POSICIONES FÍSICAS INSTALACIONES E IMPRESIONES EN 3D

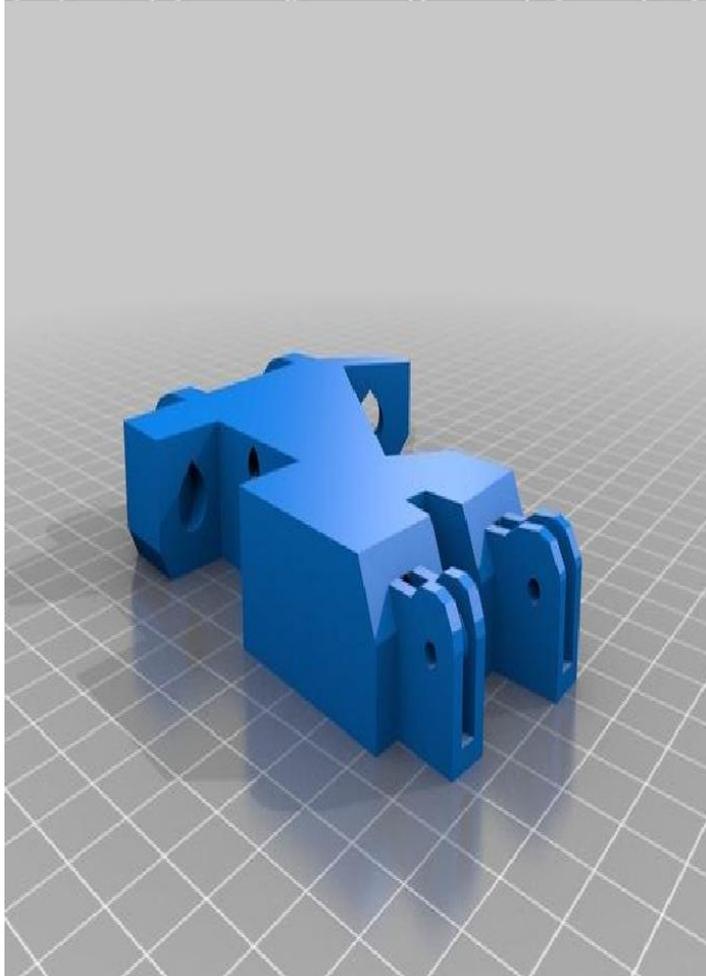
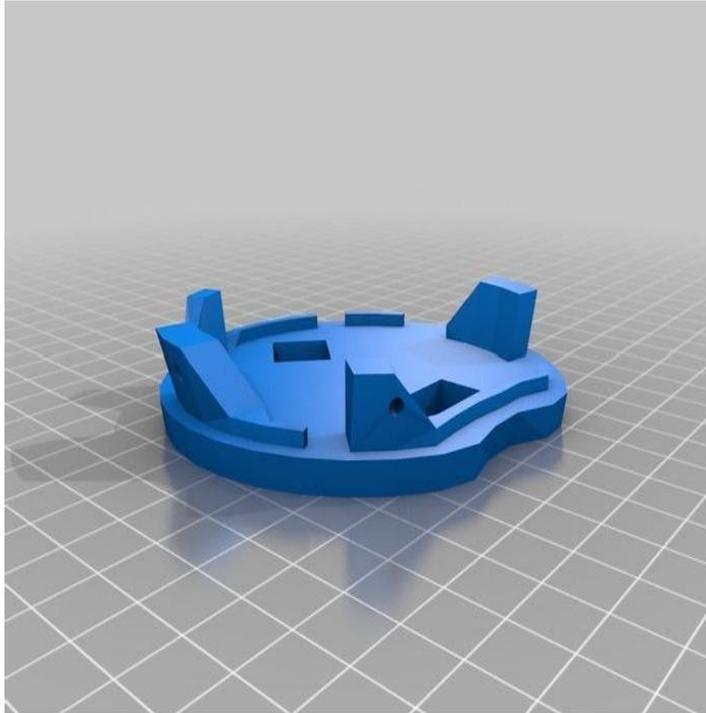






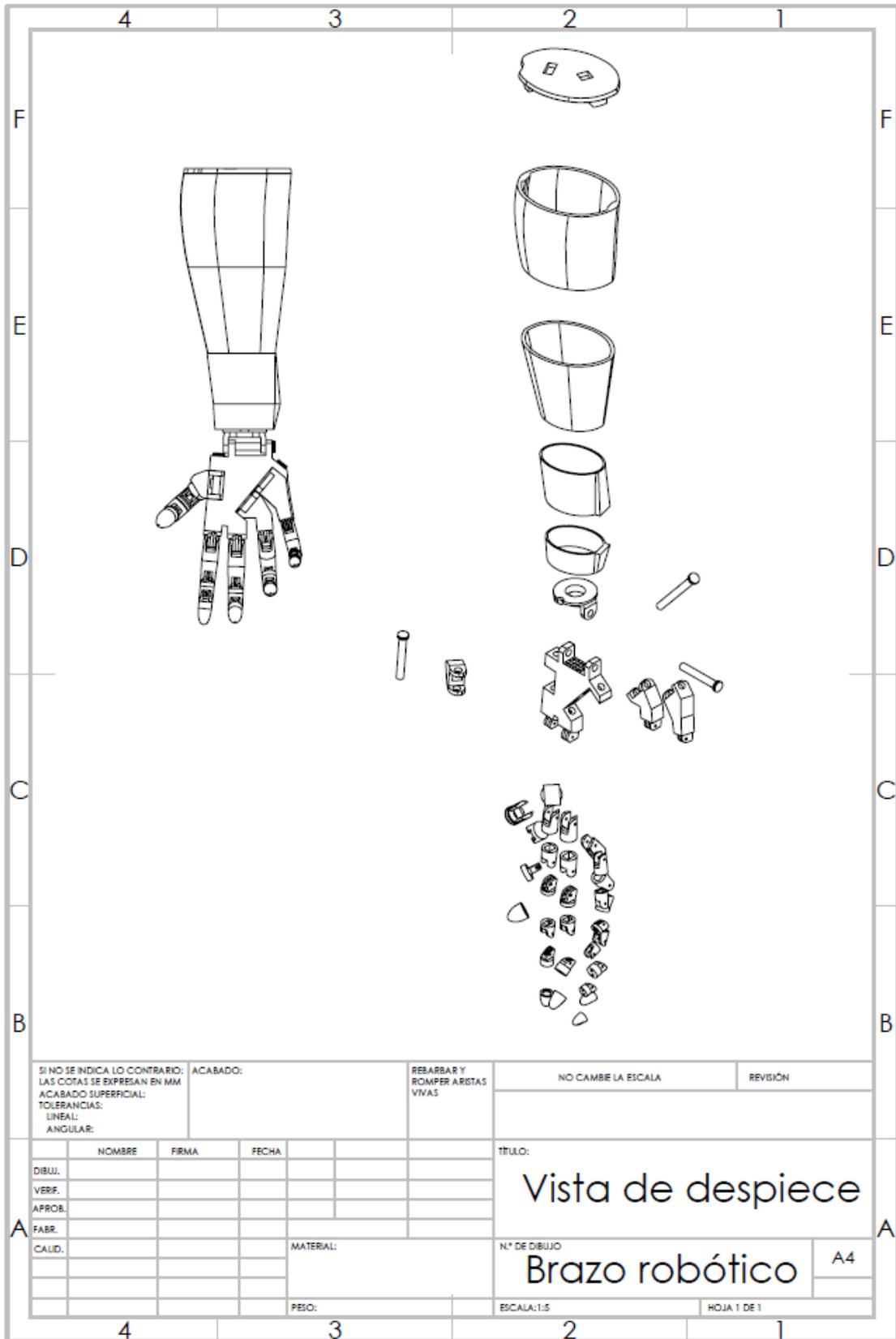




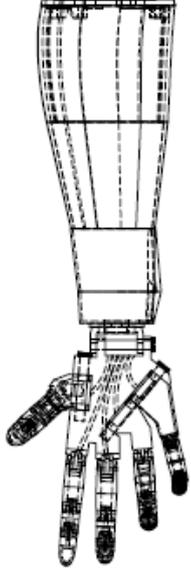


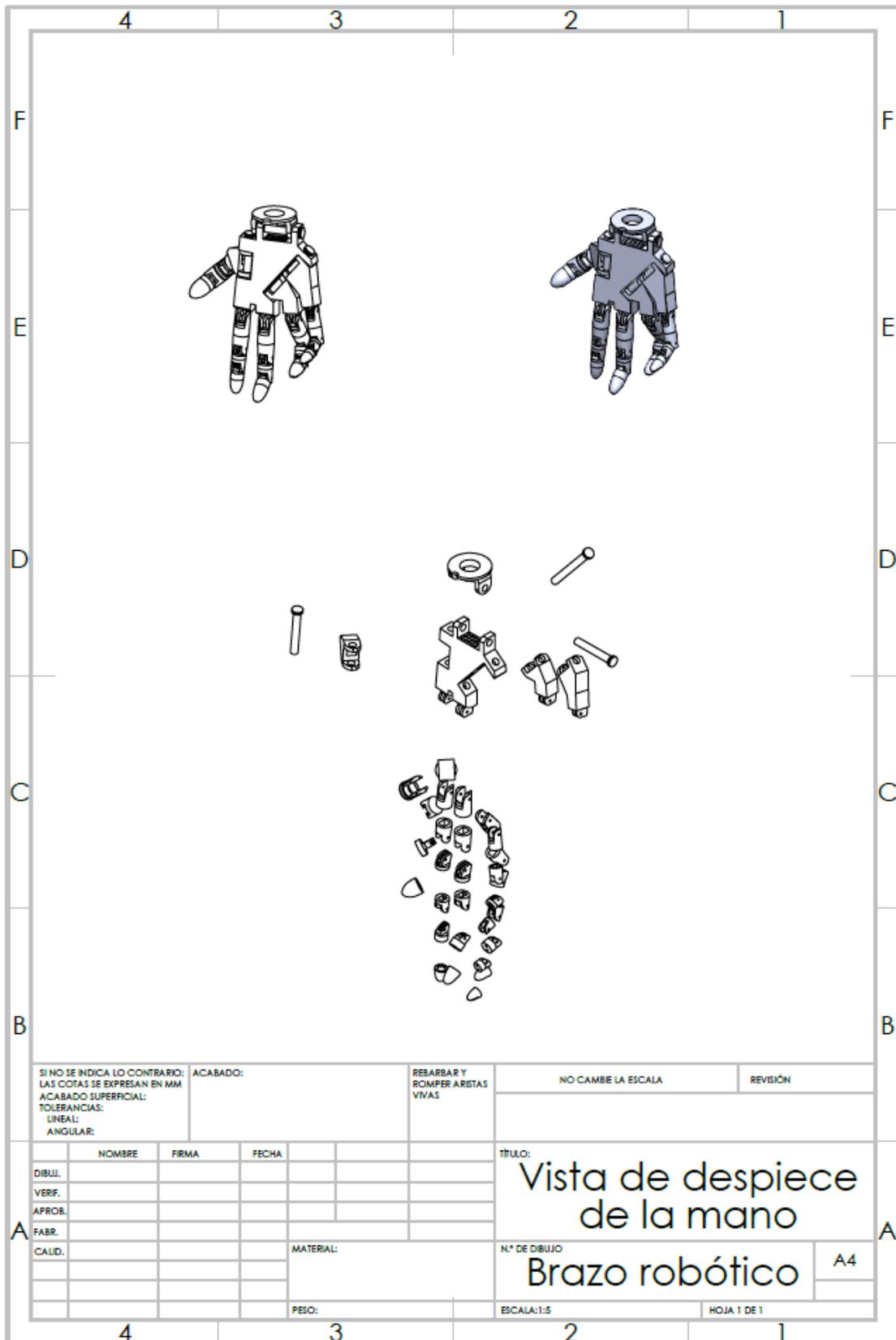
Anexo 4. Planos de diseño de los componentes de la mano robótica

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER A RISTAS VIVAS		NO CAMBE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: <h2 style="margin: 0;">Vista de despiece del dedo</h2>			
VERIF.									
APROB.						N.º DE DIBUJO		<h2 style="margin: 0;">Brazo robótico</h2>	
FABR.						ESCALA:1:1			
CALID.				MATERIAL:		HOJA 1 DE 1			
				PESO:					



4	3	2	1																														
F			F																														
E			E																														
D			D																														
C			C																														
B			B																														
<p>SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:</p>		<p>ACABADO:</p>	<p>REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS</p>																														
		NO CAMBE LA ESCALA	REVISIÓN																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%;">DIBUJ.</th> <th style="width: 20%;">NOMBRE</th> <th style="width: 20%;">FIRMA</th> <th style="width: 20%;">FECHA</th> <th style="width: 30%;"></th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA																											<p>TÍTULO:</p> <h2 style="text-align: center;">Vista frontal e inferior</h2>		<p>A4</p>
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA																														
		<p>MATERIAL:</p>	<p>N° DE DIBUJO</p> <h2 style="text-align: center;">Brazo robótico</h2>																														
		<p>PESO:</p>	<p>ESCALA: 1:5</p>																														
			HOJA 1 DE 1																														
4	3	2	1																														
A			A																														





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:
 REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.			
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CAILD.			

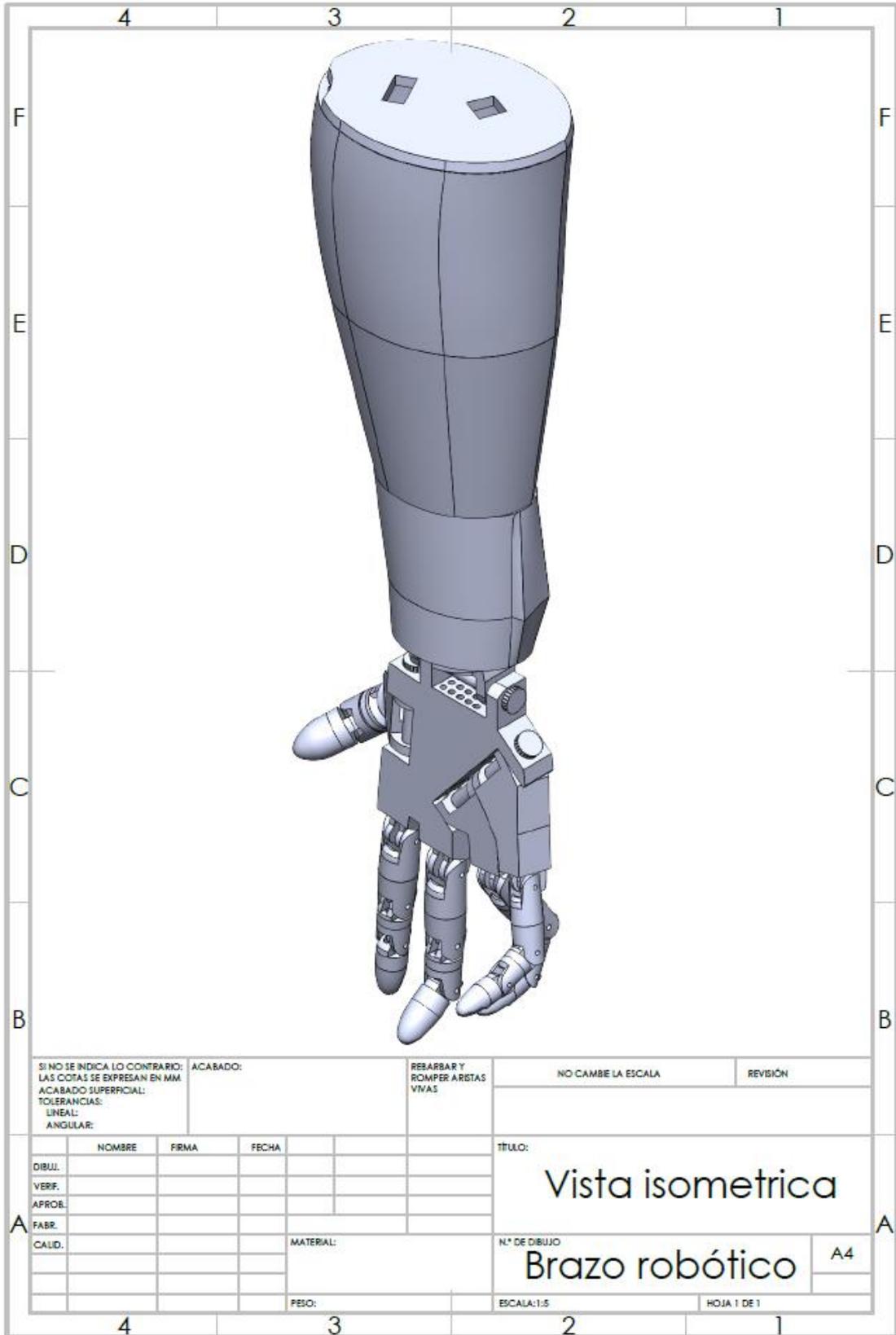
TÍTULO:
**Vista de despiece
 de la mano**

Nº DE DIBUJO
Brazo robótico

ESCALA: 1:5

HOJA 1 DE 1

A4



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM. ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Vista isometrica	
VERIF.				N.º DE DIBUJO Brazo robótico	
APROB.					
FABR.				MATERIAL:	
CALID.				PESO:	ESCALA: 1:5
					HOJA 1 DE 1