

# **BRAZOS ROBÓTICOS PARA EL APRENDIZAJE DE LA LENGUA DE SEÑAS COLOMBIANA**

Nicol Vanessa Pachón Gómez  
Yeison Andres Velásquez Malagón

Trabajo de Grado Para Obtener El Título De  
Licenciados en Electrónica

Asesora  
Nubia Nathaly Sánchez Galvis

Universidad Pedagógica Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Licenciatura en Electrónica  
Bogotá  
2025

### Agradecimientos.

Este trabajo no habría sido posible sin el acompañamiento y apoyo de quienes caminaron con nosotros durante este proceso.

En primer lugar, agradecemos al Semillero de Investigación Estudios y Desarrollos en Ciencia, Tecnología e Innovación, donde esta idea germinó por primera vez. Allí no solo surgieron las preguntas iniciales, sino también el respaldo necesario para convertirlas en una propuesta sólida. Valoramos profundamente el acompañamiento técnico y humano, la disposición constante para orientar nuestro proceso, y la convicción con la que nos impulsaron a seguir adelante.

Agradecemos también los escenarios de socialización y difusión brindados por el semillero y la Universidad Pedagógica Nacional, que nos permitieron compartir el proyecto con otros docentes, estudiantes e investigadores. Estos espacios ampliaron la mirada que teníamos sobre nuestra propuesta, y nos permitieron fortalecerla con nuevas voces, experiencias y reflexiones.

Extendemos un profundo agradecimiento al proyecto Manos y Pensamiento por abrirnos las puertas y compartirnos su experiencia, conocimientos y disposición, elementos fundamentales para enriquecer esta propuesta.

A la empresa E-Training SAS, gracias por confiar en este proyecto y aportar desde lo técnico y lo humano. Su colaboración con el uso de sus instalaciones, la impresión de las piezas del prototipo y el apoyo en materiales fue fundamental para darle forma física a lo que antes solo era un modelo en pantalla. Ese gesto de respaldo y corresponsabilidad marcó una diferencia enorme.

A nuestras familias, gracias por creer, por sostenernos en los días difíciles y por celebrar cada pequeño logro como una gran victoria.

Y a nuestras y nuestros profes, gracias por sus preguntas, sus silencios, sus observaciones y su acompañamiento genuino. Todo lo que aquí se presenta lleva también algo de cada uno y cada una de ustedes.

## Tabla de contenido

I. INTRODUCCIÓN.....	6
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	8
III. JUSTIFICACIÓN.....	9
IV. OBJETIVOS .....	12
Objetivo General.....	12
Objetivos específicos.....	12
V. ANTECEDENTES .....	13
VI. MARCO TEÓRICO.....	18
Lengua de señas colombiana (LSC): .....	18
Robótica Social: .....	20
VII. MARCO CONCEPTUAL.....	22
Discapacidad Auditiva en Colombia.....	22
Machine Learning .....	23
Python .....	23
LandMarkss.....	24
Impresión 3D .....	24
UltiMaker Cura.....	25
MatterControl.....	25
VIII. METODOLOGÍA .....	26
Etapa 1. Investigación.....	27
1.1. Programación: .....	28
1.2. Identificación de señas:.....	28
1.3. Modelo 3D de los brazos: .....	31
Etapa 2. Diseño y Construcción.....	31
2.1. Brazos robóticos: .....	32
2.2. Software: .....	41
Etapa 3. Implementación: .....	58
IX. CONCLUSIONES .....	66
X. SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES .....	68
XI. REFERENCIAS .....	73

## Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Puntos de referencia Landmarks Fuente: GeeksforGeeks .....	24
Ilustración 2. Primer encuentro con la Dirección de manos y pensamiento.....	29
Ilustración 3. Pieza de la palma en MatterControl .....	33
Ilustración 4. Piezas del dedo índice en MatteControl .....	33
Ilustración 5. Palma con una densidad del 40% en ULTIMAKER CURA.....	34
Ilustración 6. Impresión de las articulaciones de los dedos anular y meñique .....	35
Ilustración 7. Impresión de la palma .....	35
Ilustración 8. Impresión de las piezas de los dedos.....	35
Ilustración 9. Impresión de la capa de arriba de la mano .....	35
Ilustración 10. Impresión del soporte y engranajes de la muñeca .....	36
Ilustración 11. Dedo pulgar lijado y ensamblado.....	36
Ilustración 12. Piezas de los dedos corazón y anular unidos por los rayos .....	37
Ilustración 13. Dedo índice ensamblado y con articulación lista .....	37
Ilustración 14. Mano ensamblada.....	38
Ilustración 15. Mano ensamblada con antebrazo y muñeca .....	38
Ilustración 16. Ilustración del modelado del antebrazo con los servomotores .....	39
Ilustración 17. Antebrazo con los servomotores .....	39
Ilustración 18. Circuito de control se servos por PWM Fuente: naylampmechatronics.....	40
Ilustración 19. Mano ensamblada y pintada .....	40
Ilustración 20. Brazo ensamblado y pintado .....	40
Ilustración 21. Brazos Terminados.....	41
Ilustración 22. Menú del programa de captura y almacenamiento de Landmarks .....	42
Ilustración 23. Archivo json – Señal dinámica de 1 mano .....	42
Ilustración 24. Archivo json – Señal estática de 1 mano .....	43
Ilustración 25. Programa de captura y almacenamiento - Primer variante de señal guardada .....	43
Ilustración 26. Programa de captura y almacenamiento - Nueva variante guardada .....	44
Ilustración 27. Esquema – Carpetas de la base de datos .....	45
Ilustración 28. Reconocimiento en tiempo real (1) .....	45
Ilustración 29. Reconocimiento en tiempo real (6) .....	46
Ilustración 30. Reconocimiento en tiempo real (Multiplicación).....	46
Ilustración 31. Reconocimiento los landmarks .....	48
Ilustración 32. Reconocimiento de mano izquierda y derecha .....	48

Ilustración 33. Reconocimiento de mano izquierda y derecha.....	49
Ilustración 34. Reconocimiento de mano izquierda y derecha.....	49
Ilustración 35. Reconocimiento en tiempo real (1) .....	51
Ilustración 36. Reconocimiento en tiempo real (3) .....	51
Ilustración 37. Reconocimiento en tiempo real (4) .....	51
Ilustración 38. Captura y almacenamiento de señas – Seña del vocabulario Matemático .....	53
Ilustración 39. Interfaz con señas de los números .....	53
Ilustración 40. Seña del número 3 seleccionada.....	54
Ilustración 41. Seña del número 3 reconocida.....	54
Ilustración 42. Interfaz con categorías.....	55
Ilustración 43. Categoría de números de la interfaz .....	55
Ilustración 44. Categoría de vocabulario matemático de la interfaz .....	56
Ilustración 45. Interfaz con los brazos listos y seña de "Multiplicación" seleccionada .....	57
Ilustración 46. Interfaz sin los brazos listos y seña de "Multiplicación" seleccionada .....	57
Ilustración 47. Interfaz en Python conectada a Arduino – Prueba de brazos .....	58
Ilustración 48. Promoción de las licenciaturas de la facultad de ciencia y tecnología.....	61
Ilustración 49. Piezas modificadas para la movilidad de la muñeca .....	68
Ilustración 50. Dedo índice con una densidad del 20% en ULTIMAKER CURA .....	69
Ilustración 51. Dedo índice con una densidad del 80% en ULTIMAKER CURA .....	70
Ilustración 52. Palma con una densidad del 40% en ULTIMAKER CURA.....	71

# I. INTRODUCCIÓN

La Lengua de Señas constituye un pilar fundamental como principal medio de comunicación para las personas en situación de discapacidad auditiva, ya que les permite interactuar y participar activamente en su entorno social, educativo y laboral, disminuyendo las barreras actitudinales y comunicativas. Sin embargo, en Colombia aún persisten desafíos significativos en torno al aprendizaje, uso y difusión de la Lengua de Señas Colombiana (LSC), especialmente en contextos académicos donde se requiere incorporar vocabulario específico para garantizar una educación inclusiva.

Frente a este panorama, la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia ha contado con el respaldo de iniciativas internas como el proyecto “Manos y Pensamiento”, el cual trabaja directamente con estudiantes Sordos y ofrece servicios de interpretación de la LSC dentro de la comunidad universitaria. Este acompañamiento ha resultado fundamental para orientar y validar la presente propuesta, pues permitió acceder a recursos, vocabulario especializado y espacios de diálogo con intérpretes y usuarios de la lengua, fortaleciendo así la pertinencia y viabilidad del desarrollo de los brazos robóticos.

En este sentido, surge esta investigación como una apuesta por integrar la robótica social con el aprendizaje de la Lengua de Señas Colombiana. El desarrollo de brazos robóticos de tamaño real, controlados a través de una interfaz gráfica, se plantea como una solución tecnológica que articula componentes mecánicos, electrónicos y de software para simular movimientos manuales propios de la LSC. Esta propuesta no solo busca reproducir signos estáticos, sino también explorar la viabilidad de representar señas dinámicas, aportando así, una experiencia de aprendizaje más interactiva y significativa.

Dicho esto, la intencionalidad de esta investigación se centra en contribuir a la reducción de barreras comunicativas en entornos académicos, como la Facultad de Ciencia y Tecnología de la

Universidad Pedagógica de Colombia, fomentando espacios inclusivos donde estudiantes Sordos y oyentes puedan interactuar y aprender en igualdad de condiciones. A través de la investigación, diseño, construcción e implementación de los brazos robóticos, se espera que este prototipo se convierta en una herramienta didáctica complementaria que refuerce el aprendizaje de la LSC, especialmente en áreas como las matemáticas, y motive a futuras investigaciones que articulen tecnología, educación y accesibilidad para fortalecer la inclusión social y educativa.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La lengua de señas es fundamental como medio de comunicación para las personas en situación de discapacidad auditiva, permitiéndoles interactuar reduciendo barreras de interacción en su entorno social y educativo. No obstante, el uso limitado y reconocimiento de esta lengua constituye un desafío significativo para la inclusión social y educativa de las personas Sordas en Colombia. Esta barrera no solo impacta a las personas Sordas, sino también a sus familiares y a quienes desean comunicarse con esta comunidad.

La Universidad Pedagógica Nacional de Colombia ha realizado diversos esfuerzos que buscan abordar las necesidades de comunicación de las personas Sordas en sus interiores, como lo es el *Grupo De Investigación Manos Y Pensamiento: Inclusión De Estudiantes Sordos A La Vida Universitaria*, quienes, como proyecto buscan contribuir al fortalecimiento de los procesos educativos de la comunidad sorda. Aun así, coexiste la necesidad de desarrollar nuevas estrategias que faciliten el aprendizaje y la difusión de la Lengua de Señas Colombiana en diversos contextos académicos y sociales. Tomando esto en consideración, la intencionalidad fundamental de este producto de investigación es desarrollar una estrategia tecnológica educativa innovadora. Esta estrategia se basa en la creación de brazos robóticos de tamaño real que facilitan el aprendizaje de la LSC mediante la repetición y la imitación, tomando como referencia los conceptos implementados por el proyecto “Manos y Pensamiento” en el área de Matemáticas.

En este contexto, se plantea el siguiente problema de investigación: ¿Como desarrollar una estrategia tecnológica en el área de matemáticas para estudiantes Sordos de la Facultad en Ciencia y Tecnología?

### III. JUSTIFICACIÓN

La Lengua de Señas es un sistema de comunicación gestual que utilizan principalmente las personas en situación discapacidad auditiva para interactuar con su entorno, este método implica principalmente el uso de ambas manos. Sin embargo, muchas personas no conocen esta lengua o tienen dificultades para aprenderlo, lo que limita las posibilidades de inclusión social y educativa de las personas Sordas. Esta situación no afecta solo a las personas Sordas, sino que también a sus allegados y demás personas con las que puedan tener una interacción. Es por esto que, se hace necesario buscar alternativas que garanticen una buena comunicación con dichas personas, y así, fomentar la inclusión y la diversidad apoyando directa e indirectamente a personas pertenecientes a una comunidad lingüística minoritaria. En este sentido, es importante que en la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia se fomente la inclusión a estudiantes Sordos atendiendo a sus necesidades de comunicación, para reducir barreras de la educación inclusiva y accesible para todos.

En la universidad se han desarrollado proyectos que trabajan con jóvenes pertenecientes a una comunidad lingüística minoritaria, que requiere de visibilidad en todos los ámbitos de la vida, por ello, es importante explorar nuevas estrategias que permitan a cada estudiante, sin importar la carrera en la que se esté formando, comprender las temáticas de sus clases de igual manera que los demás estudiantes oyentes o hispanohablantes. Dicho esto, es importante identificar las formas de comunicación en esta comunidad.

*Sus maneras de comunicarse son variadas, algunas lo hacen en lengua de señas colombiana, otros tienen hipoacusia y se comunican en lengua de señas y/o en forma oral; hay otros que cuentan con ayudas tecnológicas para la comunicación hablada; también hay personas ensordecidas que se comunican de forma oral, escrita y/o en lengua de señas. (Comisión de Regulación de Comunicación, 2022)*

Dado que la lengua de señas constituye la principal vía de comunicación en esta comunidad, se busca fomentar el aprendizaje de este idioma mediante la inclusión, abordando distintas jergas

específicas del ámbito académico, centrándose particularmente en un área de las ciencias básicas, como las matemáticas.

El Informe Mundial sobre la Discapacidad, de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Banco Mundial (2011) resalta la importancia de eliminar las barreras físicas, de comunicación y actitudinales en la educación para asegurar la plena inclusión de personas en situación de discapacidad. En el caso de las personas Sordas, esto incluye la adaptación de los contenidos educativos y la implementación de tecnologías de apoyo que permitan su participación equitativa. El uso de herramientas tecnológicas, como los brazos robóticos que imitan la LSC, ofrece una solución innovadora para superar las barreras de comunicación en el aula, promoviendo un aprendizaje más dinámico y accesible para estudiantes sordos y oyentes.

En contraste con el uso exclusivo de imágenes en libros o videos, la implementación de brazos robóticos ofrece una interacción más concreta y significativa con LSC. Los estudiantes tienen la oportunidad de observar en tiempo real cómo se ejecutan las señas desde diversas perspectivas, lo que facilita una mejor comprensión de los movimientos y la espacialidad, elementos esenciales en la comunicación en LSC. Además, el manejo de estos dispositivos promueve un aprendizaje activo y práctico.

En este contexto, la robótica social cobra relevancia al reflexionar sobre cómo la tecnología puede facilitar la comunicación y la accesibilidad. Si bien el desarrollo tecnológico de investigación no involucra inteligencia artificial avanzada ni reconocimiento de lenguaje verbal o gestual, sí sienta las bases para comprender la relación entre humanos y dispositivos mecánicos que pueden contribuir a la expresión y la interacción.

En particular, en el aprendizaje de la LSC, la incorporación de dispositivos mecánicos como manos robóticas puede convertirse en una herramienta didáctica valiosa. La posibilidad de simular ciertos signos o vocabulario de la LSC con precisión mecánica permite desarrollar recursos

interactivos que complementen la enseñanza y el aprendizaje de esta lengua. Más allá del ámbito educativo, la robótica social también plantea oportunidades en la rehabilitación y en el diseño de tecnologías inclusivas que favorezcan la accesibilidad de personas en situación de discapacidad.

Además, la integración de esta tecnología también fomenta un ambiente de aprendizaje inclusivo, donde la experimentación y el trabajo colaborativo enriquecen el entendimiento y la apropiación de la lengua de señas de una manera más dinámica y efectiva.

Al promover la interacción entre personas Sordas y oyentes, estas tecnologías contribuyen a la creación de entornos educativos más equitativos e inclusivos, como lo proponen Booth y Ainscow (2002), quienes afirman que la inclusión implica la transformación de la cultura, las políticas y las prácticas educativas para atender a la diversidad. Este proceso no solo beneficia a las personas en situación de discapacidades, sino que también fomenta una mayor comprensión y valoración de la diversidad en la comunidad educativa.

Desde una perspectiva más amplia, este producto de investigación no solo fortalece la enseñanza en robótica y mecánica, sino que también invita a reflexionar sobre el impacto social de la tecnología. La construcción de dispositivos capaces de imitar movimientos humanos, abre la puerta a nuevas aplicaciones en inclusión, accesibilidad e interacción hombre-máquina, principios fundamentales dentro del campo de la robótica social

## **IV. OBJETIVOS**

### ***Objetivo General***

Desarrollar dos brazos robóticos con interfaz gráfica para la comprensión y uso de la Lengua de Señas Colombiana, fomentando la inclusión en la Facultad de Ciencia y Tecnología.

### ***Objetivos específicos.***

1. Facilitar la comunicación entre personas Sordas, con hipoacusia, o sordera profunda, y las personas oyentes o hispano hablantes.
2. Promover el uso de herramientas tecnológicas en la educación inclusiva.

## V. ANTECEDENTES

Como primera medida, se realizó una profunda investigación de antecedentes a nivel nacional e internacional con el propósito de determinar el punto de partida del presente proyecto en términos de diseño y construcción del mismo, así como permitir identificar y comprender las implicaciones de la sordera en la sociedad y el impacto que genera el uso de la tecnología en la inclusión de las comunidades menos favorecidas.

Se identificaron varios proyectos con notables similitudes respecto a este desarrollo, los cuales permiten complementar aspectos en el proceso de diseño, teniendo en cuenta diferentes factores que facilitan el desarrollo del producto. Los más recientes, o actuales, se elaboraron en países como España, México, Ecuador, Colombia, entre otros.

Se analizaron diversos antecedentes, incluyendo documentos a nivel nacional e internacional, trabajos de distintas instituciones y estudios previos. Estos han sido clave no solo para el diseño y construcción del prototipo, sino también para una comprensión más profunda de las implicaciones de la sordera en la sociedad.

A partir de esto, se lograron identificar algunos proyectos similares a este, los cuales nos permiten definir el proceso de diseño y tomar en cuenta diferentes factores que nos faciliten el desarrollo del producto. Los más recientes, o actuales, se elaboraron en países como España, México, Ecuador, Colombia, entre otros.

En la Universidad de Alicante, España, se publicaron dos trabajos que marcan una buena relación para el desarrollo de este proyecto, uno de ellos titulado “*Interfaz hombre-máquina mediante estimación de pose*” (2022), presentado por Adrián Sanchis Reig, expone una innovadora interfaz para la teleoperación de robots manipuladores en tiempo real. Esta interfaz se basa en la detección de la

posición de la mano del usuario, utilizando técnicas avanzadas de aprendizaje automático y computación para estimar la pose del brazo y transmitirla al robot. Así, se logra un control remoto sin contacto físico, lo cual es especialmente beneficioso en ambientes peligrosos o de difícil acceso. El autor hace uso de herramientas como MediaPipe para la estimación de pose, Python para la programación y ROS Noetic junto con Gazebo para la simulación y control del robot. El documento subraya la importancia de la precisión en la estimación de la posición de la mano y la necesidad de una calibración precisa de las cámaras para mejorar la confiabilidad del sistema, aspectos que deben ser considerados en este desarrollo.

Andrés Torres López, con su trabajo titulado *“Intérprete artificial de lengua de signos”* (2023), presenta un innovador modelo de Inteligencia Artificial. Este modelo, fundamentado en Redes Neuronales Convolucionales (CNN), se enfoca en el reconocimiento de las letras estáticas del alfabeto de la Lengua de Signos Americana (LSA). Con un notable índice de precisión del 94%, el modelo fue perfeccionado mediante técnicas de aumento de datos y evaluado en una interfaz de reconocimiento en tiempo real que emplea una cámara. El estudio destaca cómo la iluminación y el fondo afectan la precisión del reconocimiento, además de los desafíos que supone la adaptabilidad a diversas tonalidades de piel. En sus conclusiones, el autor enfatiza la importancia de la IA en la accesibilidad y en el avance de la comunicación para la comunidad sorda, facilitando el reconocimiento automático de signos.

Francisco Ramos Bratos, de la Universidad de Sevilla, realizó un estudio titulado *“Diseño de una Interfaz Gráfica de Usuario para placa Arduino”* (2020), aborda el desarrollo de una interfaz gráfica de usuario (GUI) destinada a optimizar la interacción con las placas Arduino. Esta GUI ofrece a los usuarios la capacidad de controlar y supervisar las funciones de la placa de manera más intuitiva y eficiente, enriqueciendo así la experiencia en proyectos de electrónica y programación. El estudio subraya la relevancia de las GUI en la simplificación de procesos complejos y en la mejora de la

accesibilidad para usuarios con diversos niveles de experiencia. Este proyecto es relevante para esta investigación, dado que la implementación de una interfaz gráfica eficaz es esencial para el control y la programación de los brazos robóticos. Al examinar las estrategias empleadas en el diseño de la GUI para Arduino, logramos identificar enfoques aplicables al desarrollo de la interfaz, garantizando que sea intuitiva y accesible para los usuarios en el contexto educativo de la Lengua de Señas.

En el Instituto Politécnico Nacional de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Tecnologías avanzadas, los estudiantes Delgado Contreras J. y Herrera Ramos O., presentaron el desarrollo de un proyecto titulado *“Desarrollo De Una Mano Robótica Para La Reproducción Del Alfabeto En Lengua De Señas Mexicana”* (2018). Esta investigación tiene como objetivo principal *“Desarrollar una mano robótica para la reproducción del alfabeto en lengua de señas mexicana.”* Dentro de este documento encontramos la identificación de los diferentes subsistemas que componen el desarrollo del proyecto, estos se dividen en subsistemas; mecánico, electrónico y de control. También podemos encontrar los componentes que optaron por utilizar, así como el material para la construcción de la mano y los movimientos que debía realizar esta misma, diagramas de flujo correspondientes a la programación de la tarjeta maestra y esclava, junto con las características de la Lengua de Señas Mexicana. En esta investigación los autores sugieren *“...utilizar actuadores directamente ensamblados en la articulación a mover, así el tiempo de respuesta depende únicamente de la velocidad del actuador que utilicemos y no de la velocidad con la que un mecanismo transfiere el movimiento del actuador a la articulación.”*

España C. Marlon, de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, presentaron un trabajo titulado *“Diseño y construcción de un traductor de lenguaje de señas, para facilitar la comunicación entre personas mediante una computadora y una mano robótica”* (2020). Su intención u objetivo es *“Desarrollar un prototipo de mano robótica controlada a través de un microcontrolador que permita traducir la lengua de señas para personas con problemas de audición.”* Dentro del

documento se habla de la importancia de la inclusión hacia personas Sordomudas como una necesidad que se encuentra presente en las distintas instituciones públicas y privadas del Ecuador. Dicho esto, el autor presenta como solución un equipo portátil que permite la traducción de texto a lengua de señas por medio de un brazo robótico que permitirá la interacción del personal de atención al cliente con las personas Sordomudas. Dentro de las recomendaciones que hace el autor, encontramos que es importante prestar atención al como ensamblar la mano, de tal manera que los dedos y articulaciones tengan posibilidad de moverse libremente, y así luego evitarse problemas de movilidad y daño en los servomotores.

Como antecedentes institucionales, se destacan dos proyectos de grado presentados en la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia. El primero por los estudiantes J.C. Sánchez Ramírez y J.C. Salazar Guevara. El trabajo lleva por título "*Leap signvr: aplicación basada en realidad virtual para el apoyo de la enseñanza de la lengua de señas colombiana usando leap motion*" (2018). LEAP SIGN VR constituye una aplicación educativa en realidad virtual diseñada con el propósito de respaldar la enseñanza de LSC. A través del uso de Leap Motion, esta aplicación permite a los usuarios interactuar en un entorno virtual, facilitando el aprendizaje de los gestos básicos de dicha lengua. Adicionalmente, proporciona espacios virtuales de formación que facilitan la enseñanza e interpretación de la LSC. Aunque toma inspiración de aplicaciones anteriores que emplean imágenes y videos para enseñar esta lengua, LEAP SIGN VR se distingue al aprovechar la tecnología de realidad virtual para ofrecer una experiencia más inmersiva y efectiva. Este proyecto previo nos provee de estrategias útiles para la construcción de nuestro software, dado que su mecanismo guarda similitud con el que pretendemos desarrollar.

El segundo y más reciente proyecto corresponde a la investigación de E.Y. García Gil, titulada "*Propuesta de aprendizaje de la lengua de señas colombiana (LSC) basada en una aplicación móvil: una experiencia de inclusión educativa*". (2024) En este trabajo, se desarrolla una

aplicación móvil orientada a la enseñanza de la LSC como una estrategia para fomentar la inclusión educativa. La propuesta busca aprovechar las ventajas de la tecnología móvil para facilitar el aprendizaje de la Lengua de Señas, brindando a los usuarios una plataforma interactiva y accesible. A través de actividades didácticas y recursos digitales, esta aplicación permite a los estudiantes mejorar su comprensión y uso de la LSC en distintos contextos. Este proyecto ofrece un valioso referente para la presente investigación, ya que comparte el propósito de emplear herramientas tecnológicas en la enseñanza de la Lengua de Señas, por lo que ha permitido identificar estrategias y enfoques aplicables al desarrollo del software, propio de este proyecto.

## VI. MARCO TEÓRICO

### *Lengua de señas colombiana (LSC):*

La lengua de señas colombiana es reconocida como lengua manual propia para la comunidad en condición de discapacidad auditiva en el país. Así lo establece la ley 324, artículo 2, el cual estipula que *“El Estado Colombiano reconoce la Lengua Manual Colombiana como idioma propio de la Comunidad Sorda del país”*. (Congreso de Colombia, 1996). Ley que fue declarada inexecutable por sentencia de la Corte Constitucional 128 del 2002.

En el Portal de Lenguas de Colombia: Diversidad y contacto (Rozo Melo, S.f.) se explica que, a partir de 1984, la comunidad de personas Sordas en Colombia comenzó a mostrar interés en el estudio, difusión y educación de su lengua, así como en la situación de los individuos Sordos en la sociedad. Con el tiempo, surgió un equipo de investigación dedicado a lo que en un principio se llamó el "Manual De Lenguaje Colombiano", una denominación que enfatiza la importancia de las manos en la comunicación según la perspectiva de la comunidad Sorda. Como resultado de estos primeros enfoques y de los esfuerzos educativos en torno a la lengua, la Federación Nacional de Sordos de Colombia (FENASCOL) produjo materiales didácticos, entre los cuales se destacan las cartillas. En particular, el primer nivel de Curso Básico recibió el nombre de "Lenguaje Manual Colombiano", siendo publicado en 1993. El estudio de la lengua de la comunidad Sorda en Colombia se consolidó con la investigación cualificada y la colaboración con otras entidades e instituciones. Esto se reflejó en el cambio de nombre de la lengua, que pasó a llamarse lengua de señas colombiana en la segunda cartilla de FENASCOL. Finalmente, el INSOR (Instituto Nacional para Sordos) y el Instituto Caro y Cuervo, con el apoyo de FENASCOL, elaboraron el *“Diccionario básico de la lengua de señas colombiana”*.

En el Diccionario Básico de la Lengua de Señas Colombiana (Nacional, (INSOR), & Cuervo, 2006), la LSC se conoce como la lengua natural de la comunidad Sorda del país y parte del patrimonio lingüístico y cultural de Colombia. Esta lengua se caracteriza por el uso de las manos, el cuerpo y la expresión facial para comunicarse. Además de ello, la lengua de señas colombiana tiene su propia estructura gramatical, léxica y semántica, que la diferencia de otras lenguas de señas y del español...

En la página del INSOR educativo (INSOR, S.f.), y en el Diccionario Básico de la Lengua de Señas Colombiana, podemos encontrar el alfabeto, los números y algunos gestos característicos de esta lengua, además de pequeños videos demostrativos de cómo realizar la seña, su definición y un ejemplo.

El acceso a recursos como el alfabeto, los números y algunos gestos básicos de la LSC es crucial para facilitar el aprendizaje, especialmente para las personas Sordas que dependen de esta lengua como su principal medio de comunicación. No obstante, el reto de la inclusión en los entornos educativos va más allá de la disponibilidad de estos materiales. La plena participación de las personas Sordas en la educación requiere la implementación de enfoques y herramientas que permitan su integración efectiva en las aulas, donde las barreras de comunicación puedan ser superadas.

En este sentido, la educación inclusiva busca crear entornos en los que todas las personas, independientemente de sus capacidades auditivas o sensoriales, puedan acceder al aprendizaje en igualdad de condiciones. De acuerdo con la UNESCO (2017), la educación inclusiva es un enfoque que *"busca responder a la diversidad de los estudiantes garantizando que todos puedan aprender y participar de manera efectiva"*. Este enfoque no solo implica adaptaciones curriculares, sino también la creación de estrategias pedagógicas y tecnológicas que permitan la participación de estudiantes con diversas necesidades.

Garantizar que las personas Sordas, que dependen de la lengua de señas como su principal medio de comunicación, tengan las mismas oportunidades de acceso al conocimiento que sus compañeros oyentes es fundamental. La educación inclusiva no solo beneficia a las personas Sordas, sino que también fomenta una mayor comprensión de la diversidad lingüística entre todos los estudiantes. Sin embargo, aprender la LSC puede ser un desafío para personas oyentes o aquellas que no están familiarizadas con este tipo de comunicación.

El acceso a recursos educativos complementarios, como videos y libros, resulta esencial para enfrentar este reto y lograr una educación verdaderamente inclusiva.

En este escenario, las tecnologías juegan un papel crucial. Herramientas como los brazos robóticos, diseñados para imitar algunos de los movimientos de la LSC, se vuelven relevantes. Estas innovaciones no solo permiten un aprendizaje más dinámico y accesible para las personas Sordas, sino que también fomentan la interacción entre personas Sordas y oyentes. Al promover la integración y la igualdad dentro de los entornos educativos, estas tecnologías contribuyen al objetivo de una educación inclusiva, donde la diversidad lingüística y sensorial es vista como una oportunidad para enriquecer el aprendizaje colectivo.

### ***Robótica Social:***

La robótica social es un campo en crecimiento dentro de la ingeniería y la inteligencia artificial que se centra en el desarrollo de robots capaces de interactuar de manera efectiva con los seres humanos. A diferencia de los robots industriales o autónomos, cuyo propósito principal es la automatización de tareas, los robots sociales están diseñados para integrarse en entornos humanos, comprendiendo y respondiendo a estímulos sociales como el lenguaje, los gestos y las emociones (Araujo Salgado & Lascuráin Gutiérrez, 2022).

En referencia a lo que dicen Araujo S. y Lascuráin G. (2022) para que un robot sea considerado social, debe contar con la capacidad de reconocer a las personas y a otros robots,

interactuar de manera natural y comunicarse de forma explícita, facilitando el aprendizaje y la cooperación en un entorno compartido. Esto implica la integración de múltiples tecnologías, como sensores para la percepción del entorno, sistemas de procesamiento de lenguaje natural y algoritmos de inteligencia artificial que le permitan interpretar y generar respuestas adecuadas. Desde el punto de vista del diseño, la robótica social no solo depende de avances en software y hardware, sino también de factores relacionados con la percepción humana. Un robot social debe generar confianza en los usuarios, lo que implica considerar aspectos como la apariencia, el tono de voz, la fluidez en la interacción y la capacidad de adaptarse a diferentes contextos. Además, su estructura debe incluir componentes clave como actuadores, sensores, sistemas de control y fuentes de alimentación que garanticen su correcto funcionamiento en escenarios reales.

En el contexto educativo y de innovación tecnológica, la robótica social representa una herramienta poderosa para fomentar el aprendizaje interdisciplinario. La combinación de mecánica, electrónica, programación e interacción humano-máquina permite que los estudiantes exploren de manera práctica conceptos de inteligencia artificial y automatización, mientras reflexionan sobre el impacto de la robótica en la sociedad.

## VII. MARCO CONCEPTUAL

En este desarrollo, es esencial entender los conceptos clave vinculados a la discapacidad auditiva y la tecnología empleada en el reconocimiento de señas. En esta sección, se ofrecen definiciones y datos significativos sobre la comunidad Sorda, además de los fundamentos técnicos que sustentan el procesamiento de imágenes y la detección de patrones a través de la visión por computadora.

### *Discapacidad Auditiva en Colombia*

El Ministerio de Salud y Protección social (2020) informa que el 2,6% de la población colombiana presenta alguna discapacidad, lo que equivale a 1.3 millones de personas aproximadamente. De estas el 23.6% tienen una discapacidad auditiva, lo que equivale a unas 306.800 personas.

Para comprender que conlleva esta discapacidad, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021) explica que:

*Las personas en condición de esta discapacidad presentan en forma permanente deficiencias en las funciones sensoriales relacionadas con la percepción de los sonidos y la discriminación de su localización, tono, volumen y calidad; como consecuencia, presentan diferentes grados de dificultad en la recepción y producción de mensajes verbales y, por tanto, para la comunicación oral.*

Dicho esto, la discapacidad auditiva implica a las personas Sordas, con hipoacusia, con sordera profunda y Sordomudas. ¿En qué se diferencian estas condiciones?

La sordera hace referencia a la pérdida total o parcial de la audición en uno o ambos oídos, las personas que sufren de sordera no pueden o se les dificulta a gran escala identificar o interpretar sonidos del habla, a menos que sean más fuertes de lo normal. En el caso de la hipoacusia, estas personas tienen dificultades para escuchar y entender los sonidos del habla y otros sonidos cotidianos, especialmente en ambientes ruidosos. La hipoacusia puede ser leve, moderada, severa o profunda,

dependiendo del grado de pérdida auditiva. A su vez, la sordera profunda es un tipo de hipoacusia caracterizada por una pérdida auditiva de más de 90 dB (decibelios) en uno o ambos oídos. En cuanto a las personas Sordomudas, son aquellas que no pueden hablar ni oír. Sin embargo, este término es considerado ofensivo y despectivo por la comunidad Sorda, ya que implica que las personas Sordas no tienen capacidad de comunicación. Lo que nos lleva a que cada persona en situación de discapacidad auditiva tiene sus propias características, necesidades y preferencias.

### ***Machine Learning***

El aprendizaje automático, o Machine Learning, es una rama de la inteligencia artificial que permite a las computadoras aprender de los datos sin programación específica. Los modelos analizan datos, identifican patrones y toman decisiones. Existen varios tipos, los principales son: el aprendizaje supervisado, que utiliza datos etiquetados para tareas como la clasificación de correos, y el aprendizaje no supervisado, que descubre patrones en datos no etiquetados, como en la segmentación de clientes (China, s.f.).

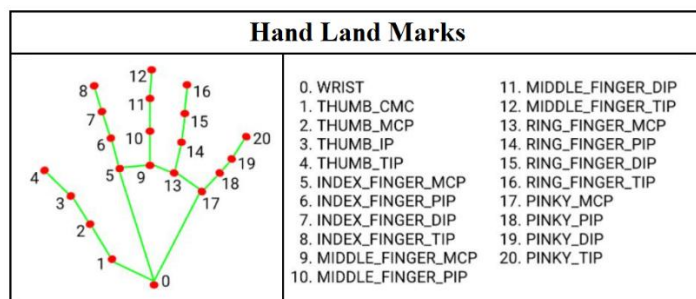
### ***Python***

Python es un lenguaje de programación de alto nivel, conocido por su simplicidad y legibilidad. Es ampliamente utilizado en diversas áreas de la informática, incluyendo el desarrollo web, análisis de datos, inteligencia artificial y visión por computadora. Su sintaxis clara y sus extensas bibliotecas lo convierten en una herramienta popular para el desarrollo rápido de prototipos y la implementación de soluciones complejas (AWS, s.f.).

En el contexto de este proyecto, Python se utiliza para implementar el código que captura y procesa el video en tiempo real, así como para realizar la detección de patrones y la comparación de señas.

## LandMarkss

En el ámbito de la visión por computadora y el reconocimiento de patrones, los LandMarkss (puntos de referencia) son puntos específicos en una imagen o un conjunto de datos que se utilizan para identificar y analizar características importantes. En el reconocimiento de gestos y poses, los LandMarkss son puntos clave en el cuerpo o en las manos que permiten describir la configuración y el movimiento de las extremidades. (Detección de puntos de referencia, 2024)



*Ilustración 1. Puntos de referencia Landmarks*  
Fuente: GeeksforGeeks

En el contexto de este proyecto, los LandMarkss se refieren a puntos específicos en las manos y en el cuerpo, que son detectados por herramientas como MediaPipe. Estos puntos se utilizan para determinar la posición y la forma de las manos y del cuerpo en una imagen o video. El análisis de estos LandMarkss permite identificar y comparar diferentes señas, tanto estáticas como dinámicas, mediante la comparación de las posiciones de los puntos clave detectados en tiempo real con los modelos almacenados en los archivos de la base de datos.

## Impresión 3D

La impresión 3D es un proceso de fabricación aditiva que crea objetos tridimensionales mediante la superposición de capas de material. Utilizando un diseño digital como guía, la impresora 3D deposita material capa por capa, fusionándolo o solidificándolo para formar la pieza final. Este proceso ofrece ventajas en términos de personalización y reducción de desperdicios. Los

materiales más comunes utilizados son plásticos y aleaciones de metal, aunque también se pueden utilizar otros materiales como hormigón (Dassault Systèmes, 2002).

### ***UltiMaker Cura***

UltiMaker Cura es una herramienta gratuita y accesible para la impresión 3D, diseñada para funcionar no solo con las impresoras de Ultimaker, sino también con una variedad de dispositivos de terceros. Ofrece a los usuarios la capacidad de preparar sus modelos para impresión de manera sencilla, con solo unos pocos clics, o de afinar su estrategia de impresión mediante una amplia gama de configuraciones personalizables. Además, su compatibilidad con diversos formatos de archivos 3D facilita la integración con programas de CAD, escaneo 3D y modelado, ampliando así sus posibilidades de uso. (UltiMaker, 2011)

### ***MatterControl***

MatterControl es una herramienta de software libre y de código abierto que simplifica el proceso de diseño, preparación y gestión de impresiones 3D. Desarrollado por MatterHackers, este software ofrece la posibilidad de personalizar y controlar cada diseño, incorporando capacidades avanzadas para la preparación de impresiones y la creación de plantillas en aplicaciones de diseño. (MatterHackers Inc., s.f.)

## VIII. METODOLOGÍA

Al examinar los antecedentes y compararlos con los objetivos establecidos para este proyecto de investigación, se decidió adoptar una metodología que facilite la ejecución centralizada de todos los procesos y actividades necesarias para este proyecto.

En este contexto resulta imprescindible adoptar el uso de la metodología basada en la Guía del PMBOK® (Project Management Body of Knowledge), desarrollada por el Project Management Institute (PMI). Esta guía establece los fundamentos esenciales para la gestión y ejecución de proyectos a través de la difusión de estándares globales relacionados con la dirección de proyectos (PMBOK) (INARQ, 2024).

Características de la metodología del PMI:

1. Enfoque estructurado: Proporciona un marco claro para la planificación, ejecución y control de proyectos, lo que ayuda a asegurar que se cumplan los objetivos establecidos.
2. Gestión de procesos: Se centra en la gestión de todos los procesos y actividades que son necesarios para completar el proyecto de manera efectiva.
3. Fases del proyecto: Divide el proyecto en varias fases (iniciación, planificación, ejecución, monitoreo y control, y cierre), lo que facilita la organización y seguimiento del progreso.
4. Herramientas y técnicas: Ofrece herramientas y técnicas específicas para la gestión de riesgos, costos, tiempo y calidad, lo que es esencial para el éxito del proyecto.
5. Adaptabilidad: Aunque tiene un marco estructurado, la metodología PMI puede adaptarse a diferentes tipos de proyectos y contextos, lo que la hace versátil.

En el caso particular de este proyecto, la adopción de la metodología del PMI se muestra especialmente beneficiosa para la planificación, ejecución y control de este. Al adherirse a los principios y estándares promulgados por el PMI, se garantiza que el proyecto se desarrollará de manera efectiva y eficiente.

El enfoque del PMI se basa en cinco grupos de procesos:

1. Inicio: Definir y autorizar el proyecto.
2. Planificación: Establecer los objetivos, alcance, cronograma, costos y recursos necesarios.
3. Ejecución: Llevar a cabo el plan y coordinar los recursos.
4. Monitoreo y Control: Supervisar el desempeño y realizar ajustes para cumplir con los objetivos.
5. Cierre: Finalizar el proyecto y documentar lecciones aprendidas.

Los dos primeros grupos se consolidaron en la propuesta de anteproyecto, por lo que el siguiente paso fue iniciar la ejecución del plan de trabajo, asegurando el monitoreo y control de cada avance.

Con esto en mente, se dividió la ejecución del prototipo en tres etapas clave: investigación, diseño y construcción, e implementación.

### ***Etapas 1. Investigación***

La fase de investigación complementó un papel crucial como punto de partida del proyecto. Este proceso se estructuró en tres subetapas o contextos diferenciados: la elección del lenguaje de programación para el procesamiento de imágenes y video, la selección de las señas a implementar en el prototipo, y la construcción del modelo 3D de los brazos.

### *1.1. Programación:*

Se llevó a cabo una búsqueda de recursos de programación en Python, en la que se concluyó que el método más efectivo para llevar a cabo este tipo de procesamiento es mediante el uso de 'LandMarkss' en combinación con Machine Learning. Esta tecnología permite entrenar el software para reconocer con mayor precisión los movimientos del usuario a partir de la captura de imágenes, optimizando así la interpretación de señas, lo cual es viable utilizando la cámara del ordenador.

Esto incluyó el uso de bibliotecas como OpenCV y Mediapipe, esenciales para el reconocimiento de gestos del usuario. MediaPipe se encarga de la detección y seguimiento de los LandMarkss tanto de las manos como del cuerpo, mientras que OpenCV es responsable de la captura y procesamiento del video en tiempo real. Con la integración de estas herramientas, es factible extraer y almacenar los LandMarkss en archivos JSON o PKL, lo que permite crear una base de datos de señas que puede ser utilizada para comparaciones futuras. De esta manera, el sistema puede reconocer de manera precisa las señas realizadas por el usuario, contrastándolas con las referencias previamente registradas.

Teniendo esto como punto de partida, la investigación se centró en identificar algoritmos y técnicas que permitieran una implementación eficiente y precisa de estas funcionalidades en el proyecto, validando así la viabilidad de utilizar la cámara del computador, o en su defecto, contemplar la posibilidad de involucrar el uso de un sensor óptico más óptimo.

### *1.2. Identificación de señas:*

Para este propósito, como primera medida, se solicitó una reunión con la dirección del proyecto 'Manos y Pensamiento' de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia para presentar

la investigación. Durante la reunión, se presentó un avance del código en Python, el cual permitía reconocer las manos del usuario mediante los 'LandMarkss'.



*Ilustración 2. Primer encuentro con la Dirección de manos y pensamiento*

Este avance tecnológico, aunque preliminar, demostró la capacidad del sistema para identificar y rastrear los movimientos manuales del usuario con precisión. A raíz de esa presentación y la demostración del código, se contó con el apoyo de la dirección Manos y Pensamiento, teniendo a disposición y/o accesibilidad, valiosos recursos como los libros “*Vocabulario Pedagógico Tomo 1. Lengua de Señas Colombiana*” y “*Vocabulario Pedagógico Tomo 2. Lengua de Señas Colombiana*”, desarrollados por la Federación Nacional de Sordos de Colombia (FENASCOL). Estos libros ofrecen un amplio repertorio de términos en Lengua de Señas Colombiana en diversas áreas del conocimiento, tales como biología, física, matemáticas, entre otras. Se aprovechó esta fuente de conocimiento para seleccionar algunas de las señas relevantes que eran factibles para integrar en el proyecto, muchas de las cuales son conceptos empleados habitualmente dentro de la facultad. Entre ellas se encuentran:

- Denominador.
- Numerador.
- Número decimal.
- Números fraccionarios.
- Conjunto.
- Corchete.
- División.
- Logaritmo
- Multiplicación.
- Resta.

- Suma.
- Circulo.
- Rectángulo.
- Diámetro.
- Angulo.
- Metro.
- Algebra.
- Coseno.
- Cotangente.
- Hipotenusa.
- Funciones.
- Números Complejos
- Pi.
- Seno.
- Tangente.
- Teorema de Pitágoras.

El enfoque central fueron las señas que cuentan únicamente con el componente manual, es decir, aquellas que se expresan a través de configuraciones específicas de las manos sin requerir movimientos gestuales (del rostro) adicionales. Al priorizar las palabras con solo el componente manual, esta lista de señas se convirtió en la base del vocabulario matemático de la LSC para incorporar o entrenar en el software y hardware.

Adicionalmente, contamos con el apoyo de Sonia Margarita Amores Heredia, Licencia en Educación Especial, y actualmente (2025) Coordinadora del servicio de interpretación de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, quien, como intérprete, colaboró en la toma de evidencias fotográficas y videos de la realización de las señas enlistadas.

Para más información, puedes consultar este enlace:

[https://www.canva.com/design/DAGFIq53FZ4/2d\\_Aygg6g1LFgTdmAhs24w/edit?utm\\_content=DAGFIq53FZ4&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link2&utm\\_source=sharebutton](https://www.canva.com/design/DAGFIq53FZ4/2d_Aygg6g1LFgTdmAhs24w/edit?utm_content=DAGFIq53FZ4&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton)

Este video, además de ser grabado como evidencia del vocabulario utilizado en la universidad, también fue implementado dentro de la interfaz del sistema.

### *1.3. Modelo 3D de los brazos:*

Tras un proceso de búsqueda en el que se exploraron diversas opciones de modelos robóticos que eran sencillos y adaptables para implementación del producto final, se encontraron las piezas en 3D de InMoov.

InMoov es un proyecto revolucionario en el campo de la robótica, creado por Gael Langevin, un innovador reconocido por su trabajo en el diseño y fabricación de robots.

*Gael Langevin es un escultor y diseñador francés. [...] InMoov es su proyecto personal que lanzó en enero de 2012 como la primera prótesis impresa en 3D de código abierto, que dará lugar a proyectos como Bionico, E-Nable y muchos otros.*

*InMoov es el primer robot Open Source de tamaño humano impreso íntegramente en 3D. (Langevin, 2012)*

Este proyecto se centra en la creación de prototipos de robots humanos de código abierto, lo que permite que entusiastas, ingenieros y desarrolladores de todo el mundo colaboren y contribuyan al avance de la robótica. Los diseños de InMoov son accesibles y modificables, fomentando un enfoque colaborativo que facilita la experimentación y la mejora continua de las herramientas robóticas.

Estos resultaron ser altamente compatibles con los objetivos del proyecto, ya que no solo facilitan la construcción del modelo robótico, sino que también proporcionan una base sólida para la integración del software necesaria para su funcionamiento.

### ***Etapa 2. Diseño y Construcción***

En esta etapa se consolida el proceso de diseño y construcción tanto del software como de los brazos.

### 2.1. Brazos robóticos:

Gracias al libre acceso a las piezas del proyecto InMoov, el proceso de construcción de los brazos robóticos se agilizó considerablemente. Estos diseños sirvieron como base inicial para el desarrollo del presente proyecto. Antes de imprimir cada pieza, se realizó una validación detallada que permitió identificar cuáles se ajustaban a los requerimientos del proyecto y cuáles debían modificarse.

Sobre estos modelos originales se hicieron una serie de adaptaciones que personalizan el presente desarrollo, respondiendo tanto a los objetivos técnicos como a las condiciones específicas del prototipo. Esto garantizó un ensamblaje más eficiente y un funcionamiento acorde con las necesidades del sistema.

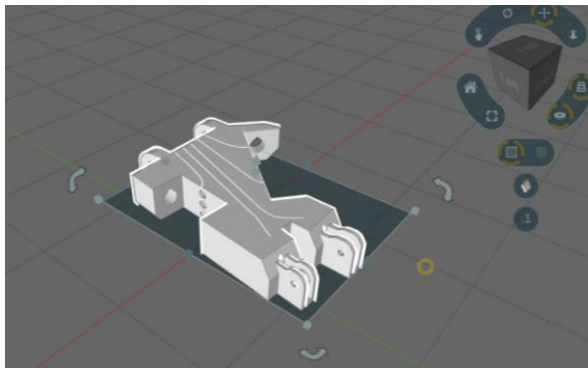
Este proceso implicó el uso de varias piezas que conformaban las partes principales de los mismos. Estas partes son el antebrazo, la palma, que es la base de la mano; la muñeca, que es la articulación que conecta la mano con el antebrazo; y las falanges, que son los segmentos óseos de los dedos. Para ser más exactos, se dispone de un total de 20 piezas por cada brazo, algunas de las cuales se dividen en pequeñas subpiezas. Los nombres de las piezas son:

- Pulgar
- Índice
- Mayor
- Anillo de dedo
- Auricular (Meñique)
- Bolt\_entretoise
- Muñeca grande
- Muñeca pequeña
- Superficie superior
- Dedo de cubierta
- Robcap3
- Roboparte2
- Roboparte3
- Roboparte4
- Roboparte5
- Muñeca rotatoria 2
- Muñeca rotatoria1
- Muñeca rotatoria3

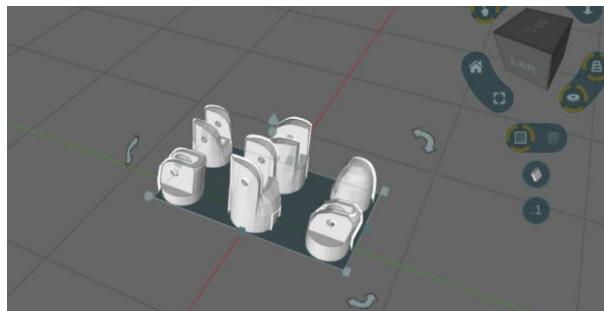
- Engranajes de muñeca
- Soporte para cable muñeca

Al ser de libre acceso cada archivo, se da la oportunidad de realizar modificaciones y adaptaciones según las necesidades específicas, optimizando así tanto la funcionalidad como el rendimiento de los brazos robóticos.

Estas partes se produjeron mediante impresión 3D. Para la visualización y configuración del relleno de las piezas, se hizo uso de los programas MatterControl y UltiMaker Cura. MatterControl fue elegido por ofrecer una visualización más cómoda y facilitar la edición de algunas piezas, permitiéndonos manejar el modelado de manera más intuitiva. Por otro lado, UltiMaker Cura se utilizó para la calibración precisa de la impresión, permitiendo ajustar parámetros críticos como la densidad y el patrón de relleno. Estas herramientas complementarias aseguraron la optimización de la calidad de impresión y la resistencia estructural de las piezas, aspectos cruciales para el éxito del proyecto.



*Ilustración 3. Pieza de la palma en MatterControl*



*Ilustración 4. Piezas del dedo índice en MatteControl*

Durante esta fase, fue necesario reimprimir varias piezas en múltiples ocasiones, ya que algunas presentaban fallas estructurales durante el proceso de ensamblaje o pruebas iniciales. Esto ocurrió por una incorrecta configuración de la densidad del material o del relleno de las piezas. Tras realizar múltiples pruebas, se determinó que la mejor configuración era emplear un relleno triangular con una densidad del 80% para las piezas de los dedos, y un menos de un 40% para las piezas más grandes.



*Ilustración 5. Palma con una densidad del 40% en ULTIMAKER CURA*

Teniendo en cuenta la densidad y relleno de cada pieza, se continuó con el proceso de impresión de todas las piezas.

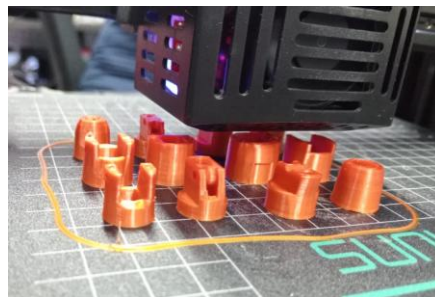
Las siguientes imágenes muestran el proceso de impresión de algunas de las piezas mencionadas anteriormente.



*Ilustración 6. Impresión de las articulaciones de los dedos anular y meñique*



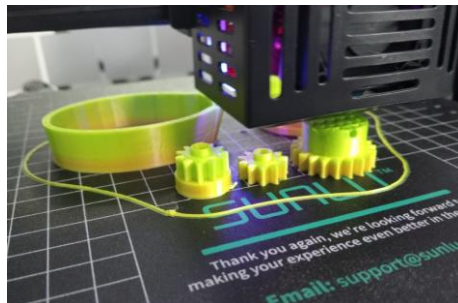
*Ilustración 7. Impresión de la palma*



*Ilustración 8. Impresión de las piezas de los dedos*



*Ilustración 9. Impresión de la capa de arriba de la mano*



*Ilustración 10. Impresión del soporte y engranajes de la muñeca*

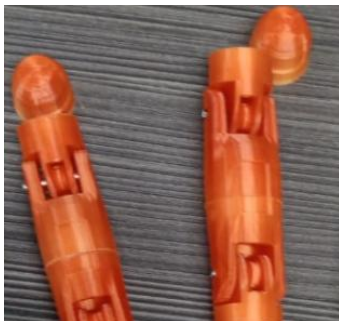
Al culminar con la impresión de las piezas, se puso en marcha el ensamblaje, siempre verificando que todas las partes se integraran correctamente para formar un sistema funcional. Sin embargo, se evidenció que algunas piezas no encajaban perfectamente, por lo que se optó por lijar ciertas partes para garantizar un ajuste adecuado.

Al terminar de lijar, se realizó una simulación del ensamblaje de las piezas sin las varillas de ajuste que proporcionan el movimiento a cada falange de los dedos. Esto permitió verificar que las piezas encajaran correctamente y que no hubiera obstrucciones en el movimiento.



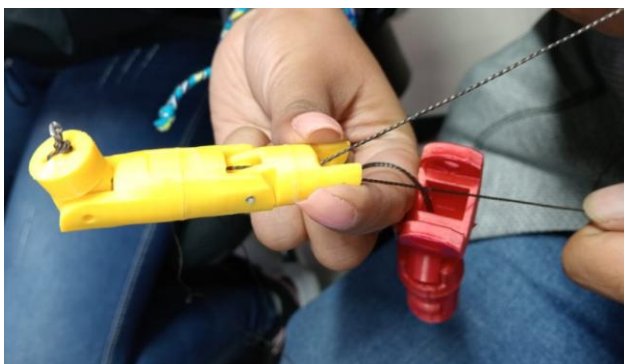
*Ilustración 11. Dedo pulgar lijado y ensamblado.*

Para unir cada falange, en la página de InMoov se aconseja utilizar filamento de 3mm como clavijas o pasadores. Sin embargo, se decidió optar por rayos de bicicleta, puesto que, parecían una opción más segura y resistente.



*Ilustración 12. Piezas de los dedos corazón y anular unidos por los rayos*

Cada dedo tiene en su interior dos canales: uno hacia adelante y otro hacia atrás del dedo. Estos canales corresponden a las guías donde debe ir un hilo trenzado para garantizar una buena resistencia, ya que este hilo es el que asegura el movimiento del dedo. Para este caso, se utilizó cáñamo. En la punta del dedo, se ató un nudo para evitar que el hilo se desplace entre los canales, de modo que quede fijo y el movimiento de abrir y cerrar cada dedo no se vea afectado. Este nudo se esconde bajo la punta de cada dedo, que es una pieza adicional en la estructura. De esta manera, no se afecta la estética de la mano, manteniendo un aspecto limpio y funcional.



*Ilustración 13. Dedo índice ensamblado y con articulación lista*

Este mismo proceso se aplicó a los demás dedos, incluyendo las dos articulaciones de los dedos meñique y anular, así como la del pulgar, que se ajustan a la palma. De esta manera, se asegura una coherencia en el ensamblaje y funcionamiento de toda la mano. En el caso de la muñeca, las tres articulaciones del anular, meñique y pulgar requieren un pasador o clavija de mayor tamaño y grosor. Para cumplir con esta necesidad, se usó un pasador que, además de ser ligero, se ajusta perfectamente al diámetro requerido para las clavijas.

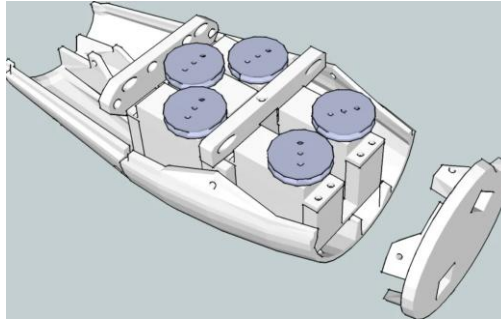


*Ilustración 14. Mano ensamblada*

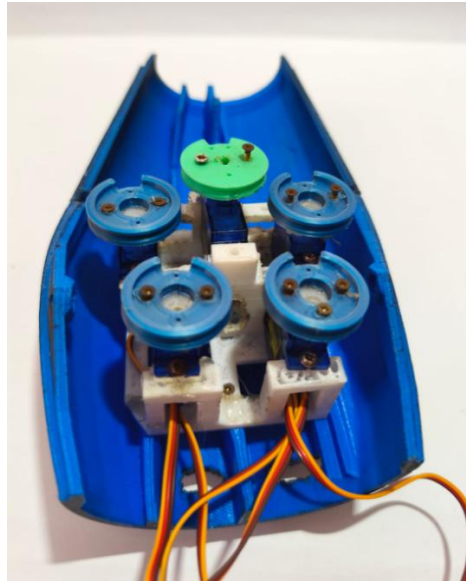
Con la mano completa, el paso a seguir fue ensamblar las piezas de la muñeca y el antebrazo. Posteriormente, se integraron las piezas impresas de los servomotores y así, realizar pruebas de funcionamiento de los dedos. Cabe destacar que tanto las poleas como la caja de los servomotores también fueron impresas en 3D y están disponibles en los archivos de InMoov.



*Ilustración 15. Mano ensamblada con antebrazo y muñeca*



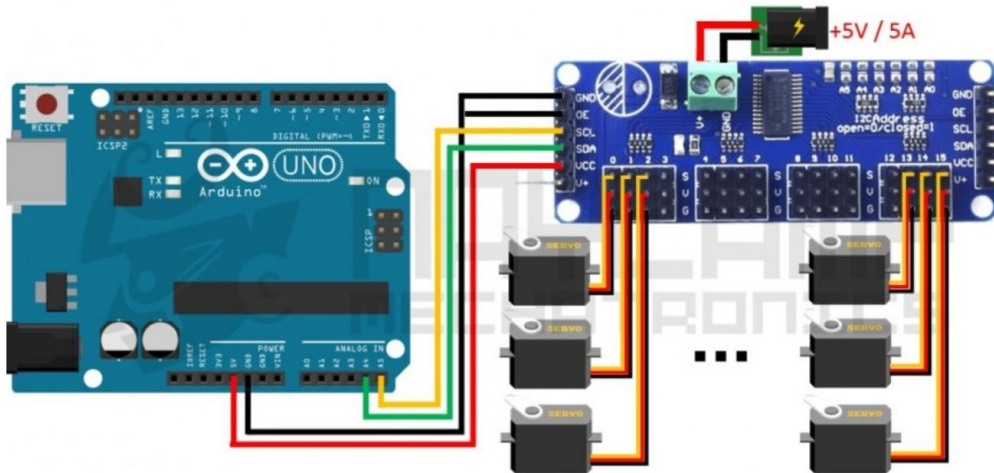
*Ilustración 16. Ilustración del modelado del antebrazo con los servomotores*



*Ilustración 17. Antebrazo con los servomotores*

Para generar el movimiento de las articulaciones, se utilizaron actuadores tipo servomotor en cada dedo. Cada servomotor está acoplado a una polea, en la que se fijan los hilos de cáñamo correspondientes, lo que permite transmitir el movimiento. De esta manera, al girar  $180^\circ$  los servomotores provocan el cierre de la mano, mientras que en posición de  $0^\circ$  esta permanece completamente abierta.

Para el control y las pruebas de funcionamiento se empleó un módulo PCA9685, conectado a un Arduino Uno, lo que permitió gestionar de manera eficiente los múltiples servomotores del prototipo.



*Ilustración 18. Circuito de control se servos por PWM  
Fuente: naylampmechatronics*

Con todas las piezas ensambladas, se pintó completamente cada brazo, de esta forma se mantiene un color uniforme en pro de la estética del producto.



*Ilustración 19. Mano ensamblada y pintada*



*Ilustración 20. Brazo ensamblado y pintado*



*Ilustración 21. Brazos Terminados*

## *2.2. Software:*

El enfoque del diseño del software está en el reconocimiento de señas mediante la comparación entre los archivos de la base de datos y el video en tiempo real donde el usuario ejecuta la seña. Para lograr esto, es esencial programar tanto las entradas como las salidas. En este contexto, la entrada corresponde al sensor óptico (cámara del computador), mientras que la salida se refiere a la retroalimentación proporcionada por la interfaz y los actuadores, específicamente los motores de los brazos.

Para ello, se desarrolló un código de recolección en Python que permite capturar y almacenar los respectivos LandMarks en archivos JSON, brindando la posibilidad de generar variantes de cada seña. Este programa cuenta con un pequeño menú de 3 opciones: 1. Grabar nuevas señas, 2. Reconocer señas en tiempo real y 3. Salir.





```

--- Menú ---
1. Grabar nueva seña
2. Reconocer señas en tiempo real
3. Salir
Selecciona una opción: 1
Nombre de la nueva seña: 4
¿Cuántas manos quieres usar? (1 o 2): 1
¿Es estática o dinámica? (static/dynamic):
static
✔ Seña '4' (variante 34, manos: 1, tipo:
static) guardada en 'Señas\4\4_34.json'.
¿Grabar otra variante? (s/n):

```

Ilustración 26. Programa de captura y almacenamiento - Nueva variante guardada

Esto se logra por medio de la función `os.listdir()` para listar los archivos dentro de la carpeta de la seña, y así identificar cuántas variantes hay guardadas. Luego, nombra automáticamente el nuevo archivo JSON con un número consecutivo.

```

def save_sequence(sequence, gesture_name, hands_used, gesture_type):
    gesture_folder = os.path.join(GESTURE_FOLDER, gesture_name)
    os.makedirs(gesture_folder, exist_ok=True)

    existing_files = [f for f in os.listdir(gesture_folder) if f.endswith('.json')]
    variant = len(existing_files) + 1

    data_to_save = {
        "hands_used": hands_used,
        "type": gesture_type,
        "sequence": sequence
    }

    filename = os.path.join(gesture_folder, f"{gesture_name}_{variant}.json")
    with open(filename, 'w') as f:
        json.dump(data_to_save, f)

    print(f"✔ Seña '{gesture_name}' (variante {variant}, manos: {hands_used}, tipo:
    {gesture_type}) guardada en '{filename}'.")

```

Fragmento del código de guardado de seña (save\_sequence())

De este modo, la base de datos del sistema consiste en una carpeta por seña, que contiene múltiples archivos JSON, que corresponden a las variantes de las señas, lo que permite mejorar la precisión en el reconocimiento y comparación de las señas en tiempo real.

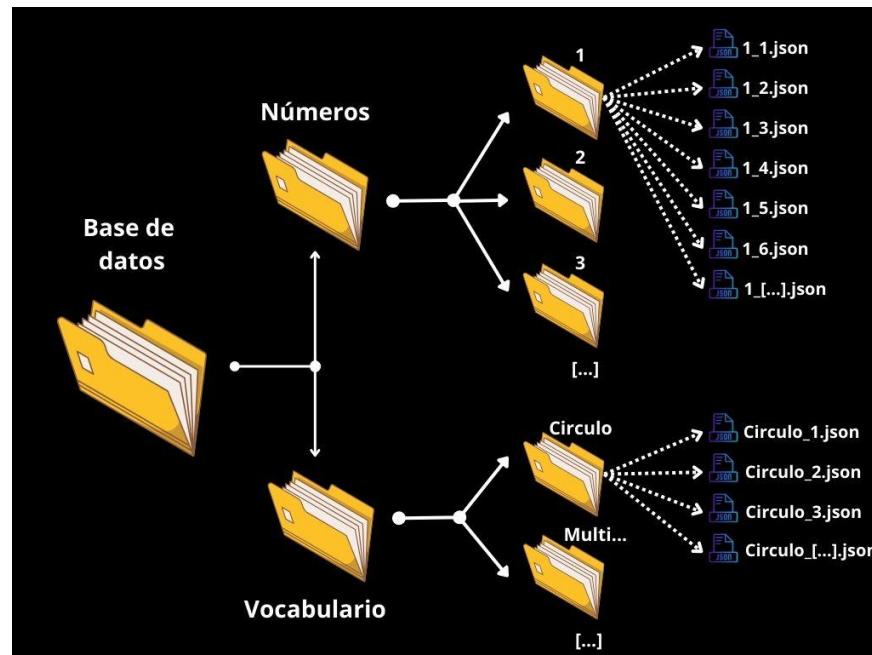


Ilustración 27. Esquema – Carpetas de la base de datos

Al seleccionar la opción dos del menú (Reconocer señas en tiempo real), se activa la cámara reconociendo los landmarks del usuario en tiempo real. Al realizar una de las señas previamente almacenadas, se muestra el nombre de esa seña en la parte superior de la cámara como representación de que la seña fue reconocida, pero si los movimientos del usuario no corresponden o no comparten similitud con ninguna de las señas almacenadas, el sistema no reconoce nada, es decir, no mostrara el nombre de ninguna seña.

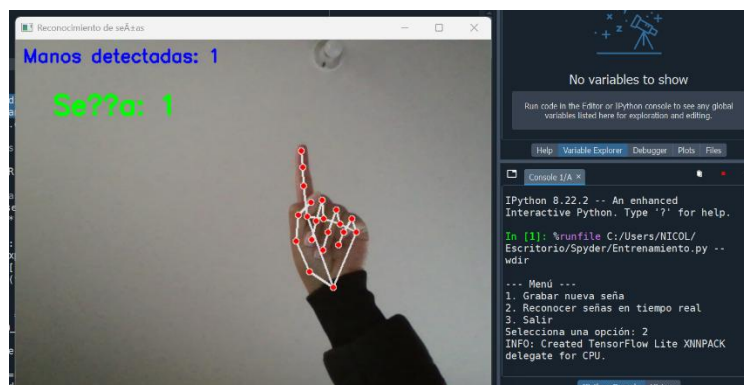


Ilustración 28. Reconocimiento en tiempo real (1)

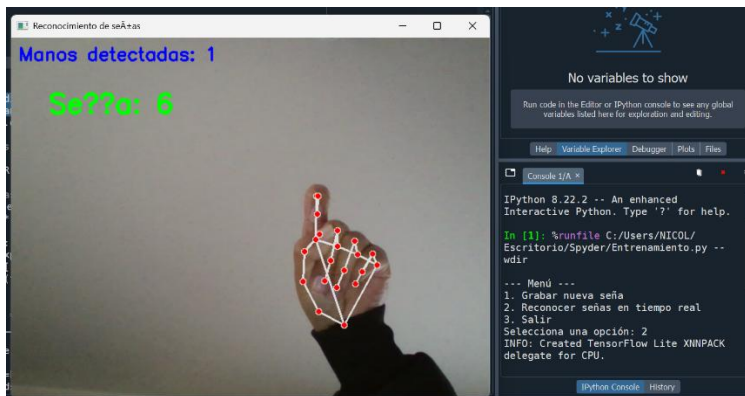


Ilustración 29. Reconocimiento en tiempo real (6)

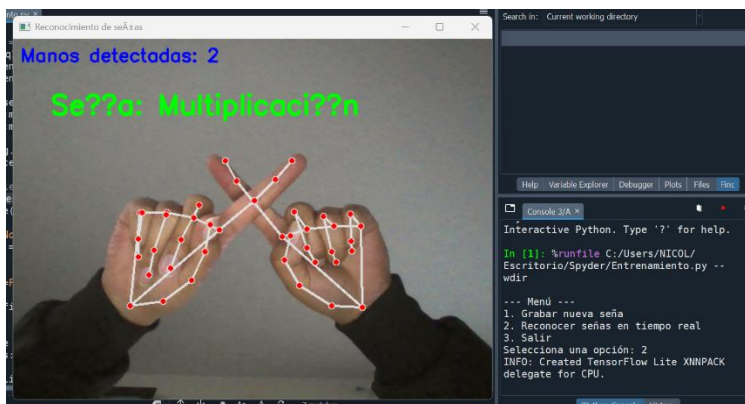


Ilustración 30. Reconocimiento en tiempo real (Multiplicación)

Para comparar lo que el usuario realiza en tiempo real con las señas ya almacenadas, el sistema recurre a la función *compare\_sequences()*, que utiliza numpy para calcular la distancia euclidiana entre los puntos de referencia de cada frame. Esta función recibe como parámetros dos secuencias de landmarks (*seq1* y *seq2*) y la cantidad de manos utilizadas en la seña (*hands\_used*).

Primero, ambas secuencias se normalizan mediante la función *normalize\_sequence()* para garantizar que tengan el mismo número de puntos y estén organizadas de forma coherente, lo cual es fundamental cuando se usan una o dos manos. Posteriormente, se determina la longitud mínima entre ambas secuencias (*min\_length*) para evitar errores al comparar los frames. Luego, se calcula la distancia euclidiana entre cada par de frames equivalentes de las dos secuencias, utilizando la fórmula  $np.linalg.norm(seq1[i] - seq2[i])$ . Finalmente, se obtiene el promedio de estas distancias, y si dicho

valor es inferior a un umbral definido (*threshold*), se considera que la seña ha sido reconocida correctamente.

En la siguiente imagen, se presenta el fragmento del código donde se desarrolla esta función:

```
# === Comparar secuencias ===
def compare_sequences(seq1, seq2, hands_used):
    seq1 = normalize_sequence(seq1, hands_used)
    seq2 = normalize_sequence(seq2, hands_used)

    min_length = min(len(seq1), len(seq2))
    seq1 = np.array(seq1[:min_length])
    seq2 = np.array(seq2[:min_length])

    distances = [np.linalg.norm(seq1[i] - seq2[i]) for i in range(min_length)]
    return np.mean(distances)

# === Reconocimiento en tiempo real ===
def recognize_gestures(gestures, threshold=0.2):
    ...
    ...
```

Fragmento del código de comparación de secuencias (compare\_sequences())

```
def recognize_gestures(gestures, threshold=0.2):
    ...
    ...

    for gesture_name, variants in gestures.items():
        for variant in variants:
            hands_used_variant = variant.get("hands_used", 1)
            gesture_type = variant.get("type", "dynamic")

            if len(current_sequence[-1]) < 21 * hands_used_variant:
                continue

            if gesture_type == "static":
                reference_frame = variant["sequence"][-1]
                current_frame = current_sequence[-1]

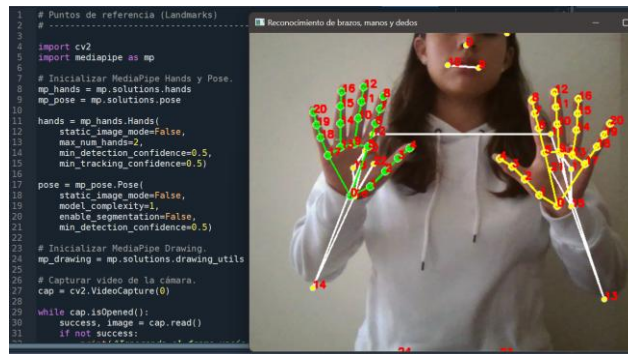
                if len(current_frame) != len(reference_frame):
                    continue # <- Evita el error de shape

                distance = np.linalg.norm(np.array(current_frame) -
                    np.array(reference_frame))
            else:

                distance=compare_sequences(current_sequence,
                    variant["sequence"], hands_used_variant)
```

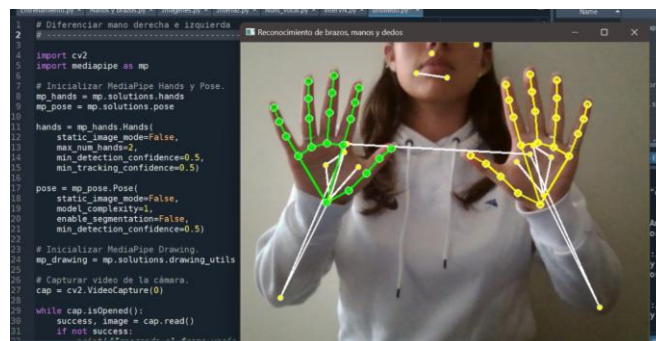
Fragmento del código del reconocimiento en tiempo real (recognize\_gestures ())

Desarrollar un programa óptimo para la captura y almacenamiento de landmarks, así como para validar el reconocimiento de señas, requirió una planificación anticipada. Inicialmente, se creó un código en Python que reconoce las manos y brazos del usuario, mostrando los landmarks correspondientes, con el objetivo de identificar y procesar cada punto de referencia de manera efectiva.

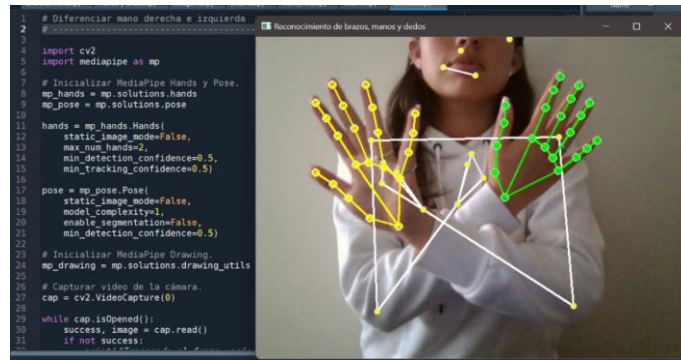


*Ilustración 31. Reconocimiento los landmarks*

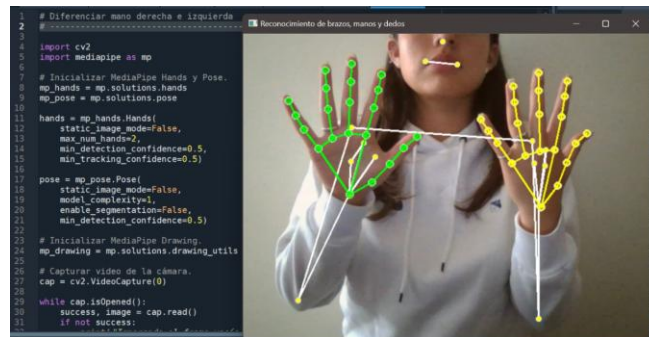
Con el código listo, se ocultó el identificador de cada LandMark (número de cada punto de referencia), asegurándonos de que el programa pueda identificar y diferenciar la mano derecha de la izquierda.



*Ilustración 32. Reconocimiento de mano izquierda y derecha*



*Ilustración 33. Reconocimiento de mano izquierda y derecha*



*Ilustración 34. Reconocimiento de mano izquierda y derecha*

En las imágenes se aprecia que la mano derecha está marcada con el color amarillo, mientras que la izquierda con el verde. Esto permite distinguir entre la derecha y la izquierda. Además, al cruzar las manos o invertir las palmas, se mantiene la identificación de cuál es la derecha y cuál es la izquierda. Es crucial tener esto en cuenta al realizar las señas.

Partiendo de este código, fue imperativo continuar para lograr la captura, detección y almacenamiento de los puntos de referencia. En este contexto, surgió la duda de qué tipo de archivo sería más adecuado para almacenar los LandMarkss. Teniendo dos opciones se optó por utilizar JSON en lugar de PKL debido a su versatilidad y seguridad. JSON es un formato de texto que es fácilmente comprensible para humanos, lo que simplifica la revisión y modificación de los datos. Además, goza de una amplia compatibilidad con diversos lenguajes de programación y sistemas, lo que favorece una mejor interoperabilidad. Aunque PKL puede ofrecer ventajas en términos de velocidad para aplicaciones específicas de Python, JSON es más seguro para el intercambio de datos, ya que no

conlleva los riesgos de seguridad asociados a la deserialización de datos de fuentes no confiables que presenta PKL.

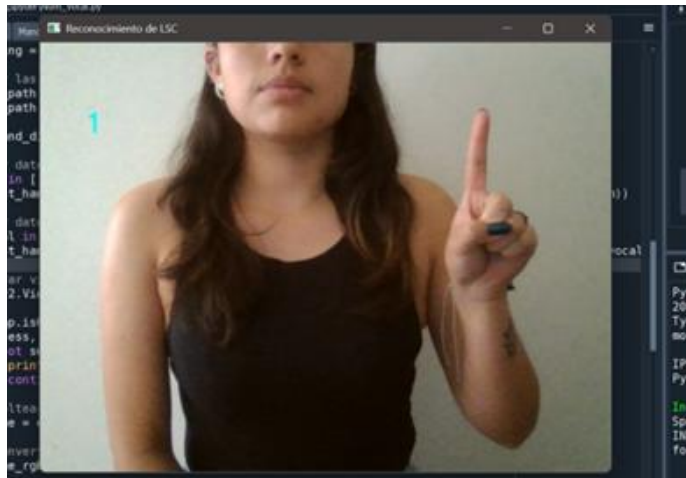
De igual manera, era necesario tener presente que existen señas que no requieren movimiento, es decir, son fijas o estáticas, mientras que otras sí lo requieren. Por ello, se decidió comenzar con el reconocimiento de señas estáticas y, posteriormente, programar el reconocimiento de las señas dinámicas.

Las señas sin movimiento son:

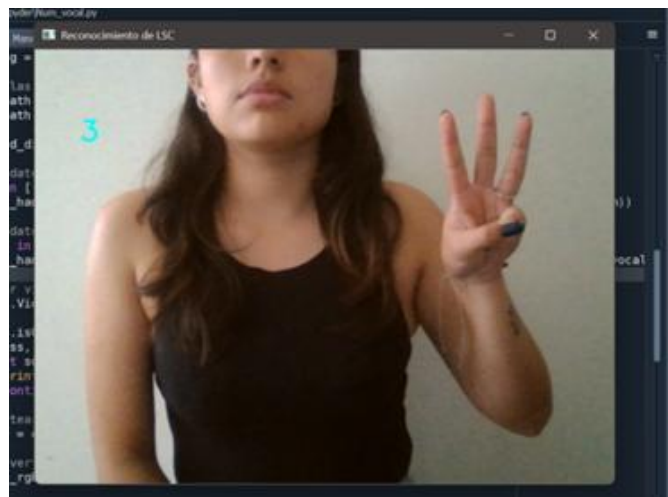
1. Denominador.
2. Numerador.
3. Multiplicación
4. Suma
5. Circulo
6. Coseno
7. Teorema de Pitágoras

Tomada la decisión, se elaboró un código que activa la cámara mostrando los LandMarkss sobre el usuario; después de 7 segundos, el código guarda los puntos de referencia detectados en archivos JSON. Los LandMarkss de las manos se guardan como una secuencia de coordenadas bidimensionales (x, y) en un único archivo JSON.

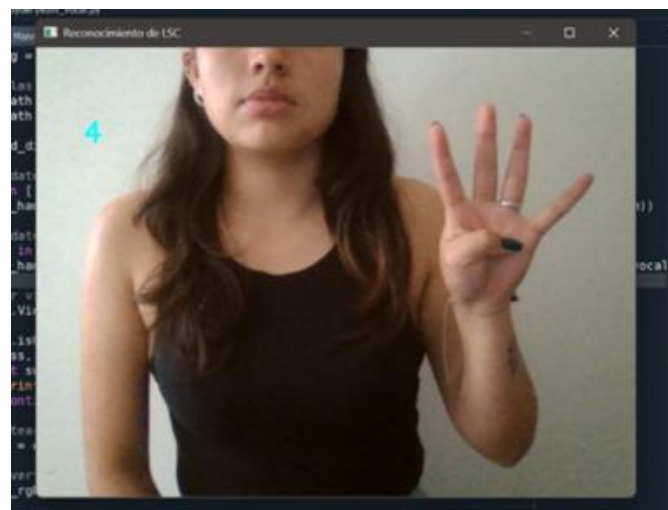
Se opto por iniciar con señas sencillas, como los números del 1 al 5, dado que estas solo requieren del uso de la mano derecha, para luego implementar las señas matemáticas, las cuales requieren de dos manos, pero sin movimiento. Una vez obtenidos los primeros archivos JSON correspondientes a la primera seña, aproximadamente 10 capturas, se desarrolló un segundo código el cual se encarga de comparar los datos almacenados en los archivos JSON con el video en tiempo real del usuario, lo que facilita la identificación precisa de las señas realizadas. Si el usuario hace la seña que corresponde al archivo JSON previamente guardado, en la interfaz se muestra el nombre de la seña realizada.



*Ilustración 35. Reconocimiento en tiempo real (1)*



*Ilustración 36. Reconocimiento en tiempo real (3)*



*Ilustración 37. Reconocimiento en tiempo real (4)*

Al verificar que el código reconoció correctamente las señas, era momento de adecuar el código para que reconociera señas dinámicas.

En el caso de los números, las señas estáticas son del 1 al 5, y del 6 en adelante son dinámicas. Teniendo las señas del 1 al 5 ya almacenadas y funcionando, junto con las señas sin movimiento del vocabulario matemático, se procedió a entrenar el programa con las señas numéricas dinámicas, del 6 al 10.

Para este caso, se empleó una lógica similar al de las señas “estáticas”. El programa sigue guardando las secuencias de los movimientos en archivos JSON, pero realiza la captura de 25 frames durante un breve periodo de tiempo (3 segundos), y al igual que en las señas estáticas, por cada captura genera un único archivo JSON que se almacena como una variante de la seña, cambiando el nombre según la cantidad de variantes (6\_1.json; 6\_2.json; 6\_[...].json; 7\_1.json; 7\_[...].json; 8\_[...].json; 9\_[...].json; 10\_[...].json).

Al contar con el reconocimiento de señas con y sin movimiento para una mano, y fijas para dos manos. Fue posible iniciar la inclusión de señas que requieren del reconocimiento de dos manos con movimiento. Tomando como referencia el reconocimiento de señas dinámicas con una sola mano, los únicos parámetros que se ajustaban era incluir el reconocimiento de las dos manos, y el almacenamiento de las coordenadas de ambas manos normalizadas. Obteniendo así, un programa funcional con un menú sencillo y claro, donde se articulan todos los procesos realizados.

```

¿Es estática o dinámica? (static/dynamic):
static
✅ Señal 'Teorema de Pitágoras' (variante 20,
manos: 2, tipo: static) guardada en
'Señas\Teorema de Pitágoras\Teorema de
Pitágoras_20.json'.
¿Grabar otra variante? (s/n): s
¿Cuántas manos quieres usar? (1 o 2): 2
¿Es estática o dinámica? (static/dynamic):
static
✅ Señal 'Teorema de Pitágoras' (variante 21,
manos: 2, tipo: static) guardada en
'Señas\Teorema de Pitágoras\Teorema de
Pitágoras_21.json'.
¿Grabar otra variante? (s/n): |

```

Ilustración 38. Captura y almacenamiento de señas – Señal del vocabulario Matemático

Contando con el programa de recopilación o captura, se elaboró una pequeña interfaz para probar el reconocimiento individual de las señas en una interfaz. Esta cuenta con una lista de botones de las señas que se tienen entrenadas en el programa, y a la derecha, el frame de la cámara en tiempo real.

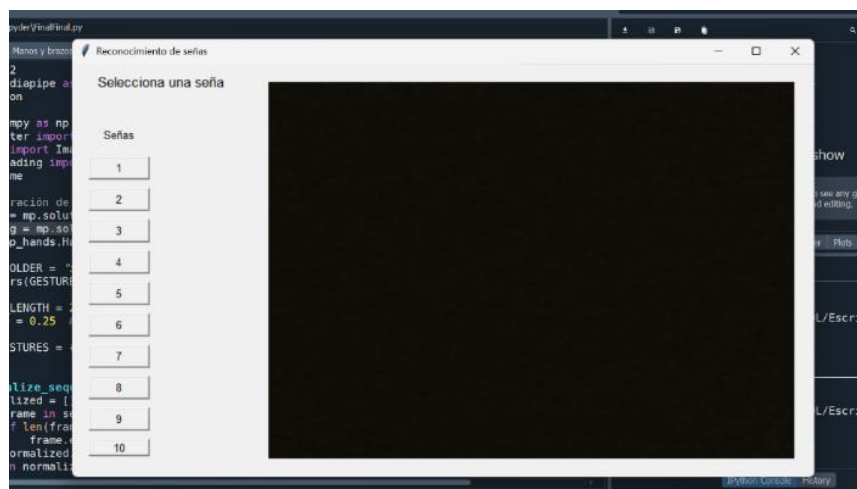
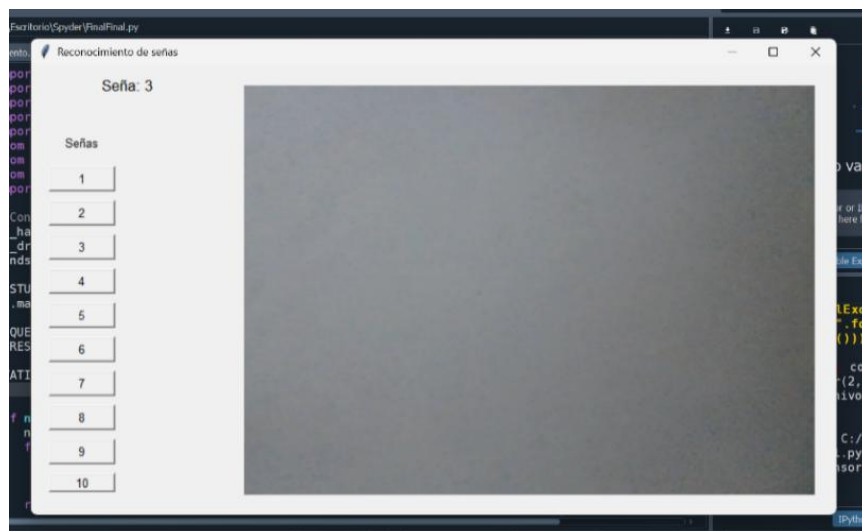
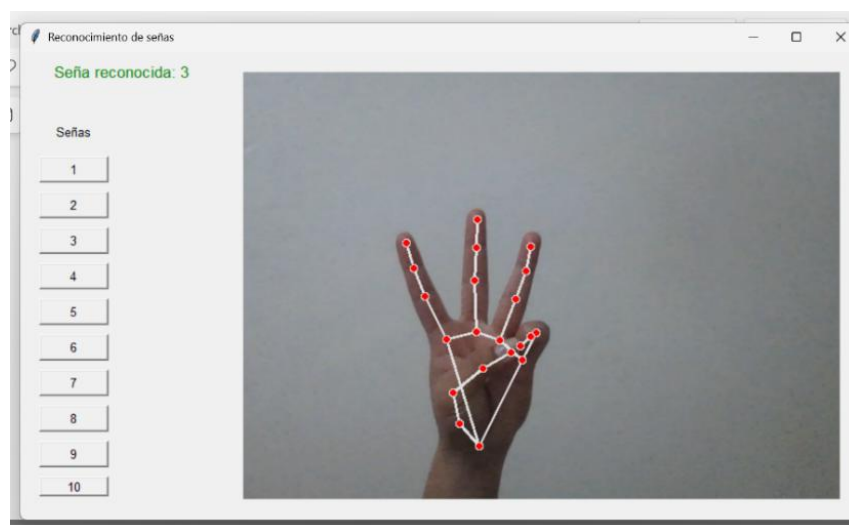


Ilustración 39. Interfaz con señas de los números

Al presionar uno de los botones, al lado del subtítulo “Selecciona una señal” aparece la señal seleccionada, e inmediatamente el usuario podrá realizar la señal frente a la cámara. Cuando el usuario realice la señal de forma adecuada, el subtítulo de la señal cambiara a color verde, dando a entender que la señal se reconoció.



*Ilustración 40. Señal del número 3 seleccionada*



*Ilustración 41. Señal del número 3 reconocida*

Con la base de la interfaz lista, se realizaron modificaciones en el sistema de reconocimiento de señas. Inicialmente, el programa no muestra los landmarks. Una vez el usuario selecciona una seña, los puntos de referencia aparecen en pantalla en color rojo. Si la seña se ejecuta correctamente, los landmarks cambian a color verde, se activa el subtítulo “Seña reconocida” y aparece un chulo verde en pantalla como confirmación visual del reconocimiento. En caso contrario, los puntos permanecerán en rojo.

Con la interfaz lista se agregaron las demás señas del vocabulario seleccionado, tomando en consideración los grados de libertad con los que contaban los brazos. Para esto, se generó un pequeño menú de dos botones: Números y Vocabulario matemático. Al seleccionar una de las dos opciones, se despliega una lista de botones, correspondiente a la categoría (botón) seleccionado, junto con la posibilidad de regresar al menú principal donde se muestran las dos categorías.

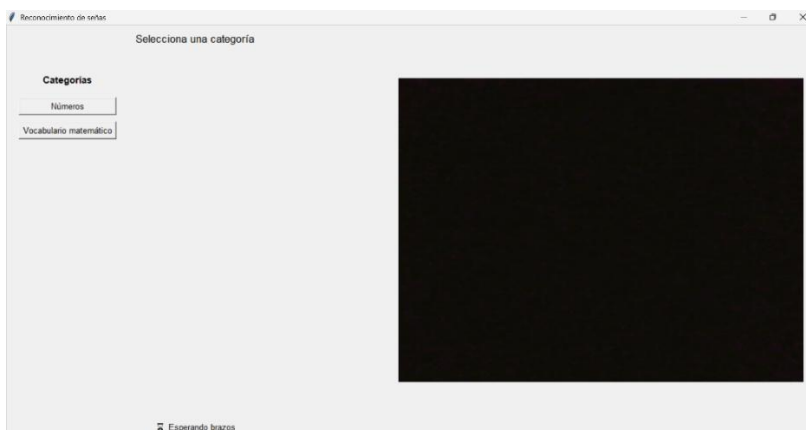


Ilustración 42. Interfaz con categorías

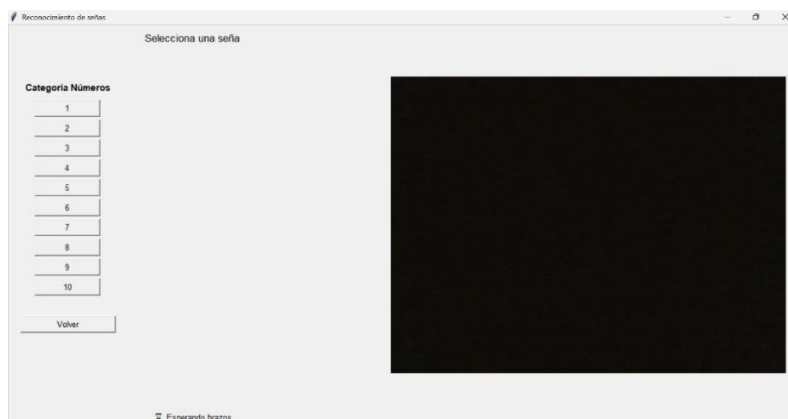
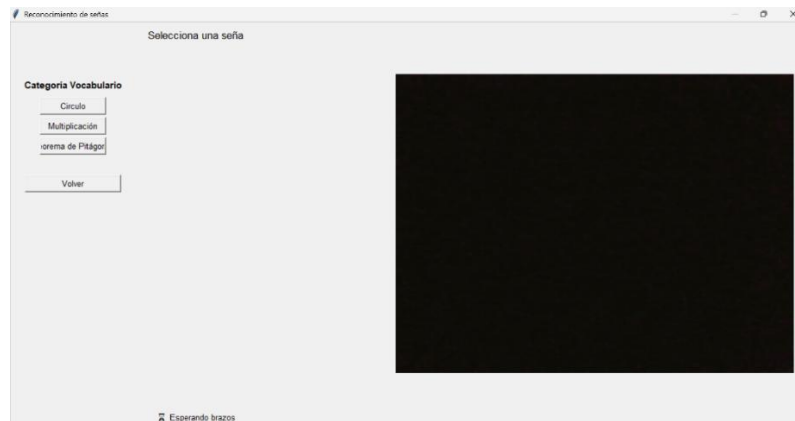


Ilustración 43. Categoría de números de la interfaz



*Ilustración 44. Categoría de vocabulario matemático de la interfaz*

Adicionalmente, como se observa en las imágenes, en la parte inferior de la interfaz se incorporó una etiqueta que indica el estado de conexión de los brazos robóticos. Si los brazos no están conectados, se mostrará el mensaje “Esperando brazos”; una vez se establece la conexión, el mensaje cambia automáticamente a “Brazos listos”. Esto permite al usuario identificar el modo de funcionamiento de la interfaz.

Cuando los brazos están conectados, el sistema opera de manera habitual, ejecutando los movimientos correspondientes a cada seña reconocida. En cambio, si los brazos están desconectados, la interfaz continúa funcionando con normalidad, pero al seleccionar una seña se mostrará una imagen o video de referencia. Estos recursos visuales fueron capturados durante el encuentro con la Coordinadora del servicio de interpretación de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, y cumplen la función de servir como modelo a imitar.

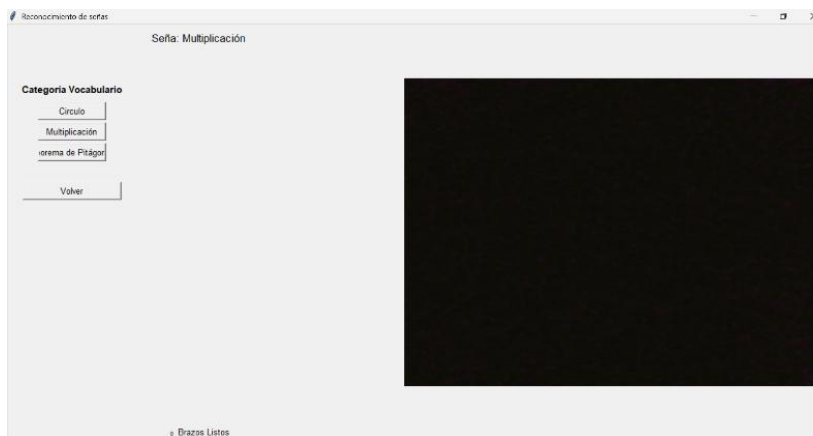


Ilustración 45. Interfaz con los brazos listos y seña de "Multiplicación" seleccionada

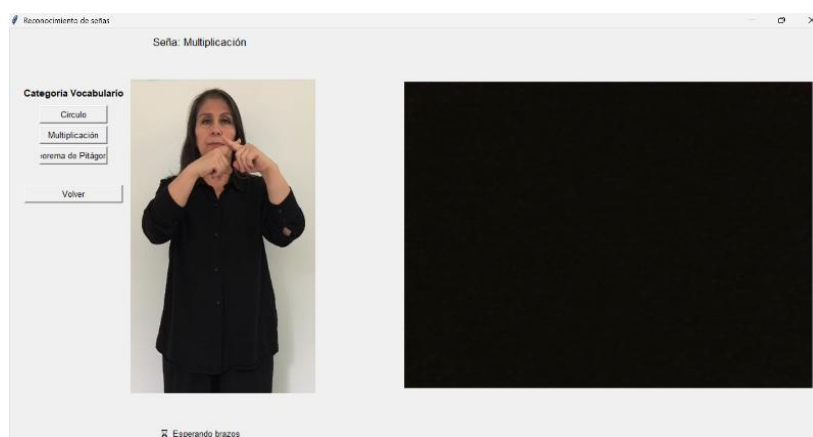


Ilustración 46. Interfaz sin los brazos listos y seña de "Multiplicación" seleccionada

Culminada la interfaz, el siguiente paso consistió en manejar los brazos a través de dicha interfaz. Para ello, se comenzó con una calibración básica, colocando los brazos en una posición inicial mediante los servos. En este caso, la posición inicial implica ambas manos completamente abiertas y extendidas. Al configurar todos los servos, se inició una comunicación con la placa 'Microcontrolador Arduino' a través del puerto Serial, lo que permitió controlar los servos conectados a un módulo controlador de servos PCA9685, mediante el Arduino y la interfaz de Python. Sin embargo, era crucial verificar que este funcionamiento se lograra establecer. Para ello, se codificó una interfaz sencilla con dos botones: Iniciar y Parar. Al presionar Iniciar, se activaba el servo del dedo índice de forma continua, y al presionar el botón de Parar, este movimiento se detenía.

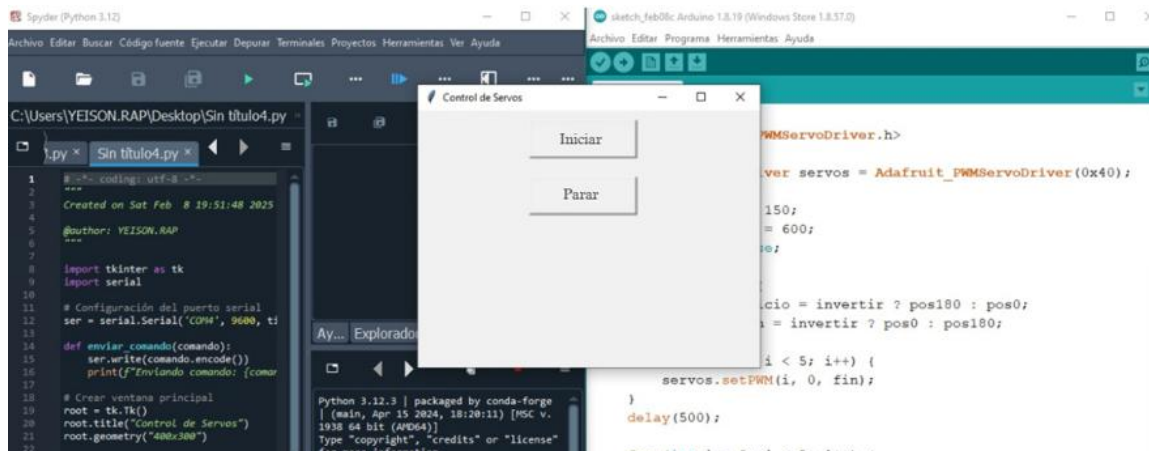


Ilustración 47. Interfaz en Python conectada a Arduino – Prueba de brazos

Al validar que la comunicación se daba de manera efectiva, se realizó la calibración de cada dedo, para inicialmente comprobar el funcionamiento de los números con la interfaz. En este caso, se designó una función para cada señal en la programación del Arduino, y por medio de un ‘Switch’ se activan los servos. En este caso, la variable que controla los casos es la que se envía desde el Python por el puerto serial, si se selecciona la señal del ‘1’ se envía un 1 por el puerto serial, si se selecciona la señal del ‘2’, se envía un 2, y así, con los demás números.

Con los números funcionando se facilitó el actuar de los brazos con las demás señales.

### ***Etapa 3. Implementación:***

La última etapa de desarrollo se centra en la integración de todas las partes, producto en las etapas anteriores. Este proceso abarca la unión armoniosa de la investigación realizada en la Etapa 1, y la construcción de los brazos robóticos y el diseño del software en la Etapa 2. El objetivo principal de esta fase fue asegurar que todos los elementos funcionen de manera coordinada y eficiente.

Adicional a ello, como seguimiento a los objetivos específicos, se adelantaron acciones de socialización dentro y fuera de la institución, galerías de proyectos y encuentros académicos, fortaleciendo la pertinencia y visibilidad de la propuesta.

Galeria del Encuentro de experiencias de prácticas pedagógicas  
(Noviembre del 2024)



Video publicado por Notas comunicantes en instagram  
(abril del 2025)

@upedagogicanacional

[https://www.instagram.com/reel/DH\\_J2XjgX0q/?igsh=ZHJ1dm03OW12azRs](https://www.instagram.com/reel/DH_J2XjgX0q/?igsh=ZHJ1dm03OW12azRs)

Video publicado en Instagram  
(febrero del 2025)

@soylicenciadoupn

[https://www.instagram.com/reel/DGD6bEqVuK/?utm\\_source=ig\\_web\\_copy\\_link&igsh=MzRIODBiNWFIZA==](https://www.instagram.com/reel/DGD6bEqVuK/?utm_source=ig_web_copy_link&igsh=MzRIODBiNWFIZA==)

Video publicado en Instagram y blog en la página oficial de emotions  
(abril del 2025)

@emotions.us1

[https://www.instagram.com/reel/DItnashRaSR/?utm\\_source=ig\\_web\\_copy\\_link&igsh=MzRIODBiNWFIZA==](https://www.instagram.com/reel/DItnashRaSR/?utm_source=ig_web_copy_link&igsh=MzRIODBiNWFIZA==)

Blog Del “Hombre Biónico” a la Era de la Mecatrónica Descubre cómo Emotions inspira a la nueva generación STEAM

<https://market.emotions.us/del-hombre-bionico-a-la-era-de-la-mecatronica-descubre-como-emotions-inspira-a-la-nueva-generacion-steam/>

Presentación de la Licenciatura en Electrónica con estudiantes en la  
*CELEBRACIÓN DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN LA CALERA*  
(abril del 2025)



Presentación de la Licenciatura en Electrónica en la UPN  
(marzo 2025)



*Tabla 1. Espacios de socialización del desarrollo de investigación*

Adicionalmente, se consolidaron dos espacios futuros de socialización del proyecto:

1. Invitación por parte del *Grupo de Investigación “Manos y Pensamiento: inclusión de estudiantes Sordos a la vida universitaria”* y su semillero *“Hablemos en Lengua de Señas Colombiana”*, de la Facultad de Educación de la Universidad Pedagógica Nacional, para participar en el evento académico *“Voces y Señas en la UPN: Investigación con y sobre Personas Sordas en la UPN”*, que se llevará a cabo el martes 2 de septiembre en las instalaciones de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia.
2. Invitación del Colegio Nuevo Campestre para participar como expositores en la Izada de Bandera de Competencias Digitales, programada para el 12 de septiembre en las instalaciones del colegio.

El hecho de que el desarrollo de este producto de investigación haya sido socializado en diversos espacios académicos, y que esté próximo a nuevas jornadas de socialización, se constituye en una evidencia concreta del cumplimiento del segundo objetivo específico, al promover el uso de herramientas tecnológicas como recurso didáctico complementario en procesos de educación inclusiva. Aun así, se hace pertinente dar cuenta de esto, es por esto que se desarrolló un instrumento de recopilación de información que marca un antes y un después en el desarrollo de este producto de

investigación dentro del marco de proyecto de grado. Este instrumento es un formulario que combinó preguntas de escala Likert y una abierta, que abarcan la Funcionalidad del producto, la Interfaz y la usabilidad, la Accesibilidad y comprensión de este. De esta manera, se obtuvo una retroalimentación directa proporcionada por la persona con discapacidad auditiva. Además, con base en el cumplimiento del primer objetivo específico, se determinó estadísticamente el criterio que debe ajustarse en el prototipo de acuerdo con cada gesto que se programó en la interfaz.

Para ver con más detalle: <https://forms.gle/rGGL5uzXf8Wt3PHC6>

Este instrumento se aplicó por primera vez en dos espacios distintos, el primero en un encuentro con la dirección de Manos y Pensamiento, con el fin de mostrar los avances del producto, y el segundo en un espacio de divulgación y promoción de las licenciaturas de la Facultad de Ciencia y Tecnología a estudiantes Sordos y con hipoacusia de semestre cero, con la participación de estudiantes de distintos semestres de la licenciatura en electrónica.



*Ilustración 48. Promoción de las licenciaturas de la facultad de ciencia y tecnología*

Se encuestaron un total de 31 personas, y para diferenciar las respuestas de los dos grupos, se aplicaron dos formularios: uno dirigido a los integrantes de Manos y Pensamiento y los estudiantes de semestre cero, y otro a los estudiantes de la Licenciatura en Electrónica. Del primer formulario, se consolidaron 19 respuestas de los participantes de Manos y Pensamiento y los estudiantes de semestre

cero. Con los resultados obtenidos se evidenció una recepción mayoritariamente positiva, con valoraciones favorables sobre la precisión de los gestos y la facilidad de uso de la interfaz.

#### Representación del vocabulario matemático

Un buen número de participantes (42,1%) consideró adecuado el movimiento de los brazos robóticos para representar términos matemáticos en LSC, aunque un 47,4% adoptó una postura neutral, lo que sugirió que algunas de las señas pueden mejorar en precisión y fluidez.

#### Interfaz del sistema

Más de la mitad de los encuestados (52,6%) estuvo de acuerdo en que la interfaz facilita la selección y visualización de las señas, y el 63,2% consideró la interfaz comprensible y usable. Sin embargo, el 10,5% opinó que no era intuitiva, indicando la necesidad de ajustes en aspectos visuales o de navegación, especialmente para usuarios menos familiarizados con la tecnología.

#### Sugerencias

Los participantes recomendaron ampliar el vocabulario, ajustar algunos movimientos para mayor claridad, mejorar la configuración manual y destacar las diferencias entre gestos robóticos y humanos. Además, se sugirió incluir letras del alfabeto y palabras cotidianas, y se destacó el interés por continuar explorando herramientas tecnológicas similares.

Aunque el producto de investigación recibió valoraciones generalmente positivas, los comentarios reflejan áreas de mejora tanto en la precisión de los gestos como en la interfaz y el contenido disponible.

En el caso de los estudiantes de la Licenciatura en Electrónica, se obtuvieron 12 respuestas. La mayoría coincidió en que los brazos ejecutan las señas de forma limpia y con un tiempo de respuesta adecuado, lo que sugiere un funcionamiento técnico sólido. Sin embargo, se observó cierta neutralidad al evaluar la claridad con la que se reconocen algunas señas, lo cual indica que aún puede mejorarse la expresividad o precisión de ciertos movimientos.

Respecto a la representación del vocabulario matemático, las respuestas fueron mayoritariamente favorables, confirmando que el sistema logra transmitir conceptos clave, aunque persiste la necesidad de seguir afinando algunos movimientos. La interfaz recibió valoraciones muy positivas: fue descrita como intuitiva, comprensible y fácil de usar por la mayoría de los participantes, lo que refuerza su potencial como herramienta educativa accesible.

En las sugerencias abiertas se propusieron mejoras puntuales, como la inclusión de mayor flexibilidad en los brazos (por ejemplo, articulación en los codos) y la incorporación de funciones basadas en inteligencia artificial para enriquecer la interacción y adaptar el contenido a distintos niveles de comprensión. Estas observaciones reflejan tanto el potencial del prototipo como el interés por su evolución futura.

*Para ver las respuestas exactas en ambos casos, se adjuntan dos archivos Excel (.xlsx).*

- *El archivo titulado “Primer Encuesta – MyP” contiene las 19 respuestas de los estudiantes Sordos de semestre cero y de la dirección de Manos y Pensamiento.*
- *El archivo titulado “Primer Encuesta – LE” contiene las 12 respuestas de los estudiantes oyentes de la Licenciatura en Electrónica.*

Con base en los resultados obtenidos en la primera aplicación del formulario, y atendiendo a las sugerencias entregadas por los participantes, se realizaron varios ajustes al sistema, tanto en la

precisión de ciertos movimientos como en aspectos visuales de la interfaz. Posteriormente, se aplicó nuevamente el instrumento de evaluación, con el objetivo de identificar los avances logrados, validar los cambios implementados y recoger nuevas observaciones por parte de los usuarios.

En este caso, se contó con la participación de un estudiante de la Facultad de Ciencia y Tecnología, perteneciente al programa de Licenciatura en Diseño Tecnológico, quien además es persona sorda y hace uso de la Lengua de Señas Colombiana (LSC). Su participación permitió validar el prototipo desde una perspectiva crítica y fundamentada, desde el ámbito técnico como comunicativo.

A partir de la aplicación del instrumento de evaluación, se evidencian avances significativos en varios aspectos. El estudiante manifestó estar muy de acuerdo con la limpieza en la ejecución de las señas, así como con el tiempo de respuesta de los brazos robóticos, lo que indica que el sistema logra representar los gestos de manera fluida y sin interrupciones perceptibles. Esto representa un avance frente a versiones anteriores del prototipo.

Respecto a la claridad de las señas, la percepción del estudiante fue positiva, marcando “de acuerdo”, lo que sugiere que las señas son en su mayoría comprensibles y están correctamente configuradas. Sin embargo, frente a la pregunta sobre si los movimientos ejecutados por los brazos son adecuados para representar el vocabulario matemático, la respuesta fue neutral, lo cual evidencia un área que requiere revisión. Esto podría deberse a que algunas señas no corresponden con las convenciones formales de la LSC o presentan ambigüedades en su ejecución.

En cuanto a la interfaz del sistema, el estudiante también indicó estar “de acuerdo”, lo cual es positivo, pero revela que aún hay aspectos por mejorar, como la organización visual y la inclusión de más vocabulario.

Finalmente, es relevante destacar que el estudiante indicó estar muy de acuerdo con que el prototipo facilita el aprendizaje de la Lengua de Señas Colombiana, lo cual refuerza el valor pedagógico y social del sistema. No obstante, en las observaciones abiertas, el participante expresó que todavía hay cosas que mejorar, reconociendo que, si bien hay avances importantes, el sistema aún requiere ajustes tanto en la interfaz como en la ejecución precisa de ciertas señas.

Para ver las respuestas exactas en ambos casos, se adjuntan dos archivos Excel (.xlsx).

- *El archivo titulado “Segunda Encuesta – Estudiante” contiene las respuestas del estudiante Sordo de la Facultad de ciencia y tecnología*

## IX. CONCLUSIONES

El reconocimiento de la importancia de integrar de manera coherente los saberes pedagógicos, tecnológicos y sociales durante la Licenciatura en Electrónica se evidencia en el desarrollo de este producto, demostrando que es posible materializar estos aprendizajes en una propuesta que responde a necesidades reales de la comunidad. La experiencia investigativa consolidó conocimientos y habilidades clave para diseñar, implementar y socializar herramientas didácticas innovadoras, manteniendo siempre la coherencia con los propósitos de la formación. Este proyecto establece bases sólidas para futuras iniciativas que sigan articulando tecnología, educación y accesibilidad.

A continuación, se presentan las conclusiones generales derivadas de esta experiencia:

1. El desarrollo de los brazos robóticos demostró que la enseñanza de la Lengua de Señas Colombiana puede potenciarse mediante la integración de herramientas didácticas basadas en robótica social, en coherencia con el enfoque de la Licenciatura en Electrónica, que promueve la relación constante entre tecnología, educación y sociedad.
2. Se consolidaron aprendizajes significativos en torno al diseño y construcción de sistemas electrónicos y de control, poniendo en práctica saberes adquiridos en asignaturas como Diseño Electrónico, Circuitos y Sistemas de Control, reafirmando la pertinencia de estos espacios académicos para abordar problemáticas reales desde soluciones funcionales y aplicables.
3. La socialización del prototipo en espacios académicos internos y externos, así como en repositorios y encuentros de semilleros, evidencia el compromiso de la licenciatura con la divulgación del conocimiento y la formación de docentes capaces

de promover ambientes de aprendizaje accesibles, en concordancia con los ejes de Pedagogía, Didáctica de la Tecnología y Práctica Pedagógica.

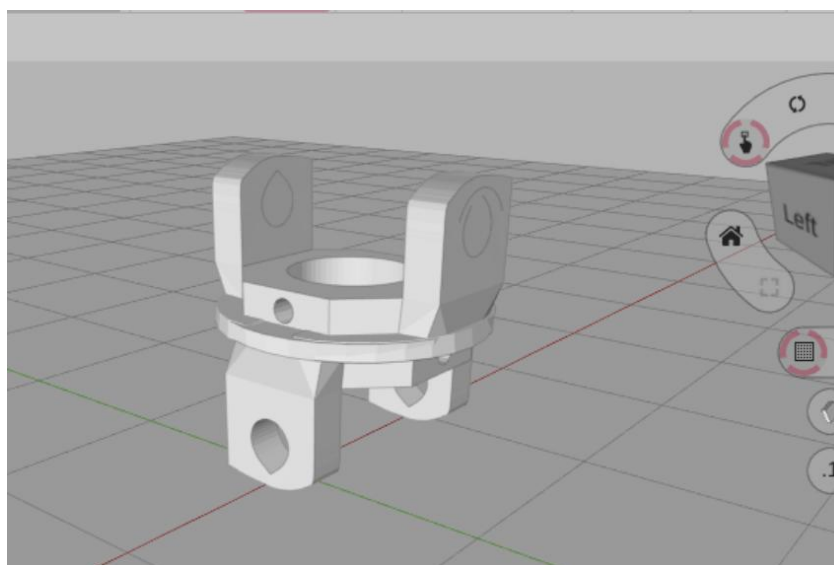
4. El proceso metodológico implementado fomentó habilidades de investigación, análisis crítico y trabajo interdisciplinar, aspectos abordados de manera transversal en seminarios de investigación y espacios de práctica pedagógica, fortaleciendo el perfil del licenciado como agente de cambio y transformación social.

Finalmente, se deja abierta la posibilidad de continuar perfeccionando el prototipo mediante la ampliación del vocabulario, la optimización de la interfaz gráfica y la validación en contextos reales de aula, entendiendo que la apropiación de herramientas tecnológicas innovadoras, como los brazos robóticos para la LSC, aporta no solo a la dimensión técnica de la formación docente, sino también al diseño de estrategias educativas contextualizadas que respondan a necesidades sociales concretas, en coherencia con los propósitos del plan de estudios.

## X. SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

El desarrollo del producto no estuvo exento a desafíos, se presentaron algunas dificultades en el proceso, lo que hace necesario tener en cuenta varios aspectos en diferentes áreas. Por ello, se ofrecen recomendaciones y sugerencias generales para abordar estos desafíos, mejorando la eficiencia, calidad y sostenibilidad de proyectos como éste.

En el caso del ensamble de los brazos, a pesar de contar con el diseño, fue necesario modificar algunas piezas para mejorar los grados de libertad requeridos para lograr la imitación de las señas. Esta elección permitió adaptar los brazos robóticos a los requerimientos específicos de este desarrollo, asegurando una mayor durabilidad y eficiencia en su funcionamiento.



*Ilustración 49. Piezas modificadas para la movilidad de la muñeca*

La pieza que se muestra en la imagen anterior se diseñó para permitirle a la muñeca girar hacia los lados, ya que el modelo original solo giraba sobre su propio eje. Es por esto que se sugiere analizar el modelo, y si se requiere, modificar el diseño para que cumpla con los objetivos de la implementación en productos como este.

Adicional a ello, para la impresión de las Piezas en 3D hay que tener muchos factores presentes, como, por ejemplo, el tipo de impresora y material a usar, como se calibra correctamente, a que densidad de relleno y que tipo de relleno usar, entre otros. En este caso se empleó un relleno triangular con una densidad del 80%. El relleno triangular en una pieza impresa en 3D se refiere a la cantidad y tamaño de los triángulos que componen el interior de la estructura. A mayor densidad, el número de triángulos en la pieza aumenta, lo que genera una estructura interna más sólida y resistente. Éste aumento en la densidad implica una distribución más uniforme de los triángulos, mejorando la capacidad de la pieza para soportar esfuerzos mecánicos y cargas, al tiempo que se optimiza el uso del material para lograr una mayor durabilidad y estabilidad en la pieza impresa.

En las siguientes imágenes se ilustra el aspecto del relleno de una pieza con una densidad del 20% y otra con una densidad del 80%. La línea naranja que se observa indica el patrón de relleno triangular. Adicionalmente, en la imagen se puede observar que, al aumentar la densidad del relleno, el tiempo de impresión y la cantidad de filamento se incrementan.

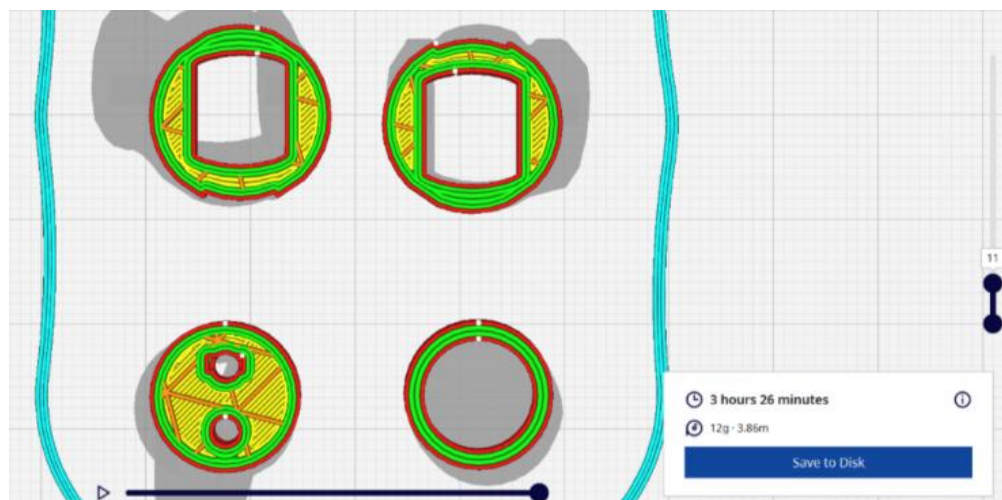


Ilustración 50. Dedo índice con una densidad del 20% en ULTIMAKER CURA

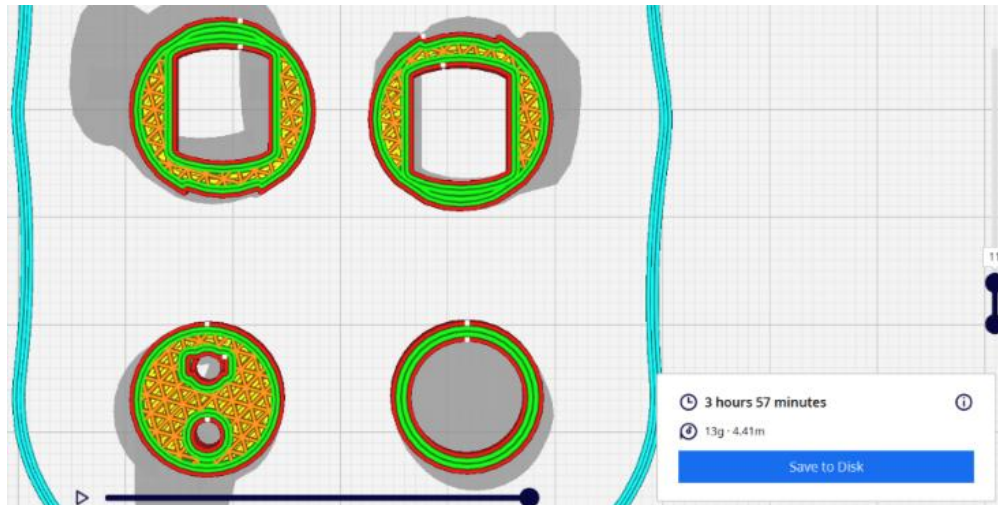


Ilustración 51. Dedo índice con una densidad del 80% en ULTIMAKER CURA

Imprimir un dedo con una densidad del 20% y otro con una del 80% produce diferencias significativas en cuanto a funcionalidad y durabilidad. Un dedo impreso con una densidad del 20% será más ligero debido a la menor cantidad de material utilizado, pero también será menos resistente a las fuerzas externas y más propenso a romperse o deformarse bajo presión. Además, puede ser ligeramente más flexible, lo cual no siempre es deseable para piezas que necesitan mantener una forma específica. Por otro lado, un dedo impreso con una densidad del 80% será más pesado y considerablemente más resistente, capaz de soportar fuerzas y tensiones sin romperse ni deformarse. Será más rígido y menos propenso a flexionarse, lo cual es crucial para componentes que requieren una integridad estructural sólida. En resumen, una mayor densidad proporciona una mayor durabilidad y resistencia, ideales para piezas sometidas a estrés mecánico.

Teniendo en cuenta esto, fue necesario que las piezas pequeñas, como los dedos, tengan una mayor densidad para garantizar su resistencia. Sin embargo, para piezas más grandes, como la palma de la mano, los antebrazos o los soportes de muñeca, es posible utilizar una densidad menor al 60%. Esto permite ahorrar material y evita que las piezas resulten demasiado pesadas.

La siguiente imagen muestra la palma de una mano, con un relleno triangular y una densidad del 40%.



*Ilustración 52. Palma con una densidad del 40% en ULTIMAKER CURA*

En el componente electrónico y mecánico, resulta pertinente validar cuidadosamente la compatibilidad de los servomotores con la estructura impresa, teniendo presente la fuerza necesaria para mover cada articulación sin forzar los actuadores ni comprometer su vida útil. En el caso específico de la articulación del codo, su implementación puede tornarse más compleja, principalmente porque el peso que debe soportar es considerablemente mayor al que maneja un servo de muñeca. Durante el proceso de desarrollo de esta investigación, se realizaron varias pruebas modificando las piezas del codo y ensayando distintos motorreductores con el fin de lograr la articulación de dicho movimiento; sin embargo, en cada intento, el peso resultó ser excesivo para la capacidad del motor empleado.

Sería factible contemplar la incorporación de un motor de mayor potencia, pero para ello es necesario continuar ajustando las piezas existentes o, en su defecto, diseñar componentes nuevos que garanticen un ensamble seguro y funcional. Generar el movimiento de giro sobre su propio eje resulta

sencillo con los motores mencionados, pero lograr que la articulación del codo baje, un mínimo de 30 grados y se mantenga estable en esa posición, implica un reto técnico importante si no se cuenta con el actuador adecuado para soportar dicho esfuerzo. Este problema influye directamente en la imitación precisa de las señas, ya que, en el caso particular del campo de las matemáticas, la mayoría de las señas requieren la intervención del codo para lograr una correcta representación.

Desde el componente de software, durante la subfase de comparación de las señas en tiempo real con el segundo código, se observó que algunas de ellas se confundían o no se distinguían claramente. Por esta razón, fue necesario replantear el modelo de entrenamiento del software. Inicialmente, solo se realizaba una captura de archivos JSON por cada seña, pero se decidió almacenar múltiples archivos para cada una, creando una carpeta específica para cada seña.

Con la primera versión del código, era necesario ejecutar manualmente el programa cada vez que se quería guardar una seña, y luego cambiar el nombre del archivo para cada variante (por ejemplo: seña1.json, seña1\_1.json, seña1\_2.json, etc.). Esto hacía el proceso lento y tedioso. Por eso, se imperativo que se generen la mayor cantidad de archivos de entrenamiento posibles, para mejorar la precisión del sistema. Adicional a ello, es relevante ampliar la base de datos de señas, considerando tanto gestos estáticos como dinámicos. Para ello, se recomienda colaborar con expertos en LSC de esta forma es factible garantizar que cada seña esté validada y ajustada a la normatividad vigente y a las variaciones propias de la comunidad.

Por último, se destaca la importancia de fortalecer la validación con usuarios finales. Mantener espacios de retroalimentación con estudiantes Sordos, intérpretes y docentes especializados, como se realizó con el acompañamiento de “Manos y Pensamiento”, garantiza que la herramienta responda a necesidades reales y que sus ajustes estén alineados con los contextos educativos específicos. Promover la socialización de los resultados en encuentros académicos y de divulgación también amplía las oportunidades de colaboración retroalimentación interdisciplinaria.

## XI. REFERENCIAS

- Araujo Salgado, D. L., & Lascuráin Gutiérrez, I. (2022). *ANÁHUAC MÉXICO*. Obtenido de Robótica social, la ciencia detrás de la interacción humana: <https://www.anahuac.mx/mexico/noticias/Robotica-social-la-ciencia-detras-de-la-interaccion-humana>
- AWS. (s.f.). *AWS*. Obtenido de ¿Qué es Python?: <https://aws.amazon.com/es/what-is/python/>
- Booth, T., & Ainscow, M. (2002). *Index for Inclusion: Developing Learning and Participation in Schools*. Centre for Studies on Inclusive Education (CSIE). Obtenido de <https://www.eenet.org.uk/resources/docs/Index%20English.pdf>
- Bratos, F. R. (2020). *Diseño de una Interfaz Gráfica de Usuario para placa Arduino*. Obtenido de Universidad de Sevilla : <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/92756/fichero/TFG-2756+RAMOS+BRATOS.pdf>
- China, C. R. (s.f.). *IBM*. Obtenido de Cinco tipos de aprendizaje automático que debe conocer: <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/machine-learning-types>
- Comisión de Regulación de Comunicación. (2022). *¿Cuál es la percepción de la comunidad sorda en Colombia sobre el acceso a la TV abierta?* Obtenido de <https://www.crcm.gov.co/es/noticias/estudios/cual-es-percepcion-comunidad-sorda-en-colombia-sobre-acceso-tv-abierta#:~:text=De%20acuerdo%20con%20la%20Encuesta,alg%C3%BAAn%20nivel%20de%20discapacidad%20auditiva.>
- Congreso de Colombia. (1996). *LEY 324 DE 1996 - Por el cual se crean algunas normas a favor de la población sorda*.
- Dassault Systèmes. (2002). *3DEXPERIENCE Make*. Obtenido de Impresión 3D: <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/3d-printing>
- Delgao Contreras, J. F., & Herrera Ramos, O. (2018). *Desarrollo de una mano robótica para la reproducción del alfabeto en lengua de señas mexicana*. México.
- Detección de puntos de referencia*. (2024). Obtenido de Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Landmark\\_detection](https://en.wikipedia.org/wiki/Landmark_detection)

- España Cajiao, M. (2020). *Diseño y construcción de un traductor de lenguaje de señas, para facilitar la comunicación entre personas mediante una computadora y una mano robótica*. Guayaquil, Ecuador.
- García Gil, E. Y. (2024). *Propuesta de aprendizaje de la lengua de señas colombiana (LSC) basado en una aplicación móvil: una experiencia de inclusión educativa*. Obtenido de Repositorio Universidad Pedagogía Nacional: <http://hdl.handle.net/20.500.12209/20549>
- INARQ . (Febrero de 2024). *INARQ - centro de alta formación para ingenieros y arquitectos*. Obtenido de Gestión de Proyectos: Un Análisis Profundo de la Metodología del PMI: <https://inarq.edu.pe/tecnologia/gestion-de-proyectos-un-analisis-profundo-de-la-metodologia-del-pmi/#:~:text=Metodolog%C3%ADa%20del%20PMI,-El%20PMI%20ha&text=Este%20marco%20proporciona%20un%20conjunto,el%20riesgo%20y%20las%20adquisiciones>.
- INSOR. (S.f.). *INSOR educativo*. Obtenido de <https://educativo.insor.gov.co/diccionario/numero/>
- Langevin, G. (2012). *InMoov*. Obtenido de <https://inmoov.fr/>
- López, A. T. (Julio de 2023). *Intérprete “artificial” de lengua de señas*. Obtenido de Universidad de Alicante: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/136222/1/Interprete\\_artificial\\_de\\_lengua\\_de\\_signos\\_\\_Artificial\\_si\\_Torres\\_Lopez\\_Andres.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/136222/1/Interprete_artificial_de_lengua_de_signos__Artificial_si_Torres_Lopez_Andres.pdf)
- MatterHackers Inc. (s.f.). *MatterControl* . Obtenido de MatterHackers: <https://www.matterhackers.com/store/l/mattercontrol/sk/MKZGTDW6>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *IMPLEMENTACIÓN DE LA POLÍTICA PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD DEL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE*.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2020). *Boletines Poblacionales: Personas con discapacidad-PCDI*.
- Nacional, M. d., (INSOR), I. N., & Cuervo, I. C. (2006). *Diccionario Básico de la lengua de señas colombiana* . Bogotá.
- Organización Mundial de la Salud & Banco Mundial. (2011). *Organización Mundial de la salud*. Obtenido de Informe mundial sobre la discapacidad: <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241564182>

Reig, A. S. (Junio de 2022). *Interfaz hombre-máquina mediante*. Obtenido de Universidad de Alicante:

[https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/124652/1/Interfaz\\_hombremaquina\\_mediante\\_estimacion\\_de\\_pose\\_Sanchis\\_Reig\\_Adrian.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/124652/1/Interfaz_hombremaquina_mediante_estimacion_de_pose_Sanchis_Reig_Adrian.pdf)

Rozo Melo, N. (S.f.). *Portal de Lenguas de Colombia: Diversidad y Contacto*. Obtenido de La lengua de señas colombiana: <https://lenguasdecolombia.caroycuervo.gov.co/contenido/Lenguas-de-senas-colombiana/introduccion>

Salazar Guevara, J. C., & Sánchez Ramírez, J. C. (2018). *Leap SignVR : aplicación basada en realidad virtual para el apoyo de la enseñanza de la lengua de señas colombiana usando Leap Motion*. Obtenido de Repositorio Universidad Pedagógica Nacional: <http://repositorio.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/11887>

UltiMaker. (2011). *UltiMaker Cura*. Obtenido de <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>

UNESCO. (2017). *UNESDOC Biblioteca Digital*. Obtenido de Guía para asegurar la inclusión y la equidad en la educación: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000259592>