



**Universidad modelo
“Para sí, Para todos”
Escuela de ingeniería**

ManoHáptica: Control con Guante y Servos

Alumnos :

Sanchez Ramirez Mharya Jose.
Ortiz Gutierrez Ivanna.
Reyes Cardenas Paola Alidhy.
Basora Herrera Omar Abraham.
Zuñiga Capistran Miguel Angel.

Maestro:

Ing. Ariana Marilyn Sanchez Mutul

Ingeniería Biomédica

Materia:

Proyectos IV

Mérida, Yucatán; 10 de junio de 2024

Introducción

En este proyecto se realizará una mano robótica controlada por arduino, la cual requiere conocimientos de biomecánica, codificación y sensores para su construcción. Es necesario combinar la potencia de la electrónica moderna con la versatilidad de la programación para crear una mano artificial capaz de realizar una amplia gama de movimientos y tareas. Algunos de los conceptos clave detrás de esta investigación es la tecnología innovadora, desde sus orígenes hasta su aplicación práctica en el mundo real.

El propósito es diseñar y construir un prototipo utilizando componentes electrónicos básicos, como servomotores y sensores, junto con la plataforma de desarrollo arduino. Con el objetivo de lograr una funcionalidad y una estética lo más cercana a una mano real, se tendrá en cuenta la anatomía y los movimientos naturales de la mano humana. Se explorarán técnicas de diseño mecánico y electrónico para implementar la articulación, la actuación de los dedos y la muñeca, así como algoritmos de control para gestionar los movimientos y las acciones de la mano robótica. Además, se examinarán aplicaciones potenciales en campos como la asistencia médica, la industria manufacturera y la robótica educativa.

Hoy en día existe una gran variedad de prótesis de manos robóticas que ayudan a gente que cumple los requisitos para hacer uso de esta herramienta. Al ser un instrumento que se presta a cambios e innovaciones frecuentemente, el mercado se ve afectado por constantes adaptaciones dependiendo de las necesidades que presente el usuario, “**el auge de la robótica es algo inevitable y que va en aumento, buscando nuevas tecnologías y materiales para ser usadas en ella, logrando eficacia y control de los procesos a desarrollar, un entorno de trabajo más flexible y a un menor coste de producción, como también buscando la forma de que éste intervenga en todas las áreas posibles en la que sea requerida**” (Mendoza, H. y Perez, I., 2008.) por lo que se encuentran diferentes modelos y con esto, diferentes marcas de desarrolladores.

ANTECEDENTE 1- IRON HAND.

NASA (2011)

El objetivo de este proyecto fue brindarles a los trabajadores de General Motors y astronautas de la NASA, fuerza para reducir el esfuerzo necesario al levantar objetos y hacer tareas en el espacio. “**El equipo entendió que un guante podría proporcionar fuerza de agarre para resolver ambos problemas. Entonces, una vez que un modelo R2 estuvo seguro a bordo de la estación espacial, el equipo de la NASA y GM comenzaron a construir guantes robóticos basados en el hardware de las manos y antebrazos del robot.**” (Rogers J. 2022) Reduciendo así la fatiga y previniendo lesiones por esfuerzo a largo plazo.

ANTECEDENTE 2. Primeras Manos Mecánicas

Conde Beaufort (Siglo XIX)

Después del aparecimiento de las manos autopropulsadas, el conde Beaufort da a conocer un brazo con flexión del codo activado al presionar una palanca contra el tórax, aprovechando también el hombro contralateral como fuente de energía para los movimientos activos del codo y la mano.

ANTECEDENTE 3. Michelangelo Hand.

Ottobock (2010)

Su lanzamiento en 2010 y sus características avanzadas de control mioeléctrico, múltiples modos de agarre, y diseño estético establecieron un estándar en la tecnología de prótesis de manos que influenció y allanó el camino para el desarrollo de prótesis aún más sofisticadas, como la Michelangelo Hand. **“Con sus diferentes posibilidades de agarre, el sistema protésico AxonBus con la mano Michelangelo le devuelve muchas funciones de la mano natural. Gracias a su diseño especialmente natural, se integra con armonía en la imagen natural del cuerpo.”** (Ottobock. 2010). Dándole así a los usuarios una nueva experiencia en las prótesis de mano.

ANTECEDENTE 4. Dexterous Hand

MIT's Utah/MIT (1980):

El objetivo era proponer un diseño de mano que fuera de bajo costo, robusto contra colisiones y que pudiera soportar impactos bastante grandes y fuerzas sin ningún daño o deterioro funcional. **“queremos una mano con características humanas y no sólo apariencias humanas.”** (Miloradovic, B. Vujovic, M, y Popic, S. 2015). Por esto mismo se buscó imitar las capacidades del arquetipo humano y mantener sus propiedades funcionales.

ANTECEDENTE 5. Stanford Hand

Stanford University ():

La mano robótica de Stanford fue uno de los primeros intentos significativos de crear una mano robótica con múltiples grados de libertad y la capacidad de realizar tareas complejas que imitarán los movimientos y la destreza de una mano humana, especialmente al momento de agarrar objetos sensibles como por ejemplo, un huevo. **“Verás manos robóticas haciendo un agarre de poder y un agarre de precisión y luego implican que pueden hacer todo lo**

demás. Lo que queríamos abordar es cómo crear manipuladores que sean diestros y fuertes al mismo tiempo.” (Ruotolo, W. 2021)

Problemática

Una mano robótica controlada por medio de un Arduino puede resolver problemas de manipulación precisa y controlada de objetos. Ya que cuando una persona pierde cierta extremidad; en este caso el brazo específicamente, la vida de dicha persona comienza a experimentar ciertas limitaciones.

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

"En el año 2015 registramos un promedio de 34 accidentes de extremidad superior por día y esto representó en total más de 12,000 casos al cierre de año", indicó el SCTR. (Gestión, 2017). Después de la pérdida del brazo, la mayoría de personas deben valerse por un brazo artificial el cual puede ser un garfio o mano, una muñeca artificial y, en caso de amputación por encima del codo, un codo artificial. El movimiento del garfio o mano es controlado por el movimiento de los músculos del hombro.

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

Aunque un garfio puede ser muy funcional, la mayoría de los afectados prefieren que la prótesis tenga la apariencia de una mano.

Objetivos

El objetivo principal es diseñar y prototipar una mano robótica capaz de realizar movimientos precisos y funcionales mediante la manipulación de un guante controlado por una persona.

Interpretar el movimiento de una mano, mediante un guante con sensores de movimiento, durante un lapso de 4 meses.

Asegurar que los servos puedan posicionar los dedos de la mano de manera correcta dependiendo el movimiento en el guante.

Integrar sensores flexibles en el guante para proporcionar retroalimentación táctil precisa, permitiendo que la mano robótica detecte la presión.

ManoHáptica: Control con Guante y Servos

Calibrar los sensores para garantizar una detección precisa de la flexión de los dedos y la posición de la mano.

Justificación

Es de gran importancia, entender que la implementación de nuevas tecnologías es primordial para un desarrollo de prototipos más aptos para este problema que enfrentan las personas con esta discapacidad en específico. Es por esto, que se busca solventar las necesidades y aumentar el índice de comodidad, facilidad y adaptación al momento de utilizar alguna prótesis de mano; mediante un guante y servos.

Las tecnologías que se van a utilizar son los sensores flex, arduino y servomotores. Ya que los sensores flex son capaces de detectar la flexión de los dedos del guante. Estos cambian su resistencia cuando se doblan, proporcionando una señal que puede ser interpretada como la posición o el grado de flexión de cada dedo, al capturar el movimiento de los dedos, estos permiten que la mano robótica imite los movimientos de la mano, facilitando un control intuitivo y natural. El arduino actúa como el cerebro del sistema, puesto que recibe las señales de los sensores flex, las procesa y las convierte en comandos que pueden ser entendidos por los servomotores. A través de la programación, el arduino coordina las señales de los sensores y las acciones de los servomotores, asegurando que la mano robótica se mueva de manera precisa y coherente con los movimientos del guante. Los servomotores son responsables del movimiento de las articulaciones de la mano robótica. Estos son capaces de moverse a posiciones específicas de manera controlada, lo cual es esencial para replicar los movimientos, proveen la fuerza necesaria para mover los dedos de la mano robótica y permiten un control preciso de la velocidad y la posición de cada dedo.

Se espera que este prototipo, ayude a mejorar la adaptación que tienen las personas con esta discapacidad, facilitando así su día a día y el uso de esta nueva herramienta. Así como la comodidad de que estéticamente a diferencia de un garfio este pueda verse de una manera más realista, dejando así más seguridad en los usuarios

Se estima que los futuros usuarios de esta nueva herramienta, puedan tener una vida más tranquila y útil. Haciendo así, de su vida diaria algo más fácil y que puedan tener una experiencia acogedora al momento de hacer sus labores del día a día.

Hipótesis

- La integración de sensores flex en el guante permitirá a la mano robótica impresa en 3D imitar con mayor precisión con apoyo de los servomotores y un arduino los movimientos naturales de una mano humana.
- El guante que controla la mano robótica simula el movimiento de los músculos en una mano.
- Con ayuda de un guante con sensores de movimiento, se busca plasmar estos gestos en una mano impresa en 3d con servomotores controlada por un arduino.

Metodología

La mano robótica, una innovación emblemática de la ingeniería biomédica, representa un campo en constante evolución que busca imitar la complejidad y versatilidad de la mano humana. En este contexto, se propone una metodología para el diseño y desarrollo de una mano robótica que es manipulada con un guante y con ayuda de servomotores, centrada en la interacción con su entorno y la optimización de sus funcionalidades.

Investigación y Diseño: Se lleva a cabo un análisis de las necesidades y requisitos del proyecto, junto con un estudio detallado de la biomecánica de la mano humana. Con base en esta investigación, se desarrolla un diseño 3D en autodesk fusion preliminar de la mano robótica y el guante.

Prototipado: Se construye un prototipo inicial de la mano robótica mediante una impresión 3D con filamentos de PLA. Teniendo las partes impresas se hace el ensamblaje del mismo, posteriormente se colocan los servomotores, los cuales van conectados al arduino, así como también los dedos están unidos mediante un hilo transparente.

Pruebas: Se realizaron pruebas de maniobrabilidad para verificar su capacidad para realizar los movimientos. Al realizar las pruebas de maniobrabilidad se puede verificar si la mano es capaz de moverse con la exactitud requerida para realizar estas tareas de manera efectiva. esto garantiza que la mano robótica pueda cumplir con su propósito de manera confiable y eficiente para la práctica.

Optimización del Diseño: A partir de los resultados de las pruebas, se realizan ajustes y mejoras en el diseño de la mano robótica para optimizar su rendimiento y eficiencia.

Integración de tecnologías: Se utilizan materiales los cuales son: 5 servomotores SG90 marca steren, 5 sensores flex marca ZD10, 1 arduino mega marca steren, 1 lcd marca steren, 1 guante de autozone, 1 placa de cobre perforada para circuitos marca steren, 5 resistencia de 10 kohms marca steren, los cuales sirven para el funcionamiento de la mano robótica, asegurando una integración adecuada y un rendimiento óptimo.

Desarrollo de Software: Se desarrolla un código en arduino que permite a la mano realizar diferentes movimientos con ayuda del guante dando precisión y coordinación, utilizando el feedback proporcionado por los sensores.

Consideraciones Metodológicas: La metodología adoptada combina enfoques cuantitativos y cualitativos para evaluar el rendimiento de la mano robótica, considerando parámetros como la precisión de los movimientos, la fuerza de agarre y la adaptabilidad a diferentes situaciones.

RESULTADOS

Diseño para impresión 3D

Para poder realizar nuestro diseño como primer paso en la aplicación de GrabCAD se buscaron diseños de dedos de una mano, ya que estos son un poco difíciles de diseñar, posteriormente ya con los 5 dedos de la mano se empezó a realizar lo que sería la palma de la mano y el antebrazo, el cual tiene una parte hueca en donde se colocarán los servos.

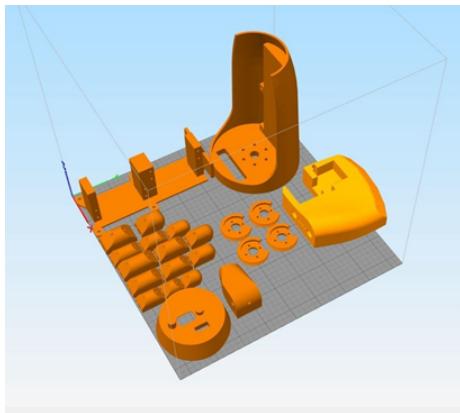


Imagen 1. Diseño para impresión 3D

Código de los sensores flex sin servos

Para poder realizar los movimientos y calibrar los sensores se hizo un código base, esto para poder poner los valores de cada una de las manos de los integrantes y así poder reconocer los ángulos y el tamaño de los dedos. En dicho código se utilizó un display LCD y los 5 sensores analógicos para detectar las posiciones específicas de los dedos y con esto en la pantalla LCD poder imprimir un mensaje.

Posteriormente se declaran los pines analógicos del arduino para leer los valores de los sensores y configuración del LCD para las columnas y filas, para las letras. Una vez puesto esto se pone un void loop donde se declara la impresión de los dedos y los nombres que tienen que tener cada uno.

El código verifica las diferentes combinaciones de valores de los sensores y muestra mensajes en el LCD. Para la parte de reconocimiento de movimientos, dependiendo de la posición de los dedos se implementó una condicional “If-else”. En estas condiciones se fueron declarando los valores numéricos de la previa calibración haciendo un proceso matemático de “Mayor que” o “Menor que” y así dependiendo de las posiciones específicas de cada dedo se imprime el gesto que se está haciendo. En este caso, agregamos 7 gestos. Los cuales son: LIKE, AMOR&PAZ, APUNTANDO, PUNO CERRADO, MANO ABIERTA y ROCK&ROLL. El último, fue un else, donde se declaró que si ninguna de las condiciones se cumple entonces se imprime en la pantalla un mensaje que dice: “No se reconoció ningún gesto, vuelve a intentarlo.”

ManoHáptica: Control con Guante y Servos

Para la parte de la impresión en la pantalla LCD, se implementaron 7 clases. Las cuales dependiendo de cual se cumple, procede a imprimirse el texto que le pertenece.

Algo interesante a mencionar, es que este código incluye una calibración previamente desarrollada para poder obtener los valores promedios del movimiento de los sensores flex en diferentes usuarios. Es decir, el guante puede ser utilizado por cualquier persona y será totalmente funcional. Para esta calibración, se organizaron los datos en una hoja de cálculo del software Excel. Donde cada integrante del equipo se puso el guante con los sensores y fuimos midiendo los rangos máximos y mínimos, es decir medimos los rangos con la mano abierta y lo mismo con la mano cerrada. Esto se aplicó 5 veces y después se promedio el rango máximo y el rango mínimo. Hicimos pruebas funcionales con el guante y llegamos a obtener los valores indicados para que este sea funcional en cualquier usuario.

Código de los sensores flex con servos

El código final, viene implementado con los 5 servomotores. Donde cada servomotor es perteneciente a cada dedo. En general, el código no cambió nada. Se aplicó el mismo código mencionado en el apartado de arriba. Es decir, el código sin servos, como bien lo dice su nombre, es el código principal solamente que no tiene la declaración para los movimientos de los servomotores. En este caso, se declararon variables attach para los servomotores. Después se clasificaron en posiciones. Para cada posición se declararon rangos máximos y rangos mínimos. Donde dependiendo si el dedo está cerrado o abierto el servomotor procede a moverse ciertos grados para hacer la simulación de los movimientos previamente mencionados. Esto se aplicó para cada dedo y se declararon como Pos1 a Pos5.

En el apartado de Anexos, se pueden observar los dos códigos.

Guante con sensores flex y circuito

El guante es uno de uso convencional, los servos están bordados a velcro para así poder tener más precisión al momento de mover la mano para que así al momento de cargar el código pueda realizar los momentos adecuados a la mano. El circuito se compone por los 5 sensores flex que van soldados a una placa perforada que utiliza un divisor de voltaje para obtener un cambio de resistencia que posteriormente se utilizará para controlar los servomotores.

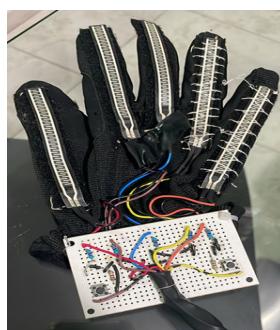


Imagen 2. Guante con servos y placa con circuito

Impresión de mano 3D

La impresión se llevó alrededor de 3 días para lograr el resultado final, los dedos de la mano llevan un hueco para que por allí se pueda pasar un hilo transparente el cual irán hasta los servos para poder hacer el movimiento de la mano, la mano se conecta a 5 servos los cuales ayudarán al movimiento de los dedos.



Imagen 3. Impresión de mano con servos



Imagen 4. Componentes internos de la mano

Discusión

La creación de este tipo de proyectos representa un avance significativo en el campo de la robótica e ingeniería biomédica. Este tipo de aplicación tiene implicaciones interesantes en campos como la robótica, la medicina, la interacción hombre-máquina y la accesibilidad. El código actual está diseñado para reconocer gestos específicos basados en valores exactos de los sensores. Esta precisión es tanto una fortaleza como una debilidad. Tomando como fortaleza que garantiza el mensaje en el LCD y muestra cuando se detectan gestos muy específicos, evitando falsos, una debilidad es que la exactitud puede ser difícil conseguirla por variabilidad

ManoHáptica: Control con Guante y Servos

de los sensores, tomando en cuenta que también el ruido eléctrico y los cambios de temperatura pueden influir.

Con el funcionamiento físico los sensores flex son dispositivos que cambian su resistencia eléctrica en función a la cantidad de flexión. Y los servomotores son motores de precisión controlados mediante señales PWM. Estos se utilizan para mover las articulaciones de la mano robótica, proporcionando control preciso sobre la posición y la fuerza aplicada. Una de las aplicaciones más importantes es el desarrollo de prótesis de mano para personas con amputaciones. Al igual que en la rehabilitación de lesiones en la mano, una mano robótica puede ayudar a los pacientes a realizar ejercicios específicos.

Uno de los desafíos técnicos fue en la calibración y precisión de los sensores ya que pueden variar su salida debido a la temperatura y el uso prolongado. Al igual que asegurar que los movimientos de los servomotores sean suaves y sincronizados con la lectura de los sensores flex. Minimizar el retraso entre la detección del movimiento por los sensores flex y la respuesta de los servomotores es esencial para un movimiento fluido.

El desarrollo de manos robóticas controladas por sensores flex y servomotores está en constante evolución. Con avances en materiales, electrónica, y algoritmos de control, estas manos robóticas pueden volverse más precisas, fiables y accesibles.

Conclusión

Para poder llevar a cabo el proyecto, se investigó y se puso a prueba la hipótesis que se tenía en cuenta. Con ello pusimos a prueba los movimientos de la mano y los componentes que se necesitaban, se pudo hacer este proceso pero con mucha dedicación, para esto se simuló en el programa de tinkerCAD, dando un resultado exitoso, con esto se pudo realizar en físico para continuar con las pruebas. Se tuvo más problema con los sensores flex que con los otros componentes, incluso más que la conexión física, ya que se dañaron las resistencias de esta misma, esto fue un problema ya que el costo de unos nuevos, implica una cantidad grande de dinero, ya que cada sensor cuesta alrededor de \$200 pesos, esto con un envío de una semana. Posterior a una calibración para cada sensor, tanto así que volver a costurar los guantes y ver de qué manera se puede doblar para que lo reconozca la mano con el arduino. Pudimos aprender sobre la elaboración de diseños en 3D e impresión, se indaga sobre el funcionamiento de los servos motores y los sensores flex, que estos nos ayudaron a poder plasmar el movimiento en la mano impresa en 3D.

Tuvimos un buen desarrollo de proyecto y como desde un principio sabíamos los sensores flex, se dañan es decir las resistencias de dañan de tanto uso. Se solucionó comprando unos nuevos y calibrando los de nuevo. Uno de los aspectos a mejorar fue la compra de los componentes ya que no se encuentran en físico y tuvimos que pedir en línea con un tiempo de entrega tardada. Como observaciones finales, este proyecto podría ser más innovador, poniendo a prueba otro tipo de lenguaje de programación donde te permita hacer más cosas o que ya está estimado con movimientos sin necesidad de un guante.

ManoHáptica: Control con Guante y Servos

La mano robótica controlada por sensores flex y servomotores es una tecnología prometedora con una amplia gama de aplicaciones potenciales, desde prótesis médicas hasta la robótica avanzada.

Referencias:

- D. M. Simpson. (1974). "The choice of control system for the multimovement prosthesis: Extended physiological proprioception (EPP)." In *The Control of Upper-Extremity Prostheses and Orthoses*. Charles C Thomas.
- Muñoz-Lozano, E. J., & García-Navas, F. (2018). "Amputaciones no traumáticas en el Hospital General de México". Cirugía y Cirujanos, 86(4), 359-365. <https://doi.org/10.24875/ciru.18000058>
- Lozano-Silva, H. J., & Espinosa-Rodríguez, J. A. (2018). "Diseño y fabricación de una prótesis de mano y antebrazo". Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica, 39(2), 151-157.
- Jacobsen, S. C., Iversen, E. K., Knutti, D. F., Johnson, R. T., & Biggers, K. B. (1986). *Design of the Utah/MIT dextrous hand*. Proceedings of the 1986 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE.
- Cutkosky, M. R. (1989). "On grasp choice, grasp models, and the design of hands for manufacturing tasks." *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 5(3), 269-279.
- Hochberg, L. R., Bacher, D., Jarosiewicz, B., Masse, N. Y., Simeral, J. D., Vogel, J., ... & Donoghue, J. P. (2012). "Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm." *Nature*, 485(7398), 372-375.
- *A robotic hand with a gecko-inspired grip*. (s. f.). Stanford University. <https://news.stanford.edu/stories/2021/12/robotic-hand-gecko-inspired-grip>
- *NASA's robotic glove finds commercial handhold | NASA spinoff*. (s. f.-b). <https://spinoff.nasa.gov/robotic-glove-finds-commercial-handhold>
- Miloradovic, Branko & Çürüklü, Baran & Vujovic, Milica & Popić, Svetmir & Rodić, Aleksandar. (2015). Low-cost anthropomorphic robot hand with elastic joints – early results.
- *art01-1a*. (s. f.). <https://www.revista.unam.mx/vol.6/num1/art01/art01-1a.htm>
- *El técnico puede usar la plantilla para determinar la orientación y la longitud de la prótesis Michelangelo cuando se toman las medidas. | La mano Michelangelo le devuelve muchas libertades*. (s. f.). Ottobock. <https://www.ottobock.com/es-mx/product/8E500>

ManoHáptica: Control con Guante y Servos