

# Mimetic Hand Supported with ARTVIS

Bradly Alejandro Martín

Juan José Cerquera González

Luis Ovalle

Universidad Ean

Bogotá

2023

# Índice

I

<b>Resumen</b>	<b>1</b>
<b>Introducción</b>	<b>2</b>
<b>Objetivos</b>	<b>3</b>
Objetivo general . . . . .	3
Objetivos específicos . . . . .	3
<b>Justificación</b>	<b>4</b>
<b>Definición del problema</b>	<b>5</b>
<b>Marco teórico</b>	<b>6</b>
Selección del diseño de la mano antropomorfa . . . . .	7
Análisis del sistema . . . . .	8
Inteligencia artificial . . . . .	8
Visión Artificial . . . . .	9
Aplicación en Laboratorios Químicos . . . . .	10
Recepción de Estímulos Visuales . . . . .	11
<b>Metodología</b>	<b>11</b>
Fases . . . . .	12
<b>Desarrollo del algoritmo</b>	<b>13</b>
Procesamiento de imagen . . . . .	13
<b>Análisis de Costos</b>	<b>16</b>
<b>Análisis de Requerimientos</b>	<b>17</b>
Requisitos de Hardware: . . . . .	17

	II
Requisitos de Software: . . . . .	17
Requisitos de Seguridad: . . . . .	17
Requisitos de Comunicación: . . . . .	18
Requisitos de Materiales: . . . . .	18
Requisitos de Evaluación: . . . . .	18
Requisitos de Documentación: . . . . .	18
Requisitos de Tiempo: . . . . .	18
Requisitos de Costos: . . . . .	18
<b>Análisis de Restricciones</b>	<b>19</b>
Análisis Ambiental . . . . .	19
Análisis Económicos . . . . .	19
Análisis de Salud y Seguridad . . . . .	19
Normativas de Seguridad en Laboratorios: . . . . .	20
Aspectos Éticos y de Responsabilidad: . . . . .	20
Capacitación y Adaptación Cultural: . . . . .	20
Confianza en la Tecnología: . . . . .	21
Aspectos Culturales: . . . . .	21
Colaboración Hombre-Máquina: . . . . .	21
Presupuesto: . . . . .	21
Recursos y Acceso a Tecnología: . . . . .	21
Conocimientos y Habilidades: . . . . .	21
Regulaciones y Normativas: . . . . .	22
Disponibilidad de Componentes Electrónicos y Sensores: . . . . .	22
Tiempo: . . . . .	22
Capacidad de la IA: . . . . .	22
Energía y Suministro Eléctrico: . . . . .	22
Diseño Ergonómico y Seguridad: . . . . .	22

	III
<b>Desarrollo mecánico y armado</b>	<b>23</b>
<b>Pruebas</b>	<b>26</b>
<b>Reportes de Resultados del proceso cuantitativo</b>	<b>26</b>
Estimación de Costos . . . . .	26
Errores de Impresión y Reimpresiones: . . . . .	28
Diseño del Estudio: . . . . .	28
<b>Reportes de Resultados del proceso cualitativo</b>	<b>29</b>
Desarrollo del Algoritmo . . . . .	29
Selección de Material . . . . .	30
Construcción de la Mano Robótica . . . . .	30
Pruebas y Ajustes . . . . .	31
<b>Alternativa de solución</b>	<b>32</b>
Material para Altas Temperaturas: PEEK . . . . .	32
Machine Learning para el Reconocimiento de Objetos en Procesos de Alto Riesgo . . . . .	32
Implantación de Diseños en Metales de Alta Calidad . . . . .	32
<b>Conclusiones</b>	<b>33</b>
<b>Referencias</b>	<b>34</b>

## Índice de figuras

1.	Metodología - Waterfall . . . . .	12
2.	Procesamiento de mano abierta . . . . .	13
3.	Diferenciación de posiciones por dedo . . . . .	14
4.	Asignación de variables . . . . .	14
5.	Recepción de valores en arduino . . . . .	15
6.	Eslabones mano . . . . .	23
7.	Eslabones mano #2 . . . . .	24
8.	Eslabones mano #3 . . . . .	24
9.	Diagrama de conexiones, tomado de: Cerquera González, Morales, Morales, y Ruiz (2023) . . . . .	25
10.	21 puntos de coordenadas, tomado de: MediaPipe (s.f.) . . . . .	29

## Índice de tablas

1.	Tabla de material y tiempo de impresión . . . . .	16
2.	Tabla consumo equipos por las horas de impreson . . . . .	17

## Resumen

El proyecto se basa en el desarrollo de una mano antropomorfa, utilizando impresoras 3D para lograr hacer la construcción pieza a pieza, teniendo en cuenta características mecánicas, para la correcta movilidad de cada una de las articulaciones, integrando visión artificial con el fin de captar, desglosar y analizar los movimientos de las manos humanas en tiempo real, uniendo estas dos características, tanto físicas como digitales, se garantiza la flexibilidad y adaptabilidad necesaria para replicar la complejidad y precisión de los movimientos humanos, de esta forma, poder aplicarlo en los laboratorios de uso de reactivos químicos peligrosos para el uso humano, gracias a esto se podrán utilizar los ya mencionados reactivos a una distancia prudente evitando el contacto directo, todo esto por medio de la recepción de los estímulos visuales de las manos de los laboratoristas.

## Introducción

El desarrollo de extremidades robóticas gestionadas por medio de sistemas de visión artificial tiene el potencial de generar revolución en múltiples sectores industriales. Esta avanzada tecnología tendría un fuerte impacto al reducir considerablemente los riesgos de accidentes laborales y al aumentar la precisión y la productividad. Además, permitiría a los trabajadores desempeñar tareas que normalmente serían consideradas demasiado peligrosas o complejas. Un aspecto clave es la potencial disminución de los costos operativos a largo plazo, lo cual resulta atractivo para cualquier empresa. Por ejemplo, en la industria manufacturera, sería posible utilizar esta tecnología para manipular objetos peligrosos como sustancias químicas corrosivas o metales calientes, contribuyendo así a la prevención de lesiones graves. De manera similar, en el sector alimentario, esta tecnología podría mejorar la manipulación de alimentos, elevando la calidad de los productos finales. En la construcción, esta tecnología tendría la capacidad de asistir a los trabajadores en el manejo de cargas pesadas y en la ejecución de tareas en alturas elevadas, contribuyendo a la seguridad laboral. Además, en el ámbito de la salud, podría emplearse para realizar operaciones y procedimientos quirúrgicos con un alto grado de precisión y seguridad. En términos generales, la tecnología de mano robótica operada mediante visión artificial se vislumbra como una herramienta valiosa para empresas de diversos sectores industriales.

## Objetivos

### Objetivo general

Seleccionar y adecuar un diseño para construir una mano robótica que sea capaz de imitar movimientos de la mano humana mediante visión artificial

### *Objetivos específicos*

#### 1. Desarrollo del Algoritmo:

- Crear un algoritmo de reconocimiento de mano humana utilizando técnicas de visión artificial.
- Implementar el algoritmo en un sistema embebido computacional.

#### 2. Selección de Material:

- Investigar y seleccionar un material adecuado para la construcción de la mano robótica que sea resistente a reactivos químicos perjudiciales para la salud humana.

#### 3. Construcción de la Mano Robótica:

- Selección del diseño de la mano robótica y construcción de la misma cumpliendo con las características necesarias para imitar el movimiento de una mano humana y satisfaciendo las necesidades del proyecto.

#### 4. Construcción del Prototipo:

- Construir un prototipo de funcional de la mano robótica basado en el diseño previamente seleccionado..

#### 5. Pruebas y Ajustes:

- Realizar pruebas exhaustivas del prototipo para asegurarse de que sea capaz de imitar movimiento de la mano humana de manera precisa
- Realizar ajustes y mejoras según sea necesario

## Justificación

La iniciativa de construir una mano mecánica manejada a través de visión artificial está plenamente fundamentada y posee un alto valor en variados entornos de la industria. En primer lugar, esta tecnología tiene el potencial de mejorar significativamente la seguridad laboral al evitar que los operadores se lastimen al manipular objetos peligrosos o corrosivos. Al replicar los movimientos precisos de la mano del operario, se minimiza el riesgo de accidentes y lesiones en entornos de alto riesgo. Además, esta mano robótica puede aumentar la eficiencia y precisión de las tareas. Al estar controlada por visión artificial, puede seguir los movimientos del operario con mayor exactitud, lo que se traduce en una manipulación más precisa de los objetos. Esto no solo reduce la posibilidad de errores, sino que también aumenta la productividad y la calidad del trabajo realizado. Otro beneficio es la posibilidad de utilizar esta tecnología en entornos donde los operadores humanos pueden tener dificultades físicas para realizar ciertas tareas repetitivas o de alta precisión. La mano robótica puede hacer frente a estas tareas con mayor destreza y resistencia, lo que aumenta la capacidad de producción y reduce el desgaste físico de los trabajadores. Además, la implementación de esta tecnología puede tener un impacto positivo en los costos operativos a largo plazo. Al evitar accidentes laborales, se reducen los costos asociados con indemnizaciones y gastos médicos. Asimismo, la mayor precisión y productividad pueden traducirse en ahorros en términos de tiempo y materiales.

## Definición del problema

El problema que se aborda en este proyecto es la necesidad de mejorar la seguridad laboral y la eficiencia en entornos industriales donde los operadores realizan tareas de manipulación de objetos peligrosos, corrosivos o que requieran alta precisión. Esta problemática representa un riesgo para la salud de los trabajadores y puede resultar en accidente laborales costosos tanto en términos económicos como en términos de bienestar. El problema se caracteriza de la siguiente manera:

1. **Área y lugar:** Este problema se presenta en entornos industriales y manufactureros en todo el mundo. No se limita a una ubicación específica.
2. **El problema de seguridad laboral y eficiencia en la manipulación de objetos peligrosos:** Es persistente a lo largo del tiempo y sigue siendo relevante en la actualidad.
3. **Perfil de las Unidades o Casos:** Al analizar las unidades en entornos industriales son los trabajadores donde con la manipulación de objetos peligrosos es una parte integral de su labor. Los Casos incluyen situaciones donde los trabajadores se exponen a riesgos al manipular objetos peligrosos de las diferentes industrias.
4. **Desconocimiento de Respuestas:** Las soluciones para mejorar la seguridad laboral, eficiencia y precisión en estos entornos específicos aún no se han determinado completamente, y es necesario llevar a cabo el estudio para identificar las mejores estrategias.
5. **Medios Éticos:** El estudio se llevará a cabo utilizando métodos de investigación éticos, respetando la privacidad y los derechos de los trabajadores, y cumpliendo con las regulaciones laborales y de seguridad pertinentes.
6. **Aporte de Conocimiento:** El proyecto tiene como objetivo proporcionar una solución efectiva y tecnológica para mejorar la seguridad laboral y la eficiencia en entornos industriales. Además, se busca evaluar el impacto económico y humano de la

implementación de esta tecnología.

7. **Variables Identificables y Medibles:** Las variables incluyen tasas de accidentes laborales, costos asociados a accidentes, precisión en la manipulación de objetos, eficiencia en la producción, calidad del trabajo realizado y ahorros en términos de tiempo y materiales.

## Marco teórico

Combinar la mecánica, la electrónica y la inteligencia artificial para ayudar con diferentes procesos científicos o industriales ha aumentado considerablemente en los últimos años, esto debido a la revolución industrial 4.0, esta revolución industrial tuvo su primera mención pública en 2011 en Hannover Totvs (s.f.), de esta forma se fué combinando diferentes técnicas y tecnologías para la mejora continúa en los procesos de la industria. "Entre los resultados se encuentra el cambio en los métodos de trabajo, con el uso de sistemas y sensores inteligentes. En este contexto, el software rígido y centralizado acaba dando paso a los mecanismos de Inteligencia Artificial y comunicación entre máquinas (M2M)", Totvs (s.f.).

Gracias a este gran avance podemos observar actualmente la vinculación de manos robóticas en la industria cumpliendo diferentes papeles, éstas automatizadas por medio de sistemas de control moderno utilizando sensores para su autonomía, generando una reducción en los trabajos manuales, ayudando a mejorar la velocidad de producción y precisión de la misma "Los brazos robóticos industriales ayudan a las empresas a alcanzar nuevos niveles de productividad mediante una mayor velocidad, eficiencia y precisión en una variedad de aplicaciones", Intel (s.f.).

Actualmente existen aportes significativos en el campo de manos robóticas, estas se caracterizan por sistemas que emulan la mano humanas como pueden ser: "la mano Utah/MIT, la mano TUAT/Karlsruhe, la mano Robonaut 2, la mano DLR, la mano Metamorphic Hand", o autores del artículo (Año de publicación)

En la actualidad se ven avances de manos robóticas antropomórficas, pero enfocadas en la

investigación de prótesis, por esta razón se utilizan sensores que obtienen señales electromiográficas que son las señales que reproducen los músculos de nuestro cuerpo y se ven representadas en unidades muy bajas, entonces, para lograr mejorar la visualización de estas señales utilizan unos amplificadores operacionales, esto se puede ver en trabajos de investigación como el de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, "se presenta la aplicación del brazalete mioeléctrico comercial MYO® para el control de movimiento de una mano robótica", del Artículo (2021).

Otro claro ejemplo de este tipo de investigación enfocada es la de la universidad de Washington, donde se enfocaron plenamente en la precisión y no en la fuerza, centrándose en el diseño y en el control de las articulaciones y de la movilidad también por señales mioeléctricas, "Para conseguir una destreza máxima, estos científicos se pusieron como objetivo construir una mano mecánica lo más parecida posible al modelo humano. Para ello, escanearon un esqueleto humano e imprimieron los huesos artificiales con una impresora 3D, duplicando los ejes de las articulaciones", Arteaga (19 de febrero de 2016), todo esto apunta que el campo investigativo de la actualidad se está centrando en la creación de estas manos más como prótesis que como manejo y mimesis remota de la mano humana.

### **Selección del diseño de la mano antropomorfa**

Para la selección del diseño de la mano robótica antropomorfa, se tuvieron ciertas características en cuenta como lo es la movilidad eficiente y adaptabilidad al entorno de laboratorios químicos, a su vez también se analizaron variables como rango máximo de alcance de cada articulación y la resistencia del material a utilizar. "Las manos robóticas antropomórficas han aparecido como resultado de la búsqueda por diseñar efectores finales capaces de desarrollar la mayor cantidad de tareas de manipulación sin requerir modificación física, así como lo hace la mano humana. La mayoría de los modelos se basan en un sistema de motores eléctricos e hilos", *Diseño y Modelado de Mano Robótica Antropomórfica de Músculos Artificiales* (s.f.).

Teniendo en cuenta esta información, se denota la importancia de utilizar eslabones

continuos y no hilos, ya que estos hilos pueden llegar a sufrir daños por los reactivos químicos con los que puede entrar en contacto el prototipo.

### **Análisis del sistema**

Ya teniendo en cuenta el diseño elegido se debe hacer un análisis del sistema, este es el análisis FEA (Finite Element Analysis) "en las piezas que se consideran como puntos críticos de la mano, gracias a este análisis se puede examinar como se comporta el diseño seleccionado al estar bajo ciertas cargas y condiciones de funcionamiento, de igual manera identifica las áreas de debilidad y posibles problemas estructurales", Pinilla, Cerquera, Angel, y Moreno (2023).

esto para tener mayor certeza del diseño elegido, este análisis del sistema es una herramienta muy útil e indispensable al momento de diseñar o elegir un diseño, esto debido a que se pueden encontrar fallas antes de hacer cualquier impresión o construcción, todo desde el diseño y su comportamiento simulado.

### **Inteligencia artificial**

La inteligencia artificial es un campo nuevo que recientemente ha tenido un incremento considerable en sus avances y resultados, la inteligencia artificial puede ser utilizada para temas varios, dependiendo de esto cambia su estructura, "Machine learning o inteligencia artificial, se define como la ciencia que busca que las computadoras actúen sin la necesidad de ser programadas", Cicero (2018), se tiene en cuenta que para que esta funcione, tenemos que tener redes neuronales que varían según la aplicación que se le dará, en el caso de una inteligencia artificial para predecir valores y datos, necesitaremos redes neuronales tradicionales que consisten en una serie de entradas (datos a utilizar), estas entradas son las características que se usarán para entrenar esta red neuronal, después tenemos una capa oculta que es donde se hace el proceso de entrenamiento y comparación de variables para obtener similitudes y diferencias entre las entradas, para de esta forma lograr predecir un comportamiento particular, al final de la red tenemos la salida, que es donde recibiremos nuestra predicción, luego tendríamos las redes neuronales convolucionales, las cuáles son usadas para encontrar patrones en imágenes, estas redes son más

complejas debido a su diferente aplicabilidad, "Las redes neuronales convolucionales se distinguen de otras redes neuronales por su rendimiento superior con entradas de imagen, voz o señales de audio. Se componen de tres tipos principales de capas; Capa convolucional, Capa de agrupación, Capa totalmente conectada", *Convolutional Neural Networks* (s.f.), otras redes neuronales son las transformers, están normalmente son usadas para el análisis e interpretación del lenguaje natural, de Ingeniería del Conocimiento (IIC) (2023), de esta forma podemos enseñarle a las máquina el comportamiento del lenguaje humano, con estas redes neuronales logramos tener hoy en día los motores de búsqueda de nuestros sitios web como Google.

### **Visión Artificial**

"La visión artificial es un campo de la inteligencia artificial (IA) que permite a los ordenadores y sistemas extraer información significativa a partir de imágenes digitales, videos y otras entradas visuales, y tomar medidas o realizar recomendaciones en función de esa información. Si la IA permite a los ordenadores pensar, la visión artificial les permite ver, observar y comprender." IBM (s.f.)

La visión artificial funciona de tal forma que se analiza la imagen cuadro por cuadro, teniendo más complejidad al momento de entrenar estos modelos, ya que las imágenes de entrada utilizadas en el entrenamiento de los modelos deben ser claras y se debe especificar el objeto que queremos enseñarle a la IA a identificar, hay muchos modelos actualmente pre entrenados que cumplen esta función, estos nos permiten entrenar nuevos modelos usando una base inicial, un claro ejemplo de esto es Yolo Redmon, Divvala, Girshick, y Farhadi (2015), CvZone cvzone (Año de la última actualización), Media Pipe Hands Zhang y cols. (2020), OpenCV Mahamkali y Ayyasamy (2015)

La visión artificial tiene muchos usos en la industria actualmente debido a su adaptabilidad a su importancia en las herramientas digitales actuales. "La visión artificial se utiliza en sectores que van desde la energía y los servicios públicos hasta la fabricación y la automoción, y el mercado sigue creciendo. Se espera que alcance los 48 600 millones de dólares en 2022" IBM

(s.f.)

La inteligencia artificial es un campo que está en constante evolución, por ende la visión artificial está evolucionando de forma proporcional, ya que es una de sus ramas, girando en torno a asemejarse cada vez más al funcionamiento del ojo humano, .El mundo de la inteligencia artificial (IA) está en constante evolución, y un nuevo desarrollo tiene el potencial de revolucionar la forma en que las máquinas perciben e interactúan con el mundo que las rodea. Los sistemas de visión neuromórficos (NVS) son un tipo de sistema basado en IA que imita el sistema visual humano para procesar e interpretar imágenes y videos", Frackiewiczzen (2023).

### **Aplicación en Laboratorios Químicos**

La robótica desempeña un papel crucial en los laboratorios químicos al combinar una variedad de disciplinas, como la ingeniería mecánica, la ingeniería electrónica, las ciencias de la computación y la inteligencia artificial. Esta sinergia de conocimientos permite automatizar procesos fundamentales en la investigación química y proporciona numerosos beneficios, especialmente en circunstancias excepcionales, como la pandemia que hemos experimentado. PELEGRÍ (2021)

En un laboratorio químico, es común realizar acciones como calibrar instrumentos o diluir sustancias, que generalmente requieren la presencia física de un analista. No obstante, las limitaciones de acceso a los laboratorios durante la pandemia han destacado la necesidad de buscar soluciones innovadoras. En este contexto, un equipo de científicos de la Universidad de Liverpool ha desarrollado un brazo robótico programable que ha demostrado su capacidad para llevar a cabo tareas de laboratorio de manera autónoma.

Este brazo robótico es un ejemplo de cómo la robótica puede revolucionar la investigación científica. Puede realizar experimentos y manipular sustancias químicas con precisión y seguridad, incluso cuando los científicos están trabajando desde sus hogares. Esta tecnología no solo es valiosa en situaciones de emergencia, como la pandemia de COVID-19, sino que también tiene el potencial de acelerar significativamente el proceso de descubrimiento científico en

general. PÉREZ (2020)

La robótica se utiliza en laboratorios químicos para llevar a cabo experimentos y pruebas de manera controlada y precisa. Esto ayuda en el desarrollo de nuevos productos químicos y medicamentos. Los robots pueden ser utilizados en laboratorios de alta seguridad para realizar tareas en entornos peligrosos sin poner en riesgo la seguridad de los operadores humanos. Esto es especialmente importante cuando se manejan sustancias químicas peligrosas o agentes patógenos. Safesite (2022)

### **Recepción de Estímulos Visuales**

La recepción de estímulos visuales no existen únicamente en el ojo humano, esta recepción de estímulos visuales puede ser utilizada por cámaras, estos estímulos visuales se traducen en datos y características específicas para poder ser utilizados para el uso del modelo de inteligencia artificial para el reconocimiento de movimientos precisos y el mapeo de la mano humana, de esta forma se garantiza la recolección de gestos y acciones de manera efectiva, .<sup>EI</sup> proceso de la visión artificial recibe como entrada una o más secuencias de imágenes, tomadas desde distintos ángulos por una o más cámaras y a partir de este volumen de información visual se obtiene como salida del proceso una interpretación del entorno o medio ambiente", Figueroa (s.f.).

## **Metodología**

En pro del cumplimiento de los objetivos establecidos previamente se empleará una metodología híbrida, combinando diferentes elementos de las metodologías conocidas como Agile y Waterfall, de esta forma se equilibra la necesidad de adaptabilidad en el desarrollo del algoritmo, con la secuencia que se requiere para la selección del material, selección del diseño, integración de componentes y la realización de pruebas.

## Fases



**Figura 1**

*Metodología - Waterfall*

**Desarrollo del algoritmo:** En esta fase se seguirá el enfoque Agile, de tal forma que se realicen iteraciones cortas usando el marco Scrum, identificando a su vez diferentes técnicas de visión artificial y características claves para la segmentación y entendimiento de cada una de las partes de la mano para lograr una correcta descripción del movimiento, de cada una de las articulaciones de la mano, posteriormente a esto, se implementará el algoritmo en un sistema embebido computacional.

**Material:** En la fase de material, se usará el enfoque Waterfall de forma secuencial, se realizará una exhaustiva búsqueda y comparación entre diferentes materiales disponibles en el mercado, los cuáles sean resistentes a reactivos químicos perjudiciales para el ser humano.

**Selección de diseño:** En esta fase se realizará una búsqueda exhaustiva de un diseño base para la mano robótica, además, se gestionará de manera Agile para permitir ajustes iterativos, según se vaya necesitando para que se ajuste al algoritmo de visión artificial.

**Implementación mecánica y electrónica:** Al culminar la fase de selección de diseño, se procederá con la construcción del prototipo en una fase Waterfall, uniendo tanto el apartado mecánico como el apartado electrónico, para lograr un correcto resultado final, en funcionalidad y

en estructura.

**Pruebas:** Para la fase de pruebas y ajustes se utilizará la metodología Agile, para el correcto procesamiento de cada una de las pruebas a realizar de funcionalidad, entre estas están pruebas para evaluar la capacidad de imitar movimientos del mano humano de forma precisa, de tal forma que, gracias a estos ciclos iterativos de prueba, se mejore el rendimiento, para llegar el producto deseado.

## Desarrollo del algoritmo

### Procesamiento de imagen

Dentro del procesamiento de imagen, se usó "Hand Detector" Cai, Ge, Yuan, y Thalmann (2020) que es una de los modelos pre entrenados de  $\zeta V2$  "OpenCV" (s.f.), para de esta forma realizar un correcto análisis y procesamiento de imagen, usando segmentación de imágenes para poder diferenciar las manos de otros elementos y de esta forma la detección y el movimiento de ellas, esto incluye cada uno de los puntos importantes de las articulaciones de la mano humana, al tener ya esto definido, recibiremos unas variables del tipo listas, las cuáles harán referencia a la posición de cada uno de los dedos de determinada mano, ya sea derecha o izquierda, las posiciones varían en 0 y 1, donde 1 es abierto y 0 es cerrado como se puede ver en la figura 2.

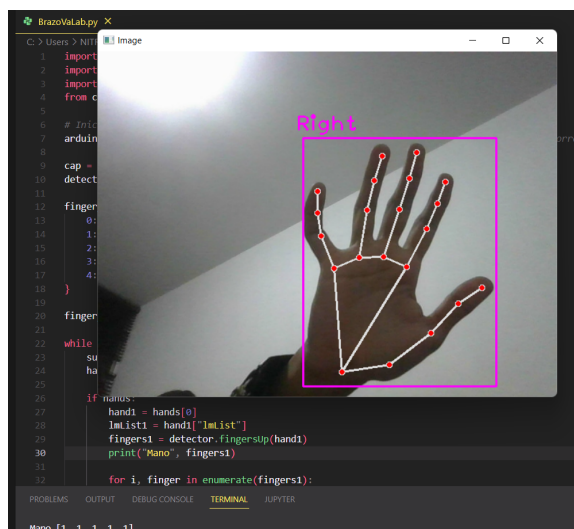
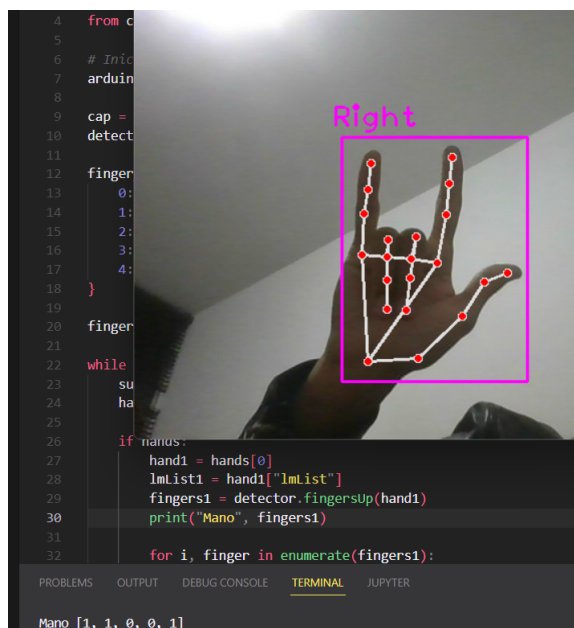


Figura 2

*Procesamiento de mano abierta*

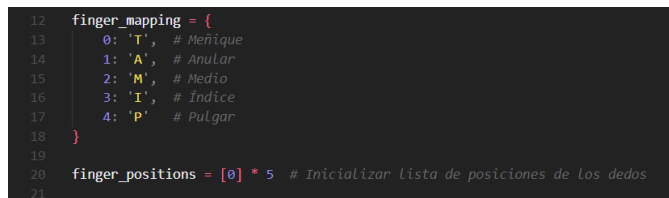
Después de lograr interpretar esto se realizaron diferentes ajustes para poder hacer la correcta identificación de los valores que serán necesarios usar para enviar al arduino, como se muestra en la figura 3.



**Figura 3**

*Diferenciación de posiciones por dedo*

Al tener esta diferenciación se asigna a cada dedo una letra que lo identifique para enviar al arduino por el puerto serial la señal específica de cuando un dedo cambie su posición como se muestra en la figura 4.



**Figura 4**

*Asignación de variables*

Ahora bien, al recibir los valores en arduino, se crea un *switch* y se crea un *case* para cada

uno de los dedos, ya sea para abrir o cerrar la mano, especificando el valor unitario para poder realizar una apertura individual de cada dedo, además se especifica que si se recibe un "0" cerrará ese eslabón correspondiente, así como se puede observar en la figura 5.

```
// Controlar los dedos según los comandos recibidos
switch (command) {
  case 'T': // Meñique subir
    servoMeñique.write(90);
    break;
  case 'A': // Anular subir
    servoAnular.write(90);
    break;
  case 'M': // Medio subir
    servoMedio.write(90);
    break;
  case 'I': // Índice subir
    servoIndice.write(90);
    break;
  case 'P': // Pulgar subir
    servoPulgar.write(90);
    break;
  case '0': // Bajar todos los dedos
    servoMeñique.write(0);
    servoAnular.write(0);
    servoMedio.write(0);
    servoIndice.write(0);
    servoPulgar.write(0);
    break;
}
```

**Figura 5**

*Recepción de valores en arduino*

## Análisis de Costos

En este proyecto se presenta el análisis de costo de una mano robótica impresa en 3D con IA. La mano está basada en el diseño de la mano robótica “Left Hand robot InMoov”, que está disponible en Thingiverse.

La mano está compuesta por 11 piezas, cada una de las cuales se ha impreso en 3D con filamento PLA. El tiempo de impresión total fue de 57 horas y 9 minutos, usando 519 gr de PLA.

STL	Tiempo(Horas)	Tiempo(Minutos)	Peso(Gramos)
Bolt_entretoise7	1	26	13
leftcoverfinger1	2	23	16
leftrobcap3V1	3	7	23
Leftrobpact2V3	7	45	74
leftrobpact3V3	5	30	55
leftrobpact4V3	8	11	87
Leftrobpact5V3	10	9	102
leftthumb5	3	2	26
lefttopsurface4	5	28	39
LeftWristlargeV4	6	50	57
leftWristsmallV3	3	18	27
<b>TOTAL</b>	<b>53</b>	<b>249</b>	<b>519</b>

**Cuadro 1**

*Tabla de material y tiempo de impresión*

El objetivo de este análisis es estimar el costo total del proyecto, lo que incluye el costo de plástico y energía. El costo de una bobina de filamento PLA está en 80,000 y el costo de energía de Kw/hora es de 720. Los equipos usados son la impresora 3d, un ventilador auxiliar y un computador portátil. El gasto total incluyendo la bobina es de 87,800.

EQUIPO	Consumo (Kw/Hora)	Consumo total (Kw)	Costo
Impresora	0.06	3.429	2468.88
Ventilador	0.009	0.51435	370.332
Computador	0.12	6.858	4937.76
<b>TOTAL</b>	0.189	10.80135	7776.972

**Cuadro 2**

*Tabla consumo equipos por las horas de impresion*

## Análisis de Requerimientos

### Requisitos de Hardware:

Se requiere un brazo robótico con la capacidad de movimientos similares a una mano humana. Cámara para el reconocimiento de imágenes y análisis de gestos. Computador desde donde se controlará la mano y procesará las imágenes.

### Requisitos de Software:

Desarrollo de algoritmos de IA para el reconocimiento de imágenes y la interpretación de gestos. Programación de movimientos precisos y control de la mano robótica. Interfaz de programación de aplicaciones (API) para la comunicación entre la IA y el hardware. Desarrollo de algoritmo que controla la mano.

### Requisitos de Seguridad:

Implementación de mecanismos de seguridad para detener el movimiento en caso de detección de anomalía o casos que se documenten, manteniendo siempre con el cumplimiento de estándares de seguridad para la manipulación de reactivos químicos.

### **Requisitos de Comunicación:**

Conexión estable y de baja latencia entre la IA y el hardware de la mano robótica.  
Capacidad de enviar comandos de control desde un ordenador central.

### **Requisitos de Materiales:**

Determinar los materiales resistentes a productos químicos y que cumplan con los estándares de seguridad del laboratorio.

### **Requisitos de Evaluación:**

Establecer métricas de evaluación, como la tasa de error en la manipulación de reactivos y la velocidad de respuesta de la IA. Realizar pruebas exhaustivas para validar la precisión y la fiabilidad del prototipo.

### **Requisitos de Documentación:**

Documentar la selección del diseño, la implementación y los procedimientos de operación del prototipo. Preparar manuales de usuario y material de referencia técnica.

### **Requisitos de Tiempo:**

Cumplir con el cronograma tentativo del proyecto, asegurando que se cumplan los plazos definidos.

### **Requisitos de Costos:**

Mantener el presupuesto dentro de los límites establecidos y llevar un registro detallado de los costos de materiales y componentes.

## Análisis de Restricciones

### Análisis Ambiental

El uso de PLA (*ácido poliláctico*) como material para la impresión 3D es una decisión ambientalmente responsable. El PLA es biodegradable y no tóxico, lo que minimiza el impacto ambiental del proyecto. La elección de este material demuestra un compromiso con prácticas sostenibles y la reducción de residuos plásticos. Además, la eficiencia energética y la duración de las máquinas son consideraciones importantes para reducir la huella de carbono del proyecto. Por lo tanto, se han tenido en cuenta la configuración de temperatura de la cama de impresión y la boquilla a los valores necesarios para el material PLA, que son 200°C. Impresoras3D.com (2022)

### Análisis Económicos

Una ventaja económica es el acceso a impresoras 3D proporcionadas por la universidad. Esto reduce significativamente los costos de adquisición de hardware y permite utilizar recursos disponibles en la institución académica. En consecuencia, la elección de utilizar PLA como material de impresión 3D se basa en consideraciones económicas y ambientales. El PLA es una opción asequible en términos de costos de material, lo que ayuda a mantener los gastos del proyecto dentro de límites razonables. Sin embargo, una restricción económica significativa es el alto costo de los componentes tecnológicos necesarios para la construcción de la mano robótica. Estos componentes, a menudo importados, pueden ser más caros en Colombia debido a impuestos y aranceles, lo que puede afectar el presupuesto del proyecto. TotalEnergies (2022)

### Análisis de Salud y Seguridad

1. **Lesiones Mecánicas** Uno de los riesgos más prominentes en el desarrollo de una mano robótica controlada por visión artificial es la posibilidad de lesiones mecánicas. Estas lesiones pueden manifestarse en forma de atrapamientos, pellizcos o golpes durante las fases de construcción y pruebas de la mano robótica. La manipulación de componentes mecánicos y la interacción con sistemas en movimiento pueden dar lugar a situaciones potencialmente peligrosas. Por lo tanto, se usarán guantes en el momento del ensamblaje

para mitigar estas posibles lesiones.

2. **Riesgos Eléctricos** Los riesgos eléctricos representan un área crítica en el desarrollo de la mano robótica, ya que involucra componentes eléctricos y sistemas de control. La mala manipulación de la electricidad o la falta de conocimiento en seguridad eléctrica pueden dar lugar a descargas eléctricas, cortocircuitos u otros accidentes relacionados con la electricidad.
3. **Fatiga y Estrés** A menudo pasados por alto, la fatiga y el estrés pueden afectar la salud y seguridad de quienes trabajan en proyectos técnicos complejos como el desarrollo de una mano robótica. La presión por cumplir con plazos, los desafíos técnicos y la naturaleza intensiva del trabajo pueden llevar a niveles altos de estrés y fatiga, lo que a su vez puede aumentar el riesgo de errores y accidentes.

### **Normativas de Seguridad en Laboratorios:**

Las regulaciones de seguridad en laboratorios pueden ser rigurosas y variar según el país o la institución. Las restricciones socioculturales pueden surgir si el diseño o la implementación de la mano robótica no cumple con los estándares de seguridad existentes o si la introducción de tecnología robótica plantea preocupaciones sobre la seguridad de los trabajadores de laboratorio.

### **Aspectos Éticos y de Responsabilidad:**

La introducción de tecnología robótica en entornos de laboratorio también puede plantear preguntas éticas y de responsabilidad. Por ejemplo, es importante abordar cómo se gestionarán los errores o accidentes en la manipulación de reactivos y qué responsabilidades recaerán en los operadores humanos y en los sistemas de IA.

### **Capacitación y Adaptación Cultural:**

La implementación de tecnología avanzada puede requerir que los trabajadores de laboratorio adquieran nuevas habilidades y conocimientos. Esto puede llevar tiempo y esfuerzo, y algunos individuos pueden resistirse al cambio o enfrentar desafíos para adaptarse a la nueva tecnología.

### **Confianza en la Tecnología:**

La confianza en la tecnología robótica y la IA es un aspecto importante. Los operadores pueden sentir cierta desconfianza hacia la capacidad de la mano robótica para manipular reactivos de manera segura y precisa. Es necesario abordar estas preocupaciones y construir la confianza en la tecnología.

### **Aspectos Culturales:**

En algunas culturas, la interacción con máquinas o robots puede verse de manera diferente o requerir un enfoque culturalmente apropiado. Las restricciones socioculturales pueden surgir si no se tienen en cuenta estos aspectos en el diseño y la implementación.

### **Colaboración Hombre-Máquina:**

La colaboración efectiva entre los operadores humanos y la mano robótica controlada por IA es esencial. Las restricciones socioculturales pueden surgir si los trabajadores de laboratorio no están dispuestos a colaborar con la tecnología o si existe una percepción de que la tecnología amenaza sus roles o empleos.

### **Presupuesto:**

Se debe determinar cuánto puedes gastar en la construcción de la mano robótica y en los componentes electrónicos. Es clave presupuesto claro para asegurarte de que el proyecto sea viable financieramente.

### **Recursos y Acceso a Tecnología:**

Se debe determinar el acceso que tenemos a las impresoras 3D y otros equipos necesarios para construir la mano robótica.

### **Conocimientos y Habilidades:**

Determinar los conocimiento técnico y las habilidades necesarias para construir y programar la mano robótica. Que tipo de conocimientos adicionales se requieren o trabajo en conjunto con personas que tengan experiencia en ingeniería y robótica.

### **Regulaciones y Normativas:**

Investiga las regulaciones y normativas relacionadas con la seguridad en laboratorios y la manipulación de reactivos. Asegúrate de cumplir con todas las normativas aplicables.

### **Disponibilidad de Componentes Electrónicos y Sensores:**

Verifica la disponibilidad de los componentes electrónicos y sensores que necesitarás para la mano robótica, ya que la disponibilidad de ciertos componentes puede ser un factor limitante.

### **Tiempo:**

Establece un cronograma realista para el proyecto, teniendo en cuenta tus plazos de grado y cualquier fecha límite relacionada con el proyecto.

### **Capacidad de la IA:**

Asegurar que la inteligencia artificial que controlará la mano robótica tenga la capacidad necesaria para reconocer y replicar los movimientos del operador de manera precisa.

### **Energía y Suministro Eléctrico:**

Considera cómo alimentarás la mano robótica y los componentes electrónicos en un entorno de laboratorio. La duración de la batería y la capacidad de suministro eléctrico son factores importantes.

### **Diseño Ergonómico y Seguridad:**

Piensa en el diseño ergonómico de la mano robótica para garantizar que pueda manipular reactivos de manera efectiva y segura en un laboratorio.

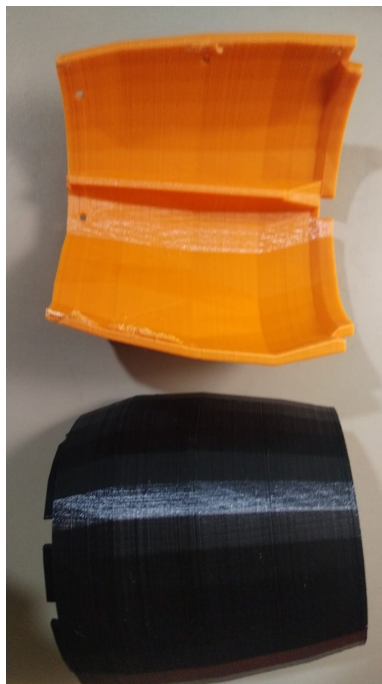
## Desarrollo mecánico y armado

Después de elegir el diseño y el material disponible para el proyecto se dispuso a realizar la impresión y construcción de cada una de las piezas de las manos, estas piezas se pueden visualizar en las figuras 6, 7, 8.



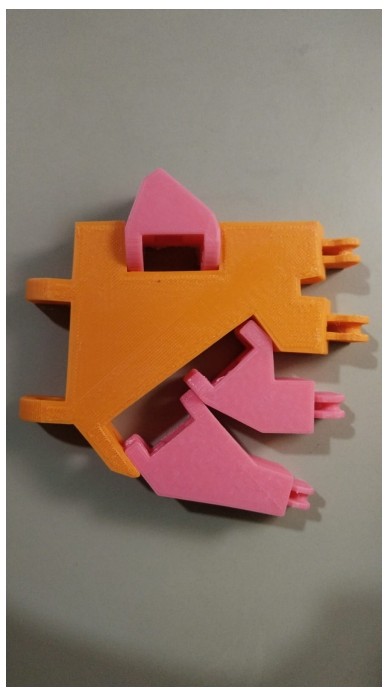
**Figura 6**

*Eslabones mano*



**Figura 7**

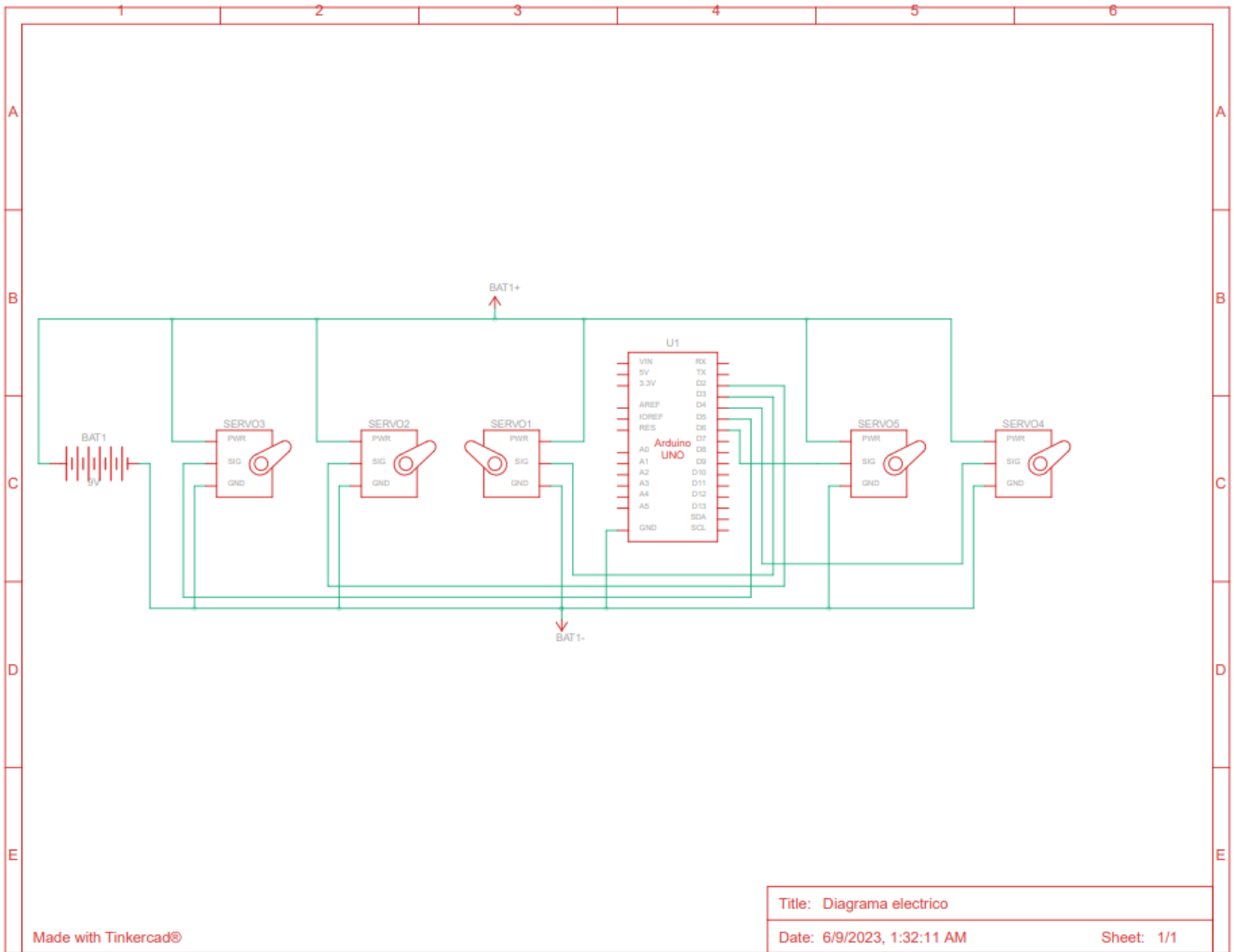
*Eslabones mano #2*



**Figura 8**

*Eslabones mano #3*

cada una de estas piezas juntas conforman las articulaciones necesarias para darle una correcta movilidad a la mano, ya al tener la mano robótica armada, se precedió a ensamblar el apartado electrónico de la mano para darle ahora si la movilidad a la mano y la señal que recibe el arduino que por consiguiente sería movimiento, como se aprecia en la figura 9.



**Figura 9**

*Diagrama de conexiones, tomado de: Cerquera González y cols. (2023)*

## Pruebas

Inicialmente, todos los componentes se conectan y se ejecuta el código para especificar los ángulos exactos para la rotación de los servomotores. Estos servomotores son fundamentales ya que proporcionan el movimiento a los eslabones de la mano.

Después de varios intentos, se logra determinar el valor posicional exacto en el que debe situarse el servo para mover la mano de acuerdo a lo que el código de Python reconoce y ordena. Este proceso de calibración es crucial para asegurar que la mano robótica pueda replicar con precisión los movimientos de una mano humana.

Además de estas pruebas, existen otras evaluaciones que se pueden realizar en una mano robótica antropomórfica. se realizaron pruebas de funcionalidad, donde se evalúa la capacidad de la mano robótica para realizar tareas específicas, como agarrar objetos de diferentes formas y tamaños, *Robotic Hand* (s.f.).

Otra prueba importante es la de la visión artificial. En esta prueba, se evaluó la capacidad de la mano robótica para identificar y replicar los movimientos de una mano humana basándose en la información visual que recibe. Esto puede implicar el seguimiento de los movimientos de una mano humana en tiempo real y la replicación de estos movimientos con precisión, *Este robot imita en tiempo real los movimientos de una mano humana* (2018).

## Reportes de Resultados del proceso cuantitativo

### Estimación de Costos

Este informe tiene como objetivo presentar los resultados cuantitativos relacionados con el costo total del proyecto de desarrollo de la mano robótica, abarcando los gastos asociados al consumo de plástico y energía. La evaluación incluye el costo de una bobina de filamento PLA y la energía utilizada por los equipos, como la impresora 3D, un ventilador auxiliar y un computador portátil.

Costo de Filamento PLA y Energía: La bobina de filamento PLA tiene un costo de 80,000, mientras que el costo de la energía es de 720 por Kw/hora. El gasto total, incluyendo la bobina, asciende a 87,800.

Consumo de Energía por Equipo El consumo de energía de cada equipo se detalla a continuación:

### **Impresora 3D:**

- Consumo: 0.06 Kw/hora
- Consumo total: 3.429 Kw
- Costo: \$2,468.88

### **Ventilador Auxiliar:**

- Consumo: 0.009 Kw/hora
- Consumo total: 0.51435 Kw
- Costo: \$370.332

### **Computador Portátil:**

- Consumo: 0.12 Kw/hora
- Consumo total: 6.858 Kw
- Costo: \$4,937.76

### **TOTAL:**

- Consumo total: 0.189 Kw
- Consumo total acumulado: 10.80135 Kw
- Costo total: \$7,776.97

El análisis cuantitativo revela que el costo total del proyecto, considerando el consumo de energía y la adquisición del filamento PLA, se sitúa en 87,800. La mayor contribución al costo proviene del consumo eléctrico, representando un total de 7,776.972. La información cuantitativa proporcionada será crucial para la gestión eficiente de recursos y la planificación de presupuestos futuros. Cualquier ajuste en los parámetros de consumo de energía o en la elección del material impactará directamente en los costos totales del proyecto. Estos resultados cuantitativos ofrecen un panorama de los aspectos financieros del proyecto, permitiendo tomar decisiones informadas para optimizar los recursos y garantizar la viabilidad económica de la iniciativa.

### **Errores de Impresión y Reimpresiones:**

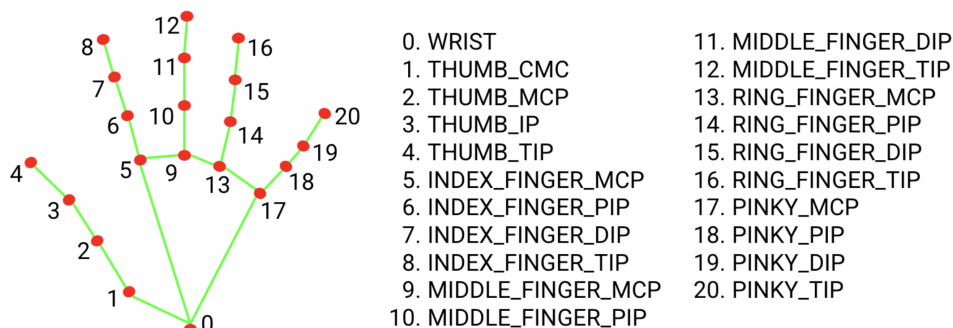
Durante el proceso, se identificaron errores de impresión en algunas piezas de la mano antropomorfa, lo que afectó su rendimiento. Se realizaron reimpresiones de las partes afectadas para corregir las imperfecciones y garantizar la integridad estructural.

### **Diseño del Estudio:**

Después de realizar una exhaustiva evaluación de diversos diseños de manos, se determinó que el modelo InMoov LANGEVIN (s.f.) era la elección más idónea para este proyecto. Este diseño se distingue por su carácter open source y la capacidad de impresión 3D, además de ofrecer la movilidad y diseño esenciales para la ejecución exitosa de nuestro proyecto.

La implementación se benefició del uso del modelo Hand Landmarks de MediaPipe. Este modelo, entrenado con un conjunto de datos que incluye aproximadamente 30.000 imágenes del mundo real y varios modelos sintéticos de manos renderizados en diversas condiciones, permite la detección precisa de la ubicación de los 21 puntos clave que representan las coordenadas de los nudillos de la mano en las regiones detectadas. La red neuronal convolucional empleada en este modelo, basada en estos 21 puntos de coordenadas (10), facilitó una adaptación excepcional para el seguimiento en tiempo real. Con un promedio de error absoluto normalizado de la palma (MNAE) de 9.18 y una desviación estándar de 10.11 del modelo, esta capacidad posibilitó replicar con precisión los movimientos en el modelo físico mediante impresión 3D. Estos

resultados respaldan la eficacia y la fiabilidad de nuestro enfoque en la integración de visión artificial para la consecución de los objetivos del proyecto. MediaPipe (s.f.)



**Figura 10**

21 puntos de coordenadas, tomado de: MediaPipe (s.f.)

## Reportes de Resultados del proceso cualitativo

### Desarrollo del Algoritmo

Durante el proceso cualitativo de desarrollo del algoritmo de reconocimiento de mano humana, se realizaron extensas pruebas para evaluar su capacidad de adaptación a diversos movimientos y gestos. Se observó que el algoritmo respondía de manera similar a la imitación de una mano con cambios en la velocidad y dirección de los movimientos de la mano del operador, demostrando una adaptabilidad destacada. La precisión en la identificación de gestos específicos fue un punto fuerte, permitiendo una respuesta con un retraso corto. Se identificaron situaciones desafiantes durante las pruebas, como cambios bruscos en la iluminación y variaciones en la posición de la mano. Sin embargo, el algoritmo mostró resiliencia al ajustarse a estas condiciones adversas. Este nivel de adaptabilidad es esencial, especialmente en entornos dinámicos donde las condiciones pueden variar considerablemente. La implementación del algoritmo en un sistema embebido computacional también se llevó a cabo de manera exitosa. La eficiencia computacional fue un factor clave, y se realizaron optimizaciones para garantizar un rendimiento rápido y confiable en tiempo real. En resumen, el desarrollo del algoritmo se destacó por su capacidad de adaptación y precisión en la interpretación de gestos, estableciendo una base para la continuación

del proyecto.

## Selección de Material

La selección de material fue algo que se determinó por la facilidad en la adquisición como modelado del PLA, que es el más vendido porque está altamente estandarizado para las impresoras 3D. Y en general en las pruebas de resistencia arroja resultados favorables, modificando el relleno de las piezas. Pese a que el polipropileno o el PET, son mejores frente a reactivos. Su implementación en la impresión 3d conlleva ajustes en las maquinas y mayor tiempo en el proceso de impresión, adicional de un precio de venta mayor y una menor oferta en el mercado. El PLA sigue cumpliendo con lo necesario para el desarrollo de la mano y se considera el uso de un guante de nitrilo de ser necesario. La durabilidad del material fue probada mediante ciclos repetidos de movimientos de la mano robótica. Aunque se observó un desgaste mínimo, este no comprometió la integridad estructural. La ligereza del material fue un aspecto crucial, especialmente considerando la necesidad de movimientos ágiles y precisos. La selección de material no solo cumplió con los requisitos de resistencia, sino que también garantizó un peso óptimo para la mano robótica, contribuyendo a su eficiencia en el rendimiento.

## Construcción de la Mano Robótica

La construcción de la mano robótica se llevó a cabo siguiendo el diseño previamente seleccionado del proyecto InMoov *Finger Starter* (s.f.). Durante este proceso, se destacó la importancia de la facilidad de construcción para garantizar la replicabilidad del proyecto. El modularidad del diseño permitió una construcción eficiente, con cada componente encajando de manera precisa.

La adaptabilidad del diseño fue evidente durante la fase de construcción, ya que se realizaron ajustes menores para optimizar la integración de ciertos componentes. La facilidad de acceso a los elementos clave facilitó el montaje, y la documentación del procedimiento de construcción fue útil para replicarlo. La construcción de la mano robótica cumplió con las características necesarias para imitar el movimiento de una mano humana y satisfizo las

necesidades del proyecto de manera integral.

La construcción del prototipo fue una etapa crucial para validar la aplicabilidad práctica del diseño conceptual. El prototipo funcional se construyó meticulosamente según el diseño establecido. Durante esta fase, se prestaron especial atención a la alineación precisa de las articulaciones y la integración eficiente del sistema de reconocimiento de gestos.

La representación física del diseño conceptual permitió una evaluación directa de la ergonomía y la adaptabilidad en situaciones del mundo real. La construcción del prototipo proporcionó una plataforma sólida para las pruebas y ajustes posteriores. La fidelidad del prototipo al diseño original fue fundamental para garantizar resultados coherentes en las fases subsiguientes del proyecto.

### **Pruebas y Ajustes**

Durante las pruebas cualitativas, la mano robótica se sometió a una serie de escenarios diseñados para evaluar su capacidad para imitar movimientos humanos en condiciones diversas. Las pruebas abordaron situaciones desafiantes, como cambios bruscos en la dirección, velocidades variables y movimientos inesperados.

Las observaciones cualitativas indicaron una precisión satisfactoria en la imitación de gestos humanos. Sin embargo, se identificaron áreas para mejoras específicas, especialmente en la adaptabilidad a ciertos contextos específicos. Estos ajustes se realizaron de manera sistemática, centrándose en la optimización de la respuesta en situaciones críticas y la mejora de la coordinación entre las articulaciones.

Las pruebas y ajustes no solo contribuyeron a la optimización del rendimiento, sino que también proporcionaron información valiosa para futuras iteraciones del diseño. La capacidad de realizar ajustes específicos en función de las observaciones cualitativas resalta la flexibilidad del diseño y la capacidad de adaptación del sistema.

## Alternativa de solución

### Material para Altas Temperaturas: PEEK

Como alternativa al PLA para procesos que implican altas temperaturas se plantea implementar PEEK (polieteretercetona), material muy exigente para su implementación, más sin embargo cuenta con cualidades mecánicas y químicas únicas, resaltando su capacidad de resistir temperaturas de hasta 343 °C, cualidad que nos vendrá perfecto para las tareas antes mencionadas. M. (2023)

### Machine Learning para el Reconocimiento de Objetos en Procesos de Alto Riesgo

Así como se pueden desarrollar algoritmos para copiar los movimientos de una mano, en procesos de alto riesgo en los cuales se necesitan mejores tiempos en la toma de decisiones en situaciones de peligro, una alternativa que nos permite mejorar estos tiempos puede ser la implementación de un algoritmo con machine learning para el reconocimiento de imágenes y así poder apoyar y defender la integridad de los trabajadores. Team (2022)

### Implantación de Diseños en Metales de Alta Calidad

En procedimientos donde la integridad de la mano está realmente comprometida, podríamos trabajar con una implantación distinta a la impresión 3D. Un diseño en metales de alta calidad como el hierro o aluminio proporciona la resistencia requerida. Para la implementación de estos diseños en base de metal, se puede acceder al servicio de empresas como "Metales y Perfiles.º ÑMETAL Colombia," las cuales realizan piezas a medida. Sin embargo, se debe tener en cuenta que esta alternativa cuenta con un alto costo y solo es realmente viable en producción a gran escala. Inmetal (2023)

## Conclusiones

En conclusión, el enfoque cualitativo implementado en el desarrollo de la mano robótica ha proporcionado resultados altamente prometedores. Desde el desarrollo del algoritmo hasta la construcción del prototipo y las pruebas cualitativas, cada fase del proceso ha contribuido significativamente al éxito general del proyecto.

La adaptabilidad del algoritmo de reconocimiento de gestos ha establecido una base sólida para la precisión en la imitación de movimientos. La selección de material ha garantizado la resistencia necesaria y la ligereza óptima para un rendimiento eficiente. La construcción y el montaje de la mano robótica, junto con la construcción del prototipo, han validado la aplicabilidad práctica del diseño conceptual.

Las pruebas y ajustes cualitativos no solo mejoraron la precisión de la mano robótica, sino que también proporcionaron información valiosa para futuras mejoras y optimizaciones. Este enfoque cualitativo ha demostrado ser esencial para comprender las complejidades del sistema y garantizar su rendimiento en entornos del mundo real.

Los resultados del proceso cualitativo respaldan la viabilidad y eficacia del proyecto en su conjunto para su aplicación en entornos industriales y/o condiciones de laboratorio. La capacidad de imitar movimientos humanos con precisión, la resistencia a sustancias químicas y la adaptabilidad a diversas situaciones posicionan a la mano robótica como una herramienta valiosa para los contextos de manipulación de sustancias que representen un riesgo en su manipulación.

## Referencias

- Arteaga, S. (19 de febrero de 2016). *Mano robótica reproduce fielmente movimientos humanos*.  
Descargado de <https://computerhoy.com/noticias/hardware/mano-robotica-reproduce-fielmente-movimientos-humanos-40729>
- Cai, Y., Ge, L., Yuan, Y., y Thalmann, D. (2020). *A Comprehensive Review of Hand Tracking*.  
Descargado 2023-05-07, de <https://arxiv.org/pdf/2006.10214.pdf>
- Cerquera González, J. J., Morales, J. P., Morales, N., y Ruiz, J. (2023). *Mimetic hand. Nombre de la Revista*. (Estudiantes de ingeniería Mecatrónica, Universidad Ean, Bogotá, Colombia (Cerquera, Morales, Ruiz); Estudiante de ingeniería de Sistemas, Universidad Ean, Bogotá, Colombia (Morales))
- Cicero, I. E. (2018). *Utilización de redes neuronales convolucionales para la detección de tipos de imágenes* (Trabajo Final). Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), Buenos Aires. (Presentado para la obtención del título de Especialista en Ciencia de Datos)
- Convolutional neural networks*. (s.f.). Descargado de <https://www.ibm.com/es-es/topics/convolutional-neural-networks>
- cvzone. (Año de la última actualización). *Repositorio de github de cvzone*. Descargado Fecha de acceso, de <https://github.com/cvzone/cvzone>
- de Ingeniería del Conocimiento (IIC), I. (2023). *Transformers en procesamiento del lenguaje natural*. Descargado de <https://www.iic.uam.es/innovacion/transformers-en-procesamiento-del-lenguaje-natural/>
- del Artículo, A. (2021, abr./jun.). Prototipo de mano robótica controlado mediante señales electromiográficas con un dispositivo comercial. *Comp. y Sist.*, 25(2). Descargado de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-55462021000200307](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-55462021000200307)  
(Epub 11-Oct-2021)
- Diseño y modelado de mano robótica antropomórfica de músculos artificiales*. (s.f.). Descargado 2023-10-22, de <http://cathi.uacj.mx/bitstream/handle/>

20.500.11961/16298/repo03-25.pdf?sequence=1&isAllowed=y

*Este robot imita en tiempo real los movimientos de una mano humana.* (2018, 20 de abril).

Descargado de

<https://expansion.mx/tecnologia/2018/04/20/este-robot-imita-en-tiempo-real-los-movimientos-de-una-mano-humana>

Figueroa, H. V. R. (s.f.). *Visión artificial*. Biblioteca Universidad Veracruzana. Descargado 2023,

de <https://libros.uv.mx/index.php/UV/catalog/download/BI193/737/914-1?inline=1>

*Finger starter.* (s.f.). <https://inmoov.fr/finger-starter/>. (Consultado el 27 de noviembre de 2023)

Frąckiewiczzen, M. (2023). *Sistemas de visión neuromórfica: De la visión biológica a la visión artificial*. Descargado 2023, de <https://ts2.space/es/sistemas-de-vision-neuromorfica-de-la-vision-biologica-a-la-vision-artificial/> (Publicado en Inteligencia Artificial el 21 de junio de 2023)

IBM. (s.f.). *Computer vision*. Descargado 2023, de

<https://www.ibm.com/es-es/topics/computer-vision>

Impresoras3D.com. (2022). *Filamento pla: Consejos, características y mucho más*. Sitio web

Impresoras3D.com. Descargado de [https://www.impresoras3d.com/filamento-pla-consejos-caracteristicas-y-mucho-mas/#:~:text=Caracter%3ADsticas%20del%20PLA,-El%20filamento%20PLA&text=El%20rango%20de%20temperatura%20de,\(198%2D210\)%C2%BAC](https://www.impresoras3d.com/filamento-pla-consejos-caracteristicas-y-mucho-mas/#:~:text=Caracter%3ADsticas%20del%20PLA,-El%20filamento%20PLA&text=El%20rango%20de%20temperatura%20de,(198%2D210)%C2%BAC) (Accedido el YYYY-MM-DD)

Inmetal. (2023). *Abricación en aceros especiales*. Descargado 2023, de

<https://inmetal.com.co/>

Intel. (s.f.). *Brazos robóticos industriales*. Descargado 2023, de

[https://www.intel.la/content/www/xl/es/robotics/robotic-arm.html#:~:text=Los%20brazos%20rob%20sticos%](https://www.intel.la/content/www/xl/es/robotics/robotic-arm.html#:~:text=Los%20brazos%20rob%20sticos%20)

20industriales%20ayudan%20a%20las%20empresas%20a%20alcanzar  
, analicen%20y%20comprendan%20sus%20entornos.

LANGEVIN, G. (s.f.). Inmoov. Descargado de <https://inmoov.fr/>

M., A. (2023). *El peek en la impresión 3d: un material resistente y muy exigente*. Descargado 2023, de <https://www.3dnatives.com/es/peek-impresion-3d-material-060420202/> (El PEEK en la impresión 3D)

Mahamkali, N., y Ayyasamy, V. (2015). *Opencv for computer vision applications*. Descargado 2023, de [https://www.researchgate.net/publication/301590571\\_OpenCV\\_for\\_Computer\\_Vision\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/301590571_OpenCV_for_Computer_Vision_Applications) (Conference: Proceedings of National Conference on Big Data and Cloud Computing (NCBDC'15), March 20, 2015, Trichy)

MediaPipe. (s.f.). Hand landmarks detection guide. Descargado de [https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/hand\\_landmarker](https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/hand_landmarker)

o autores del artículo, A. (Año de publicación). Título del artículo. *Nombre de la revista*, *Volumen*(Número), Páginas. Descargado Fecha de acceso, de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/memoutp/article/view/1856/2711>

*OpenCV*. (s.f.). Descargado 2023-05-07, de <https://opencv.org/>

PELEGRÍ, J. (2021). *Robótica en la medicina, la farmacia y la química*. Descargado 2021, de <https://www.universal-robots.com/es/blog/robotica-en-la-medicina/>

Pinilla, J. E. R., Cerquera, J. J., Angel, J. P. P., y Moreno, N. A. M. (2023). *Mimetic hand*. Estudiantes de ingeniería Mecatrónica, Universidad Ean, Bogotá, Colombia.

PÉREZ, E. (2020). *Este brazo robótico para hacer experimentos químicos desde casa permitió mantener un laboratorio activo durante toda la pandemia*. Descargado 2020, de <https://www.xataka.com/investigacion/este-brazo-robotico-para-hacer-experimentos-quimicos-casa>

- permittio-mantener-laboratorio-activo-durante-toda-pandemia
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., y Farhadi, A. (2015). *You only look once: Unified, real-time object detection*. Descargado Fecha de acceso, de <https://arxiv.org/abs/1506.02640> (Submitted on 8 Jun 2015 (v1), last revised 9 May 2016 (this version, v5))
- Robotic hand*. (s.f.). Descargado de <https://cordis.europa.eu/article/id/35590-robotic-hand/es>
- Safesite. (2022). *Guía de seguridad sobre los riesgos de la robótica industrial*. Descargado 2022, de <https://safesitehq.com/es/industrial-robotica/>
- Team, K. (2022). *Reconocimiento de objetos con machine learning*. Descargado 2022, de <https://keepcoding.io/blog/reconocimiento-de-objetos-con-machine-learning/> (conceptos desarrollo de apps móviles, Machine Learning)
- TotalEnergies. (2022). *Consumo eléctrico de una impresora 3d*. Blog de TotalEnergies para PYMES. Descargado de <https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/consumo-electrico-impresora-3D> (Accedido el YYYY-MM-DD)
- Totvs. (s.f.). *Impactos de la industria 4.0: El impacto en las empresas y la sociedad*. Descargado 2023, de <https://es.totvs.com/blog/industria-4-0/impactos-de-la-industria-4-0-el-impacto-en-las-empresas-y-la-sociedad/#:~:text=As%C3%A9%20se%20estipula%20que%20la,de%20sistemas%20y%20sensores%20inteligentes.>
- Zhang, F., Bazarevsky, V., Vakunov, A., Tkachenka, A., Sung, G., Chang, C.-L., y Grundmann, M. (2020). *Mediapipe hands: On-device real-time hand tracking*. Descargado 2023, de <https://arxiv.org/abs/2006.10214> (Submitted on 18 Jun 2020)