



UNIVERSIDAD MODELO

Escuela de ingeniería

Proyectos III

Ingeniería Biomédica

3° Semestre

Profesor: Rutilio Nava Martínez

**Alumnos: Del Ángel Reséndiz Emiliano,
López Ávila Emilio Raymundo, Moguel
Domínguez Raúl Humberto, Romero Velasco
Arturo**

Evaluación Final

Fecha de entrega: 14 de diciembre del 2023

Diseño de un prototipo de mano robótica controlada por voz.

Abstract-Diseño de un prototipo de mano robótica controlada por voz.

En México, se calcula que a 780.000 personas les han amputado sus extremidades. Sin embargo, sólo 7.500 de ellos tienen prótesis y 5.250 de ellos no saben cómo poder utilizarlas de una forma adecuada. Las prótesis mecánicas más comunes pueden realizar funciones básicas como abrir y cerrar la mano, pero se limitan a agarrar objetos de gran tamaño y movimientos imprecisos. Las prótesis de mano de alta calidad suelen ser costosas, lo que limita el acceso de muchas personas que las necesitan. Además, las prótesis mecánicas pueden sufrir desgaste y necesitan mantenimiento periódico. El objetivo del proyecto es diseñar una prótesis de nivel medio que les permita realizar movimientos básicos, como agarrar objetos o poder sostener algo en las manos mediante comandos de voz. La prótesis se diseñará utilizando impresión 3D, un material más accesible que los tradicionales. Los movimientos de la prótesis se controlarán mediante comandos de voz. Se espera que la prótesis sea más barata y más fácil de usar que las prótesis tradicionales, lo que mejorará la calidad de vida de las personas amputadas de manos. La investigación en prótesis de mano enfrenta varios desafíos, como el costo, la funcionalidad, la durabilidad, la integración con el cuerpo, la aceptación social y psicológica, el acceso global, la ética y los derechos. El progreso en la tecnología de las prótesis ha permitido desarrollar dispositivos más avanzados y asequibles para todo público.

Palabras clave: Control a voz, Arduino, Mano, Prótesis, Simulación.

Introducción

Únicamente en México existen un total de 1 168 098 personas que cuentan con una discapacidad que les dificulta realizar actividades como lo son comer, bañarse o vestirse. Este número seguirá en aumento ya que según la Academia Nacional de Medicina de México (ANMM), en nuestro país se efectúan aproximadamente 75 amputaciones diarias; es decir, más de 25 mil personas al año sufren la escisión de alguna de sus extremidades (Torres, 2022).

La mayoría de las amputaciones se deben a traumatismos, ya sean de tipo laboral – por aplastamientos o arrancamientos– o por accidentes de tráfico, especialmente en accidentes de moto (Silva Castellanos, 2011).

El Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) sólo atiende a los amputados por accidente laboral, que son la minoría de los pacientes que sufren alguna amputación (Gutiérrez J, 2018).

Esto es un grave problema debido a la escasez de prótesis que hay en todo el país, esto se puede confirmar gracias a los datos que proporciona el Inegi mencionando que en México existen 780 mil personas con amputaciones, y de 75 mil personas amputadas sólo 7,500

tienen una prótesis (10%) y de ellas, 5,250 (7%) no saben utilizarla. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2015)

La mano humana es compleja y, a menudo, se necesitan dos prótesis diferentes para proporcionar una función óptima para las actividades diarias generales y para actividades específicas. (Stokosa, 2023).

Existen varias configuraciones de robots, de acuerdo al tipo de movimientos que pueden realizar. Los robots pueden ser “cartesianos”, es decir que se mueven en línea recta y su volumen de trabajo es un prisma rectangular, los robots “cilíndricos” que se utilizan principalmente para ensamble y su volumen de trabajo es un cilindro. Los robots “esféricos” tienen un volumen de trabajo en forma de una sección una esfera. Los robots industriales más atractivos y que más se conocen son los que simulan los movimientos de un brazo humano, por lo que se les conoce como “brazos articulados”, y sus aplicaciones son muy amplias debido a la facilidad que tienen para realizar movimientos complicados (Manuel J. UNAM)

Una prótesis de mano se trata de un dispositivo mecánico y estético diseñado para sustituir de manera artificial este miembro del cuerpo humano que ha sido amputado de forma total o parcial por un accidente o enfermedad (Lemus Erick, LTF)

Existen diversas categorías de prótesis, algunas de las cuales se asemejan notablemente a partes del cuerpo humano, mientras que otras incorporan una tecnología tan sofisticada que casi podrían ser consideradas como dispositivos robóticos. Entre estas prótesis, algunas están diseñadas principalmente por razones estéticas, sin capacidad de movimiento (conocidas como prótesis estéticas). Otras pueden ajustarse para adoptar posiciones específicas según la necesidad del usuario, mientras que las mecánicas están controladas por músculos o cables para proporcionar funcionalidad y movimiento. (Arana & Albán, 2016)

Estas prótesis están personalizadas para las diferentes personas que requieran de satisfacer sus necesidades cotidianas lo que eleva en gran medida los precios a los que pueden llegar estos mismos, además hay que tener en cuenta que existen distintos niveles de prótesis en cuanto a la tecnología que incluyen lo que incrementa aún más el precio. Según la ANMM, en 2016 se calculaba que en México había menos de 300 especialistas en órtesis y prótesis, y

representan 15 por ciento de lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (Delgado Sandra, 2022). Las marcas más conocidas que fabrican este tipo de prótesis como lo pueden ser Össur, Hanger Clinic, Fillauer y Touch Bionics mientras que en México Allergan, Mentor y Nagor llevan años en este tipo de mercado en donde los precios de las prótesis electrónicas que no son completamente biónicas, pero que tienen características avanzadas, como una mayor capacidad de agarre y movimiento, suelen ser costosas y pueden oscilar entre los 20,000 y 50,000 dólares o euros mientras que las más baratas se encuentran en un rango de 1,000 hasta 5,000 dólares o euros, o incluso menos en algunos casos donde las funciones que pueden realizar son muy limitadas. Las prótesis médicas no solamente ayudan a la parte estética, si no que ayudan al usuario a llevar una vida normal logrando realizar actividades cotidianas. (Sópalo Romero, 2021)

Estos precios y la poca accesibilidad causan que la población mexicana se encuentre en la imposibilidad de adquirir las prótesis necesarias para una vida digna. Lo que nos lleva a la creación de las prótesis mucho más baratas como lo son las creadas en máquinas de impresión 3D que a pesar de tener muchas limitaciones han sido de gran ayuda para ese sector de la población que no se puede dar el lujo de comprar una (3D natives Lucia Contreras, 2022).

Las prótesis mecánicas cumplen funciones básicas como la apertura y cerrado de la mano, limitadas al agarre de objetos grandes y movimientos imprecisos (Brito, 2013).

La investigación en prótesis de mano enfrenta varias problemáticas y desafíos que deben abordarse para mejorar la calidad de vida de las personas con amputaciones en la mano y avanzar en esta área. Algunas de las problemáticas más importantes incluyen los costos de las prótesis de mano de alta calidad que suelen ser costosas, lo que limita el acceso de muchas personas que las necesitan. La investigación debe centrarse en desarrollar prótesis asequibles sin comprometer la funcionalidad y la calidad.

Su funcionalidad debido aunque las prótesis de mano han avanzado significativamente, todavía pueden no ofrecer un rango completo de movimientos y habilidades comparables a una mano natural. Cada persona es única, y las prótesis de mano deben adaptarse a las necesidades individuales. Incluyendo su durabilidad y mantenimiento ya que las prótesis de mano pueden sufrir desgaste y necesitan mantenimiento periódico.

La incorporación de sensores que captan la actividad electromiográfica (EMG) de los músculos remanentes del muñón y lo traducen a un movimiento de la mano protésica constituyó un gran salto en la calidad de las prótesis de extremidad superior. Las principales ventajas de este tipo de prótesis radican en que no requieren de arnés ni de fuerza muscular para operar, se puede regular la velocidad y la fuerza de prensión y son cosméticas. (Garcia, S. D, 2014)

Lograr una integración más natural y cómoda entre la prótesis y el cuerpo es un desafío importante. Esto incluye el diseño de prótesis que se ajusten mejor y sean más cómodas de usar. Aceptación social y psicológica: Las personas que utilizan prótesis de mano pueden enfrentar estigmatización y desafíos emocionales.

En muchas partes del mundo, el acceso a prótesis de mano de alta calidad es limitado. La investigación debe considerar cómo llevar tecnologías avanzadas a comunidades menos privilegiadas. La investigación en prótesis de mano también debe abordar cuestiones éticas relacionadas con la privacidad y los derechos de los usuarios, así como garantizar la igualdad de acceso y tratamiento.

Están surgiendo prótesis de brazos y manos que pueden controlarse mediante señales de electromiografía (EMG). Kuiken et al demostraron una técnica quirúrgica llamada reinervación muscular dirigida que transfiere los nervios residuales del brazo a sitios musculares alternativos. Han demostrado que esta técnica permite a los sujetos realizar un control en tiempo real de hombros, codos, muñecas y manos motorizados para agarrar objetos blandos y quebradizos, como uvas o huevos, con la fuerza suficiente para sujetarlos sin aplastarlos. En el frente comercial, Touch Bionics' La mano protésica ligera y totalmente articulada, la mano i-LIMB, ahora puede permitir a los amputados realizar gestos y diversos movimientos de agarre (por ejemplo, fuerza, precisión, punto índice, etc.).

Con el tiempo, se espera que estos dispositivos protésicos avanzados realicen toques afectivos en otras personas (Kukien TA, 2004)

El progreso en la calidad de las prótesis ha representado uno de los notables avances tecnológicos de la última década. Los días de los garfios y las rudimentarias extremidades artificiales han quedado atrás. En la actualidad, es factible reemplazar una parte del cuerpo

humano con prótesis tecnológicas que en ocasiones sobrepasan las fronteras de la ciencia ficción. (Seijas, 2022)

Las impresiones 3D al ser más accesibles que prótesis de acero o algún otro material parecido optamos por el uso de estas mismas, un ejemplo de esto es la diferencia entre una prótesis hecha 3D con precio de 30 euros a una de 500 euros. Los materiales que se utilizan en una impresora 3D, aún no pueden reemplazar los materiales de larga duración con los que tradicionalmente se hacen las prótesis. Sin embargo, esto pronto puede cambiar. Mientras tanto, la tecnología está permitiendo que las prótesis a un costo accesible sean una realidad y ha motivado a gente alrededor del mundo a participar en el diseño de estas. (Development, 2020)

Es por eso que el objetivo de nuestro proyecto es diseñar una prótesis de nivel medio que les permita realizar acciones básicas como lo son el agarre de objetos o poder tener algo en su mano mediante comandos de voz. Estos comandos de voz harán que el uso de estas prótesis sea mucho más sencillo para las personas lo que no requerirá de saber mucho acerca del funcionamiento de estos mismos reduciendo así el porcentaje de personas que cuentan con una prótesis en México, pero no saben utilizarla adecuadamente.

Materiales

El filamento PLA es muy usado por que sus propiedades le permiten ser un importante componente estructural en distintas aplicaciones, es biodegradable, un material fácil de utilizar para la impresión, resistente y además ligero. El filamento PLA es mayormente conocido por su facilidad de impresión, lo que le hace uno de los primeros materiales con los que los consumidores empiezan a imprimir en 3D, incluso sin tener mucha idea (Impresoras3d.com, 2023).

Por otro lado, el nylon reforzado con fibra de carbono ofrece ventajas como una alta resistencia y durabilidad. Se utiliza principalmente para proporcionar una mayor resistencia mecánica.

Los elásticos flexibles presentan ventajas en cuanto a su flexibilidad. Su utilidad se concentra en la simulación de articulaciones y tendones, ofreciendo aplicaciones prácticas en campos como la ingeniería biomecánica.

Por su parte, el filamento conductor destaca por su capacidad de conducción eléctrica, lo que lo hace ideal para la incorporación de sensores y actuadores en diversos dispositivos y sistemas.

Los tornillos y tuercas estándar son esenciales para el ensamblaje de componentes impresos en la fabricación de estructuras y dispositivos.

Los micro servomotores se caracterizan por su diseño compacto y liviano, siendo utilizados como actuadores para el movimiento de las articulaciones en distintas aplicaciones, desde proyectos de robótica hasta dispositivos médicos.

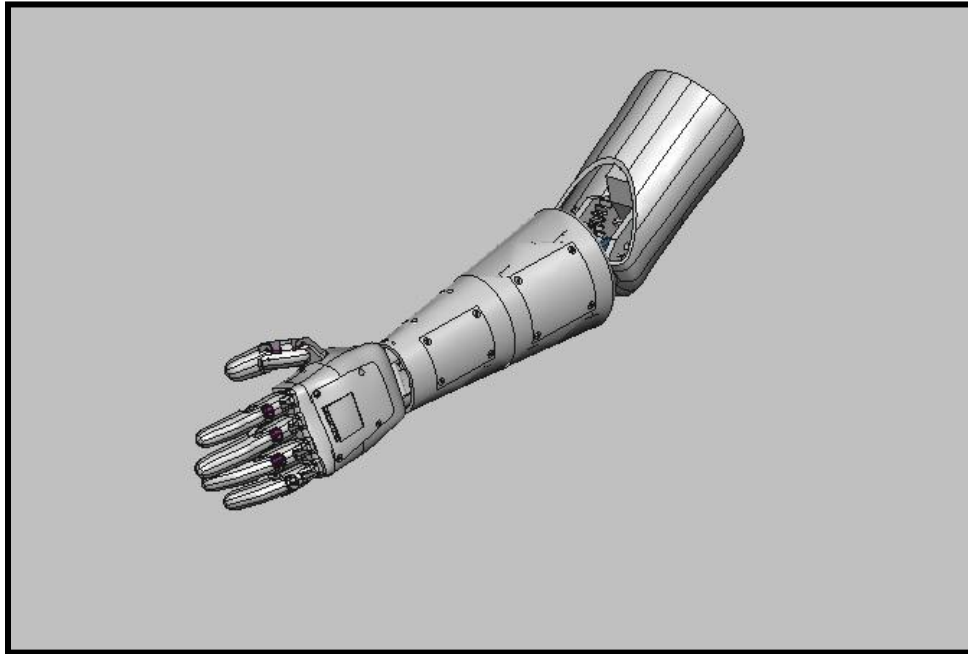
Finalmente, el Arduino se distingue por su uso sencillo y compacto, siendo útil para la programación del control a voz en una amplia gama de proyectos y aplicaciones tecnológicas.

Tabla de precios		
Servomotores (5)	Arduino (1)	Filamento PLA
\$625	\$219	\$399

Total= \$1243

Métodos

Para el diseño 3D se utilizó un software de diseño a computadora para crear y diseñar modelos en tercera dimensión de cada componente de la mano robótica.



Los escáneres 3D permiten digitalizar las piezas y transformarlas así en un archivo informático que podemos después adaptar a la peculiaridad de la persona. Además, gracias a la impresión 3D es posible fabricar tanto piezas sueltas de fácil montaje como piezas finales. (Imprimakers, 2021)

Selección de materiales:

Selección cuidadosa de materiales teniendo en cuenta las propiedades necesarias para cada parte de la mano, considerando distintos factores que hacen que los materiales sean muy específicos como la resistencia, flexibilidad y conductividad eléctrica.

Impresión 3D:

Uso de una impresora 3D para fabricar los componentes diseñados previamente en el software a computadora, cuidadosamente capa por capa, utilizando los diferentes filamentos elegidos.

Ensamblaje:

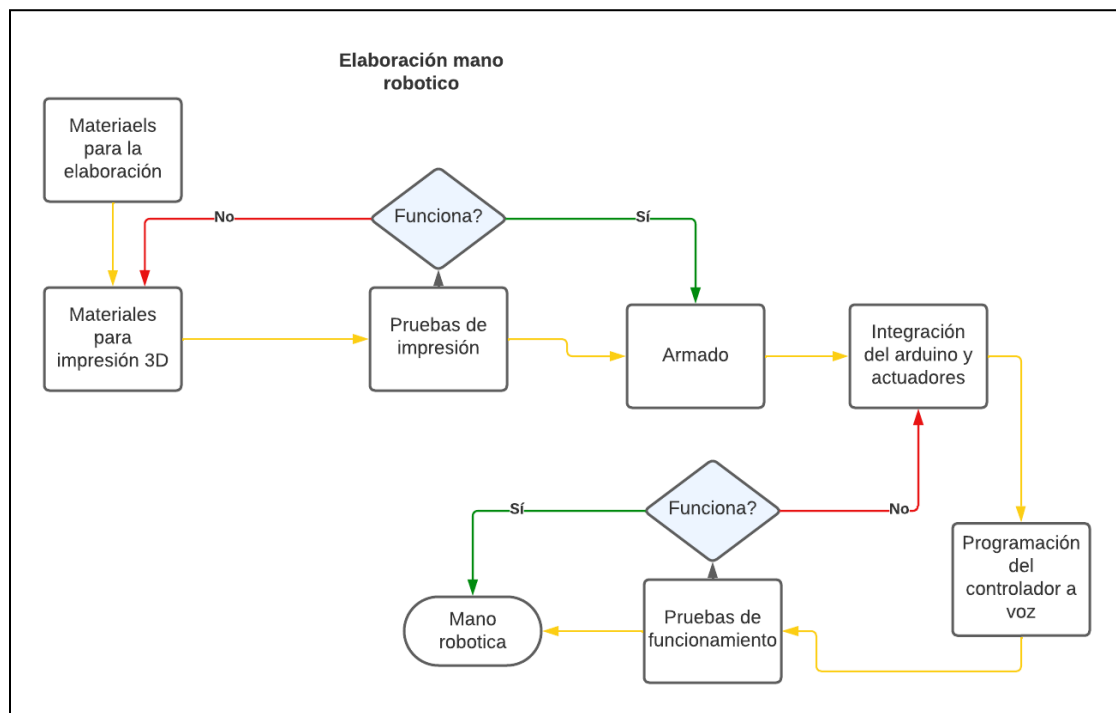
Montaje de los componentes 3D previamente impresos con la ayuda de tornillos y tuercas, esto para asegurar una correcta fijación de los componentes.

Integración de sensores y actuadores:

Uso de sensores de flexión para detectar movimiento en los dedos, e implementación de micro servomotores para regular las articulaciones.

Pruebas y ajustes:

Evaluación del prototipo en distintos escenarios y situaciones probando su correcta función, de lo contrario, detectar los posibles problemas y valorar posibles soluciones.



Resultados

Los resultados obtenidos a lo largo de este proyecto se permito tener una visión más clara de las necesidades básicas que pueden llegar a tener personas que sufren de alguna malformación congénita o hayan perdido alguna parte fundamental de su cuerpo que les daba esa autonomía.

Se Dividieron los resultados en dos partes, la primera parte es la simulación del circuito funcional, mientras que la segunda desarrolla el proceso por el cual se pasó al estar trabajando con los comandos de voz.

A través de la aplicación de tinkercad, se logró crear una simulación parcialmente completa en la que es posible observar la reacción de un servomotor a una señal dada por un teclado, en donde se puede ver como el servomotor del dedo anular se mueve al momento de presionar el numero 5. (Figura 1)

Se pudo concluir al momento de iniciar la simulación por tinkercad, acerca de cómo el funcionamiento de los servomotores para poder simular los ligamentos añadiendo los elásticos flexibles y permitirnos doblar los dedos fue un éxito. Posteriormente se siguió experimentando con las diferentes posibilidades acerca del diseño final de nuestra prótesis.

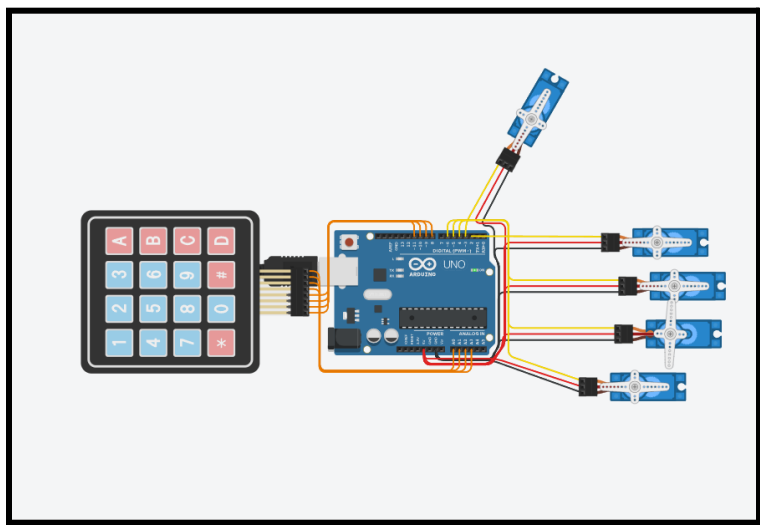


Figura 1. Simulación en tinkercad

La intención de estar realizando simulaciones es para poder ir visualizando cómo sería posible el desarrollo de un prototipo funcional, al mismo tiempo que se estuvo trabajando con esta misma, obtuvimos finalmente una simulación en donde es posible observar 12 movimientos de mano diferentes. (Tabla 1)

Botón	Función	Botón	Función
-------	---------	-------	---------

1	Flexión pulgar	7	Flexión anular
2	Extensión pulgar	8	Extensión anular
3	Flexión índice	9	Flexión meñique
4	Extensión índice	0	Extensión meñique
5	Flexión medio	A	Apretar
6	Extensión medio	B	Soltar

Tabla 1. Funciones de la simulación

Tras el éxito de estas pruebas, se continuó con la segunda parte de nuestros resultados. Estas pruebas tienen el propósito de desarrollar un código capaz de realizar acciones mecánicas a través de comandos de voz, por lo que se trabajó con visual studio, permitiéndonos combinar el uso del lenguaje de programación de Python.

El código presentado en la simulación de tinkercad únicamente mueve los servomotores de manera manual, mediante los botones del teclado por lo que tuvimos que implementar un código utilizando las librerías de reconocimiento de voz como pytsx3.

Se logró programar un código que es capaz de recibir la entrada analógica de audio y transformarla en un texto digital que son capaces de utilizar con Arduino para mover su brazo a través de comandos de voz.

El código recibe desde un micrófono una entrada de audio que es enviada a los servicios del traductor de Google que es transformado a un texto legible, luego es necesario mandar la palabra que se reconoció a nuestro Arduino que sustituirá el teclado, así el Arduino reconocerá esas palabras para activar los servomotores de manera grupal o individual.

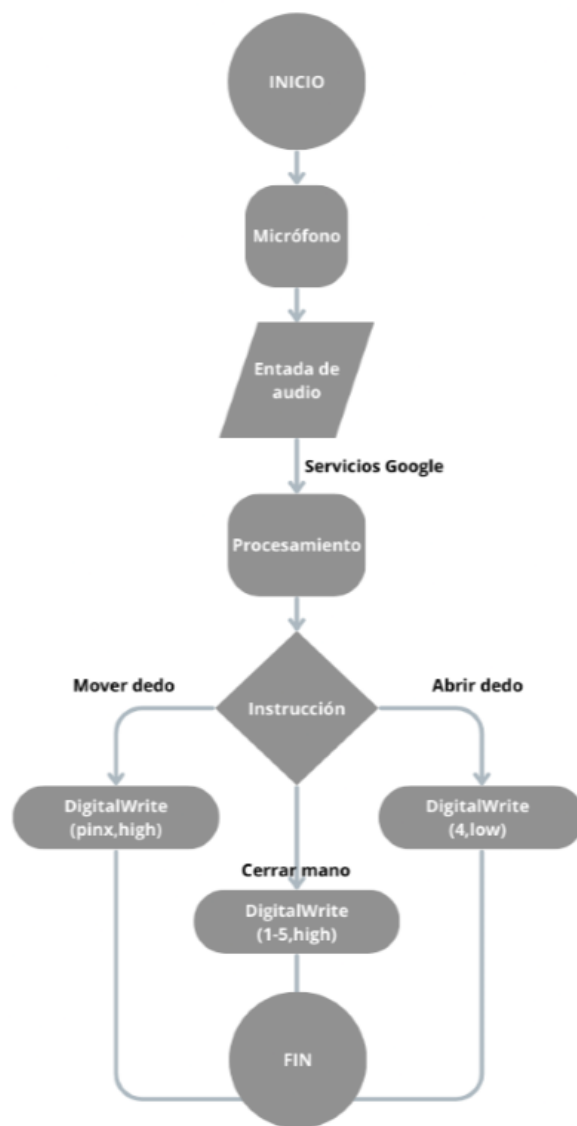


Figura 3. Diagrama de flujo del funcionamiento del código

Conclusión

En conclusión, este trabajo que se estuvo desarrollando a lo largo de estos meses, permitió comparar las diferencias claras que hay entre los distintos tipos de prótesis y cómo los precios y su limitada funcionalidad afectan a las personas que necesitan usarlas para poder desempeñarse de manera efectiva en la sociedad o únicamente como una ayuda en el día a día.

Los principales problemas que las prótesis modernas enfrentan son los precios muy elevados mientras más tecnología tenga, su funcionalidad limitada y su comodidad por la durabilidad.

Una opción más barata es desarrollar esta prótesis mediante la impresión 3D, ya que gracias a su versatilidad y precio más bajo es posible que más personas puedan comprarse esta herramienta.

Los comandos de voz permiten que el usuario tenga más libertad a la hora de utilizar la prótesis, las simulaciones realizadas nos motivaron a explorar diversas opciones para el diseño definitivo de la prótesis. En donde los servomotores y Arduino nos demostraron la capacidad de los servomotores para emular los movimientos de los ligamentos. Esto abre nuevas perspectivas para mejorar en el futuro el diseño de prótesis más accesibles y funcionales.

En resumen, este proyecto ha brindado valiosos conocimientos y perspectivas, sentando las bases para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de las prótesis y dispositivos de asistencia, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de aquellos que enfrentan desafíos físicos significativos.

- 1.- Comunicado de prensa núm. 713/21 3 de diciembre de 2021 página 1/5 estadísticas a propósito del día internacional de las personas con discapacidad (Datos nacionales. (s/f). Org.mx. Recuperado el 13 de septiembre de 2023, de https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/EAP_PersDiscap21.pdf
- 2.- Torres, B. (2022, 16 diciembre). 75 amputaciones diarias en México - UNAM Global. UNAM Global - De la comunidad para la comunidad. https://unamglobal.unam.mx/global_revista/75-amputaciones-diarias-en-mexico/
- 3.- Imprimakers. (2021, 20 septiembre). Ventajas de la impresión 3D de prótesis - Imprimakers. Imprimakers. <https://imprimakers.com/es/ventajas-de-la-impresion-3d-de-protesis/>
- 4.- Stokosa, J. J. (2023, 15 noviembre). Opciones para las prótesis de los miembros. Manual MSD versión para profesionales. <https://www.msmanuals.com/es-ar/professional/temas-especiales/miembro-prot%C3%A9sico/opciones-para-las-pr%C3%B3tesis-de-los-miembros>
- 5.- Contreras, Lucia. (2022, 7 abril). Las prótesis impresas en 3D, ayudar gracias a las nuevas tecnologías. 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/protesis-impresas-en-3d-100420182/>
- 6.- Seijas, M. (2022, 10 abril). El futuro de las prótesis ya está aquí, y es gracias a las impresoras 3D.UrbanTecno. <https://www.mundodeportivo.com/urbantecno/ciencia/el-futuro-de-las-protesis-ya-esta-aqui-y-es-gracias-a-las-impresoras-3d>
- 7.- Development, W. (2020, 22 julio). Prótesis impresas en 3D | donde nos encontramos el día de hoy Amputee Coalition. Amputee Coalition. <https://www.amputee-coalition.org/spanish-3d-printed-prosthetics/>
- 8.- Brito, J. L., Quinde, M. X., Cusco, D., & Calle, J. I. (2013). Estudio del estado del arte de las prótesis de mano. Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología, (9),57-64. [fecha de Consulta 1 de septiembre De 2023].ISSN:1390-650X.Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=505554814008>
- 9.- Arana, K. C., & Albán, O. A. V. (2016). Prótesis de mano virtual movida por señales encefalográficas – EEG. Prospectiva, 14(2), 99. <https://doi.org/10.15665/rp.v14i2.664>
- 10.- Lemus, L. E. (2022, febrero 7). Prótesis de mano: ¿Qué son y cómo funcionan? Mi Protesis de Pierna; Mi Protesis De Pierna.mx. <https://miprotesisdepierna.mx/blog/protesis-de-mano/>
- 11.- Gutiérrez, J., Calderón, I., Servín, R., Moreno, H., Barrera, M. A., & Adán, R. G. (2018). De Una Mano Mecánica Impresa En 3d A Una Prótesis Mioeléctrica A Bajo Costo (Parte I: Interfaz Emg). *Revista Colombiana De Tecnologías De Avanzada (Rcta)*, 2(30). <https://doi.org/10.24054/16927257.V30.N30.2017.2746>

- 12.-Kuiken TA, Dumanian GA, Lipschutz RD, Miller LA, Stubblefield KA. The use of targeted muscle reinnervation for improved myoelectric prosthesis control in a bilateral shoulder disarticulation amputee. *Prosthet Orthot Int.* 2004; 28(3): 245-53. <https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-0003-8-16>
- 13.- Delgado Sandra. Gaceta UNAM Unidad de Investigación en Órtesis y Prótesis, única en México y AL. <https://www.gaceta.unam.mx/unidad-de-investigacion-en-ortesis-y-protesis-unica-en-mexico-y-al/>
- 14.-Manuel, J., González, D., Murillo, P. R., Flores, I., & Mendoza, A. J. (s/f). *ROBÓTICA Y PRÓTESIS INTELIGENTES*. Unam.mx. Recuperado el 15 de diciembre de 2023, de https://www.revista.unam.mx/vol.6/num1/art01/art01_enero.pdf
- 15.-Impresoras3d.com. (2023, 28 abril). *Guía de uso: Filamento PLA para impresora 3D*. impresoras3d.com. <https://www.impresoras3d.com/filamento-pla-consejos-caracteristicas-y-mucho-mas/>
- 16.-García, S. D., & Espinoza, V. M. J. (2014). Avances en prótesis: una mirada al presente y al futuro. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 25(2), 281-285. <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-medica-clinica-las-condes-202-articulo-avances-protesis-una-mirada-al-S0716864014700392>