

NOZOMI: Prótesis Electromecánica de Mano Controlada por Voz

LUIS GERARDO VILCHIS, FEDERICO AGUAYO RÍOS, RAFAEL MARTÍNEZ PELÁEZ

Resumen—En el mundo hay más de once millones de personas que requieren una prótesis de miembro superior distal. En consecuencia, se requiere el desarrollo de prótesis que permita a las personas con amputaciones recuperar su calidad de vida. Sin embargo, el desarrollo y fabricación de una prótesis es costoso y dificulta su adquisición. Como resultado, en el año 2013, se propuso la impresión de prótesis en 3D haciendo más accesible su adquisición debido a la reducción de costos. A partir de los proyectos presentados en el año 2013, se presenta una prótesis de mano impresa en 3D y con mejoras en su diseño para reducir costos. Las pruebas de autonomía de la mano demuestran que el tiempo máximo de uso intenso es de 46 minutos. Los resultados de detección de comandos por voz corroboran la ventaja de personalizar su implementación y se evitan palabras con pronunciación similar para evitar fallas. Las pruebas de movilidad y respuesta a los comandos de la mano han corroborado su movilidad y fuerza.

I. INTRODUCCIÓN

En México, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el número de personas amputadas se acerca a 780 mil, y en base a información proporcionada por la Academia Nacional de Cirugía, el número de personas amputadas diariamente es de 75 [15]. En este sentido, la encuesta nacional de salud y nutrición 2012 reporta que el número de amputaciones relacionadas con complicaciones con pacientes diabéticos se incrementó 1%, en relación con la encuesta del 2006. De acuerdo al Centro de Control y Prevención de Enfermedades o *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC), de Estados Unidos, las razones por las que se recurre a las amputaciones incluyen: enfermedades, accidentes traumáticos, infecciones, tumores, daños a los nervios, y anomalías congénitas.

Las causas más frecuentes de amputaciones de extremidades superiores son: traumatismos y cáncer, seguidos de complicaciones referentes a enfermedades en el brazo derecho provocadas por accidentes laborales [1]. La deficiencia congénita de extremidades superiores tiene una tasa de incidencia de aproximadamente 4 personas por 10,000 nacimientos [7]. En el documento *Prosthetics in Developing Countries* [14] se hace mención acerca del porcentaje de personas que pierden una parte del miembro superior distal

debido a las minas terrestres en países como Camboya, Irán y Afganistán, ocasionado 26 mil amputaciones por año. Finalmente, se estima que más de 11 millones de personas requieren una prótesis de alguna parte del miembro superior distal.

A pesar de los grandes esfuerzos realizados por científicos, médicos y tecnólogos para desarrollar prótesis de miembro superior distal, los precios de las prótesis continúan altos. Por mencionar un ejemplo, los costos de una prótesis de miembro inferior oscilan entre los \$31,400 MXN hasta los \$113,000 MXN [12]. Considerando que, en México, 52.1 millones de mexicanos constituyen la fuerza laboral, de los cuales, 35.9% de los trabajadores superan los tres salarios mínimos [6], se entiende lo complicado que es adquirir una prótesis. El problema de poder adquisitivo se encuentra en todos los países en vía de desarrollo [14], haciendo difícil la compra de una prótesis.

Para comprender mejor el desarrollo del presente proyecto, se debe responder a la pregunta ¿Qué es la discapacidad? Y para responder tan importante pregunta, la Organización Mundial de la Salud o *World Health Organization* en conjunto con el Grupo del Banco Mundial o *World Bank Group* realizaron el reporte global en discapacidad con la finalidad de definir políticas y programas que puedan mejorar la calidad de vida de las personas con alguna discapacidad [16]. En el reporte se hace énfasis sobre lo complejo, dinámico y multidimensional del término y sobre los diferentes tipos de discapacidades. Por lo tanto, se debe aclarar que el presente proyecto, se encuentra orientado hacia la perspectiva de discapacidad física. En este sentido, se comenta que, una discapacidad física es parte de la condición humana y cualquier persona puede, temporalmente o permanentemente, tener una discapacidad en algún punto de su vida. La situación se complica conforme avanza la edad de una persona, incrementando las dificultades en ciertas funciones.

En México, se tiene la clasificación de tipo de discapacidad proporcionada en el documento titulado “Clasificación de Tipo de Discapacidad” realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía [5]. En ese documento se definen los siguientes conceptos:

Deficiencias: se refieren al órgano o la parte del cuerpo afectado, por ejemplo lesiones del cerebro, médula espinal, extremidad u otra parte del cuerpo. Son ejemplos descritos como “ausencia de piernas”, desprendimiento de retina”, etc.

Discapacidades. Se refieren a la consecuencia de la deficiencia en la persona afectada, por ejemplo limitaciones para aprender, hablar, caminar u otra actividad. Son ejemplos: “no puede ver”, “no mueve medio cuerpo”, y otras.

LUIS GERARDO VILCHIS pertenece a la carrera de INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES de la Facultad de Tecnologías de Información. (Email: gerardo_vilchis97@hotmail.com)

El proyecto fue asesorado por los doctores FEDERICO AGUAYO RÍOS Y RAFAEL MARTÍNEZ PELÁEZ.

Los autores agradecen a los revisores anónimos que contribuyeron a mejorar la versión final del ensayo. También, se agradece al Mtro. Enrique Aguilar Vargas y autoridades de la Universidad de la Salle Bajío por el apoyo otorgado.

En este contexto aparece el término de prótesis y de acuerdo a Jack Steele, la biónica es el análisis del funcionamiento real de los sistemas vivos para comprenderlos, y así poder crear aparatos que repliquen el movimiento [2]. En este sentido, las prótesis se clasifican en [2]:

1. Prótesis mecánicas: son dispositivos cuya función es abrir y cerrar a través de un arnés que se encuentra colocado entre los hombros, parte del pecho y por el brazo, controlado por el usuario. En la mayoría de los casos, se encuentra cubierto por un guante para mejorar la apariencia estética.
2. Prótesis eléctricas: son dispositivos que utilizan motores eléctricos para realizar el movimiento de la mano, muñeca y/o codo con una batería recargable. El movimiento de la prótesis se puede realizar por medio de un servocontrol o un botón interruptor.
3. Prótesis mioeléctricas: son prótesis eléctricas controladas por medio de un poder mioeléctrico, mejorando el aspecto estético, fuerza y velocidad.

Se tienen evidencias de prótesis creadas en Italia, Alemania, Turquía, Francia, e Inglaterra, antes del siglo XIX [10]. Dichas prótesis eran rústicas y permitían el desplazamiento y/o sustitución de un miembro. A partir del siglo XIX, y como resultado de las diferentes guerras, se realizaron mejoras a las prótesis para permitir mayor movilidad, como fue la pierna Selpho [10].

Por lo anterior, se entiende que en todo el mundo se hacen esfuerzos para brindar mejor calidad de vida a las personas con alguna malformación congénita de extremidades o mutilación, y en México no ha sido la excepción.

Se han realizado diferentes proyectos relacionados con la fabricación de prótesis de miembro superior distal. Un ejemplo representativo es el trabajo de Armando Bravo Castillo quien fundó la empresa de Probionics a partir de un prototipo de brazo artificial capaz de efectuar movimientos basados en la recepción de señales mioeléctricas [8]. El resultado es una prótesis de bajo costo de producción en comparación con las prótesis de fibra de carbono u otros materiales. También, se encuentran la mano robótica antropométrica de bajo costo desarrollado en la Escuela Superior de Ingeniería, Mecánica y Eléctrico del Instituto Politécnico Nacional [3].

Si bien es cierto que, los trabajos mencionados previamente han reducido los precios, aún continúan siendo inaccesibles para gran parte de la población. Ese problema existe en otros países, como en Sudáfrica.

En el año 2013, Richard van As tuvo la idea de crear una prótesis impresa en 3D debido a los altos costos y poca funcionalidad de las prótesis convencionales. La idea se materializó con apoyo de Ivan Owen quien es especialista en efectos mecánicos. El resultado de su esfuerzo fue la generación de códigos abiertos para modificar la prótesis a las necesidades de cada individuo. Además, la idea dio origen al proyecto Robohand [13]. En México, el primer caso de uso de prótesis impresa en 3D fue el de una niña llamada Andrea en 2014 [9].

Otro proyecto de prótesis realizado en 3D es Open Hand Project [4]. El proyecto es original de Joel Gibbard y surgió en Reino Unido, paralelamente al proyecto de Robohand. En

México los estudiantes de la Universidad del Valle de México, Campus Guadalajara Sur, utilizaron la plataforma de código abierto del proyecto Open Hand para realizar una prótesis electromecánica. La prótesis consiste en un conjunto de motores, servomotor, poleas y baterías que logran accionar automáticamente los movimientos de los dedos, mismos que son útiles para sujetar objetos o hacer gesticulaciones [11].

El esfuerzo realizado por científicos, médicos y tecnólogos se ve materializado cuando la prótesis es utilizada por una persona y así puede recuperar su calidad de vida.

El presente proyecto, se encuentra en el grupo 2: discapacidades motrices. Comprende a las personas que tienen alguna discapacidad en las extremidades superiores y se encuentran en el subgrupo 210.

II. DESARROLLO

A. Selección de Materiales y Herramientas

Inicialmente, se definieron los lineamientos necesarios para poder delimitar los esquemas de diseño, modelaje e impresión en 3D de la prótesis. A continuación, se describen los pasos utilizados.

En el primer paso, se evaluaron las alternativas de software dedicado a la renderización y procesamiento de gráficos 3D, eligiéndose Blender (enfocándolo al modelaje) y Solidworks (orientándolo a la simulación de movimiento). Se consideró en todo momento la naturaleza de licencia GNU, la disponibilidad de documentación, tutoriales y recursos sobre el funcionamiento del mismo, y facilidad de aprendizaje y uso.

En el segundo paso, se especificó el formato de exportación del modelo en 3D, optando por el STL (*STereo Lithography*), cuya característica principal es facilitar la creación del prototipo y diseño de dispositivos. El formato STL define la geometría de objetos 3D, excluyendo información como color, texturas o propiedades físicas que se incluyen en otros formatos, como el CAD. A través del formato STL, se pudo trabajar específicamente en el diseño de la mano y muñeca sin preocuparse por otras características.

En el tercer paso, se decidió el tipo de plástico a utilizar para la impresión 3D (ver Cuadro I). Cabe mencionar que, se obviaron aquellos materiales que no cumplen con las siguientes características: costos bajos, resistencia alta, durabilidad media y manejo (fácil de perforar y lijar), por ejemplo: nylon, madera, vidrio, etc.

CUADRO I
COMPARATIVA ENTRE LOS TIPOS DE PLÁSTICOS DE IMPRESIÓN 3D MÁS USADOS Y ESTANDARIZADOS A NIVEL MUNDIAL

Filamento	Características	Ventajas
ABS (acrilonitrilo butadieno estireno)	Este es el material consentido de las piezas de Lego, también utilizado en la carrocería de los automóviles, los electrodomésticos y las carcasas de celulares.	Además de su alta resistencia, este material permite obtener una superficie pulida, es reutilizable y puede ser soldado con procesos químicos. Sin embargo, no es biodegradable y se encoje en contacto

<p><i>PLA (ácido poliláctico)</i></p>	<p>Es biodegradable ya que es fabricado a partir de materias primas renovables (almidón de maíz). Una de sus características principales es su leve encogimiento luego de la impresión 3D, razón por la cual se pueden obtener piezas de mejor precisión.</p>	<p>con el aire. Gracias a su carácter no tóxico, este material es usado generalmente para la fabricación de objetos que entran en contacto con alimentos. Es más difícil de manipular dada su elevada velocidad de enfriamiento y solidificación. Presenta un buen equilibrio entre sus características</p>
<p><i>Poliamidas</i></p>	<p>Los objetos en poliamidas son generalmente fabricados a partir de un polvo fino, granuloso y blanco utilizando la tecnología de sinterizado selectivo por láser (SLS).</p>	<p>mecánicas y químicas, de donde vienen su estabilidad, rigidez, flexibilidad y resistencia a los choques.</p>
<p><i>Resinas</i></p>	<p>Se dividen en termoplásticas y termosolidificantes (polimerización) y constituyen el material base de varias técnicas como la estereolitografía (SLA) y el Polyjet, permitiendo obtener objetos de terminación mate o brillantes, blancos, negros e incluso transparentes.</p>	<p>Tienen una geometría y una funcionalidad limitados, pero la calidad y la suavidad de la superficie, además de su transparencia, son sistemáticos.</p>

Fuente: Elaboración propia

A partir del análisis de cada tipo de plástico presentado en el Cuadro I, se tomó la decisión de utilizar el PLA por su definición de impresión estándar, bajo impacto ambiental, precio bajo, rapidez de solidificación, y cómoda manipulación al someterse a perforaciones y cortes. En este punto, se considera importante remarcar que la prótesis no será para realizar actividades de uso rudo o de alto impacto que requiera un material más resistente, como puede ser el ABS.

Posteriormente, se definieron los componentes y entorno de desarrollo para la conexión electrónica y control de las partes electromecánicas de la prótesis. A continuación, se describen los pasos utilizados.

Primero fue esencial elegir entre Arduino y Raspberry Pi. Aquí surge la siguiente pregunta: ¿Por qué utilizar tarjetas programables y no microcontroladores por separado? y la respuesta que se tiene es que, las tarjetas programables son de código abierto, tienen gran cantidad de documentación, y son sencillos de aprender a programar y conectar. Por lo tanto, se realizó una comparación entre Arduino Nano y Raspberry Pi 2 Modelo B (ver Cuadro II) para identificar sus características de cada uno y poder seleccionar la mejor opción.

CUADRO II
COMPARATIVA ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS ELECTRÓNICAS DE ARDUINO Y RASPBERRY PI

	<p>Arduino Nano</p>	<p>Raspberry Pi 2 Modelo B</p>
<p><i>Descripción</i></p>	<p>El hardware consiste en una placa de circuito impreso con un microcontrolador, usualmente Atmel AVR, y puertos digitales y analógicos de entrada/salida, los cuales pueden conectarse a placas de expansión (<i>shields</i>) que amplían las características de funcionamiento de la placa Arduino.</p>	<p>Es un ordenador de placa reducida, ordenador de placa única u ordenador de placa simple (SBC) de bajo coste desarrollado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas.</p>
<p><i>Características principales</i></p>	<p>El diseño incluye un microcontrolador Atmel ATmega328 con un voltaje lógico de operación de 5V (con un Vin recomendado de 7-12V), 14 pines digitales (con una corriente de 40mA cada uno I/O (6 que también brindan salida PWM) y 8 de entrada analógica, memoria flash de 16KB, memoria EEPROM de 1KB y una velocidad de reloj de 16MHz.</p>	<p>El diseño incluye un CPU 900MHz quad-core ARM Cortex-A7, tarjeta de video VideoCore IV 3D graphics, 1GB de RAM, 4 puertos USB, 40 pines GPIO, puerto HDMI, puerto ethernet y espacio para una tarjeta micro SD. Debido a que posee un procesador ARMv7 processor.</p>
<p><i>Ventajas</i></p>	<p>Es práctico para aprender electrónica y crear proyectos de robótica. Cuenta con diferentes salidas para el control de dispositivos electrónicos y circuitos integrados.</p>	<p>Es práctica para aprender programación y crear proyectos de procesamiento de datos. Se pueden conectar periféricos. Cuenta con sistema operativo propio. Dispone de puertos USB, ethernet y HDMI.</p>
<p><i>Desventajas</i></p>	<p>No tiene un sistema operativo propio. No se puede conectar a internet.</p>	<p>El uso de la tarjeta se vuelve complicado por las líneas de código necesarias para hacer funcionar los puertos GPIO, por ejemplo: hacer parpadear un LED.</p>

Fuente: Elaboración propia

A partir de la Cuadro II, se concluye que, Arduino Nano se especializa en el control PWM, digital y procesamiento de señales; mientras que, Raspberry Pi 2 Modelo B está dedicada al procesamiento de información y control lógico por ser un computador de bolsillo. Ambos se crearon para proyectos estudiantiles, y es claro que, Arduino Nano se encuentra dedicado a proyectos relacionados con la electrónica y Raspberry Pi 2 Modelo B para llevar de una forma distinta el conocimiento de la informática. De acuerdo con lo anterior, la tarjeta Arduino Nano fue la mejor alternativa como ambiente de desarrollo y control electrónico.

También, se utilizaron los siguientes componentes electrónicos para mover el mecanismo de la prótesis y crear un sistema de control con interfaz de usuario por comandos de voz: motorreductores Pololu 50:1, servomotor TowerPro 9g, puentes H (CI L293DD), capacitores electrolíticos SMD (1000µF/16V que entrega su carga para suprimir las bajas de corriente provocadas por el uso de motores de esta naturaleza), reguladores de voltaje (AMS1117 5.0 SMD), resistencias, el módulo de reconocimiento de voz de Elechouse (V3) y una batería de Lipo (7.4V, 1000mAh, alta descarga 20c, 2 celdas). El objetivo de cada componente es brindar voltaje regulado y constante tanto al microcontrolador del Arduino como al módulo de reconocimiento de voz, permitiéndole a los

motorreductores utilizar la corriente directamente de la batería; los puentes H tienen la facultad de invertir el giro del motor a través de una configuración del paso de corriente (indispensable para la flexión y estiramiento de las falanges).

B. Construcción electromecánica de la prótesis

Con todas las herramientas y materiales mencionados en el apartado anterior, se procedió al diseño y fabricación de la prótesis electromecánica de mano.

Al principio, se utilizaron los diseños de licencia GNU de Robohand (Robobeast) y Open Hand Project (Dextrus v1.1) como modelos base para el esbozo de una versión propia de prótesis de mano. En consecuencia, se estableció un ciclo de evaluación para revisar constantemente cada parte de la mano. El diseño fue elaborado en Blender y su movilidad (grados de libertad, mecanismo fluido, etc.) fue verificado en SolidWorks. Una vez obtenido un diseño funcional, se procedió a imprimir en 3D la prótesis de mano.

La Figura 1 muestra avances en el diseño de la prótesis de mano en Blender. En específico, la Figura 1-A presenta la estructura principal de la prótesis (símil carpiano de una mano real); la Figura 1-B muestra el diseño del dedo pulgar seccionado de forma transversal; la Figura 1-C contiene el modelo de dedos consecuentes al pulgar – el diseño de un mismo dedo que posteriormente se coloca escalonado para recrear los tamaños de los dedos para agilizar la impresión –; y la Figura 1-D presenta el carrete de hilo que sirve para enrollar el nylon que atraviesa el interior de cada dedo.

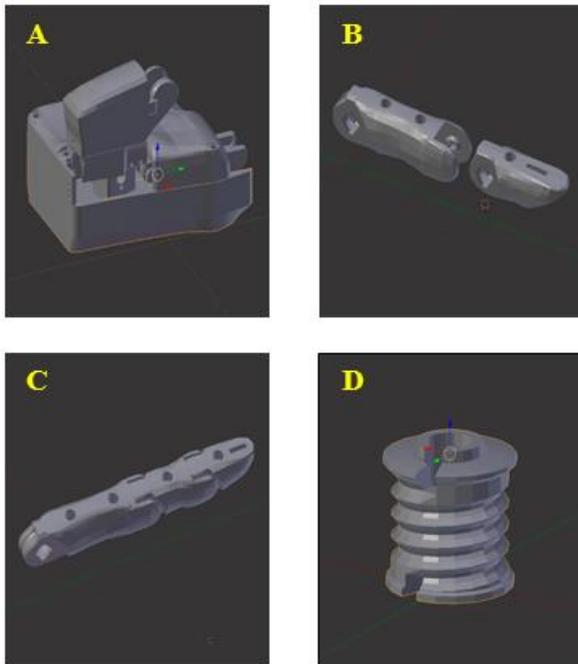


Figura 1. Modelado de los componentes básicos de la mano en blender.

Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que, el proceso de impresión se realizó en Protomark debido a su experiencia en impresión 3D. Una vez impresas las partes de la mano, se procedió a ensamblarla. Para lo cual se realizaron los siguientes pasos:

Se colocó un servomotor en la galera metacarpofalángica de la prótesis de tal manera que se moviera con libertad y llegaría a los límites reales de una mano común y corriente. Cada dedo se acopló con baleros en las articulaciones y un hilo de nylon de 0.7mm por dentro y a través de toda la estructura como principal agente que produce fricción y provoca la flexión a partir de la tensión y los puntos de contacto de los objetos que tome. Las galeras de los motores posibilitan la exposición de las flechas del motor y el enlace de éstas con los carretes; asimismo éstas llevan un mecanismo de poleas que mantienen tensado el hilo (punto clave de la fuerza y alcance de los dedos) sin importar el sentido de giro de los motorreductores.

III. RESULTADOS

Como resultado del proceso previo, se obtuvieron los elementos clave que dan origen al funcionamiento mecánico de la prótesis.

Se imprimió la prótesis de la mano y se instalaron los componentes internos. Se montaron 3 circuitos integrados L293DD, un Arduino Nano y el módulo de reconocimiento de voz de Elechouse V3 en las coordenadas correspondientes con una distribución especializada en el cambio de componentes para fácil actualización; le siguieron los cables para interconectar todos los componentes y la instalación de los motorreductores y el servomotor en los puertos de salida de los puentes H y el pin 12 (PWM) del Arduino Nano respectivamente. Cabe agregar que, el circuito es alimentado con una batería Lipo de 7.4V y 1000mAh en todo momento y delimitado por un regulador de voltaje AMS1117 5.0 SMD (salida constante de 5V).

Se diseñó el esquemático del circuito con EAGLE (ver Figura 2) y la tarjeta con National Instruments Circuit Design Suite (ver Figura 3 y 4). El diseño de la tarjeta se basó en estándares de calidad¹ para circuitos impresos, tales como: el power plane (GND), separación entre pistas, tamaño de los pads y pistas (se consideró la corriente nominal que pasa por cada uno de ellos), distribución de los componentes, cantidad de capas y tamaño total del circuito.

En la Figura 3, se puede apreciar en color azul los capacitores electrolíticos que fueron agregados al circuito para reducir el ruido que producen los motorreductores al funcionar, por lo que fueron conectados directamente a la batería; por otro lado, se tiene al capacitor que va después del regulador de voltaje para realizar la misma función que los anteriores, pero procurando darle más estabilidad al voltaje, ya que el Arduino y el servomotor están conectados al regulador, lo que puede producir picos en la línea de voltaje que provoquen un reseteo del microcontrolador o corrupción de sus datos.

Además, se tiene el puente H (L293DD) que está dentro del recuadro naranja, mismo que está considerado para permitir el giro de los motorreductores en ambos sentidos, y por ende la flexión y extensión de los actuadores de los dedos de la mano. También, sirve para controlar la velocidad del giro por medio de la salida PWM del Arduino (ver Figura 5).

¹ Reglas de diseño (DRC) – clearance, distance, sizes, and restring del IPC (institute for Printed Circuits).

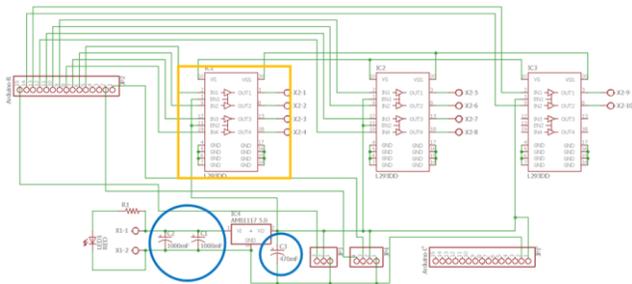


Figura 2. Diseño esquemático del circuito de control de la prótesis. Fuente: Elaboración propia.

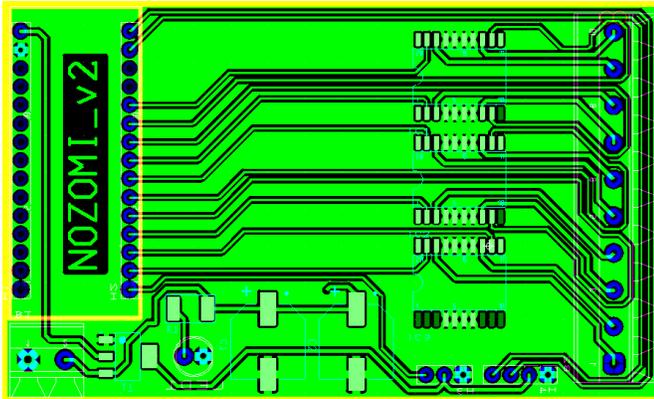


Figura 3. Diseño del PCB del circuito de control de la prótesis. Fuente: Elaboración propia.

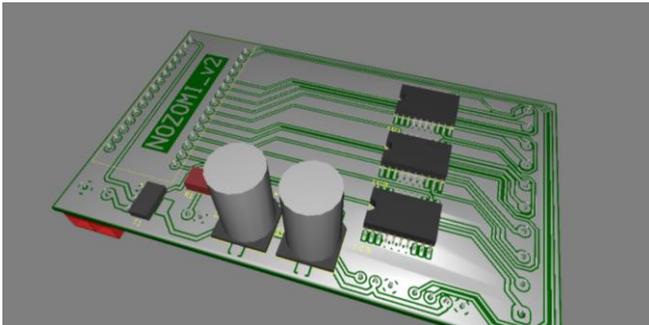


Figura 4. Vista en 3D del circuito impreso. Fuente: Elaboración propia.

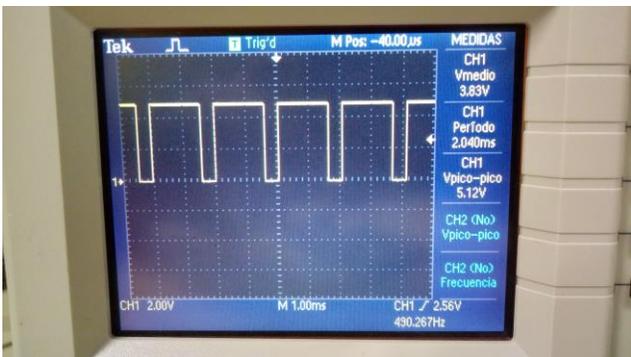


Figura 5. PWM del Arduino Nano para el control de los motorreductores. Ciclo de trabajo alto, equivalente a la máxima velocidad de los motores.

Fuente: Elaboración propia.

Se escogieron los circuitos integrados de montaje superficial por su bajo consumo de corriente, tamaño y facilidad de control

para los motores DC con cualquier microcontrolador. Físicamente la distancia entre la tarjeta y los motores está pensada para evitar cualquier efecto de inductancia que altere el correcto funcionamiento del PCB; incluso se soldaron capacitores (ver Figura 6) cerámicos de 0.1µF y se torcieron en forma de espiral los cables para la reducción del ruido eléctrico.

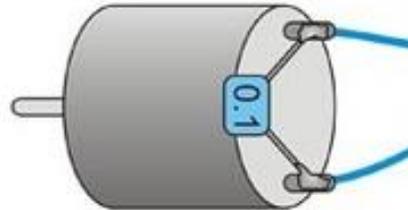


Figura 6. Forma de conexión de capacitor cerámico 104 en los motorreductores.

Fuente: Elaboración propia.

Se ejecutaron pruebas de consumo y las mediciones respectivas en los diferentes estados de la prótesis (reposo, uso medio, uso rudo), las cuales arrojaron datos de consumo de corriente (ver Cuadro III) en cada uno de los casos y del tiempo de autonomía de la batería de la prótesis (ver Cuadro IV).

CUADRO III
CONSUMO MEDIO DE CORRIENTE POR COMPONENTE

Componente	Consumo de voltaje	Consumo de corriente nominal	Reposo	Uso medio	Uso rudo
Arduino Nano	5V	<40mA	6mAh	20mAh	23mAh
Motorreductores	7.4V	100-800mA	0mA	183mAh	915mAh
Servomotor	5V	100-500mA	0mAh	286mAh	286mAh
Módulo de reconocimiento de voz	5V	<40mA	6mAh	30mAh	30mAh
L293DD	Lógico de 5V	<6mA	18mAh	18mAh	18mAh
Led	3V	10mA	10mAh	10mA	10mAh

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO IV
DURACIÓN ESTIMADA DE LA BATERÍA POR CADA ESTADO

Corriente de la batería	Reposo (consumo y duración)	Uso medio (consumo y duración)	Uso rudo (consumo y duración)
1000mAh	34mAh / 29 horas	547mAh / 109 minutos	1282mAh / 46 minutos

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron pruebas de funcionamiento a través de la ejecución de todas las instrucciones y en los tres idiomas utilizados (ver Cuadro V). El funcionamiento fue satisfactorio, ejecutándose cada una de las órdenes en los tres idiomas.

CUADRO V
EJEMPLOS DE COMANDOS DE VOZ INSTALADOS EN LA PRÓTESIS EN IDIOMA ESPAÑOL, INGLÉS Y JAPONÉS – TRANSLITERADO CON ROMAJI

Español	Inglés	Japonés
Abrir	Open	平手 (Hirate)
Cerrar	Close	閉じる (Tojiru)
Tomar	Take	捕る (Toru)

Soltar	Drop	投げる (Nageru)
Lápiz	Pencil	鉛筆 (Enpitsu)
Contar	Count	列挙 (Rekkyo)
Me gusta	Like	ライク (Raiku)

Fuente: Elaboración propia.

Las pruebas de funcionamiento demostraron que, al grabarse una frecuencia de voz específica, que en este caso fue de un varón, y que al tratar de hacer funcionar los comandos con otras frecuencias (femeninas y masculinas con frecuencias más altas y bajas que las del sujeto inicial) el módulo de reconocimiento de voz es incapaz de responder cuando una persona ajena al propietario intenta hacer funcionar el dispositivo (ver Cuadro VI). En este punto, se consideró favorable personalizar la prótesis basada en el reconocimiento de voz (ver Cuadro VII) y obviar situaciones en las que pueda ser activada sin autorización. También, se detectó que los verbos similares (eje. tomar y contar) llegan a ser confundidos por el módulo y se intercambian las activaciones de las salidas. Por lo tanto, se consideró evitar el uso de verbos similares a través de sinónimos (ver Cuadro VII).

CUADRO VI

PORCENTAJE DE FIABILIDAD DE RECONOCIMIENTO DE COMANDOS EN HOMBRES Y MUJERES CON FRECUENCIAS DE VOZ DISTINTAS A LAS DEL PROPIETARIO

Comando	Color led	Aciertos	Pruebas con Hombres	Pruebas con Mujeres	% de fiabilidad
Abrir	Azul	7	10	10	35%
Cerrar	Rojo	8	10	10	40%
Contar	Verde	1	10	10	5%
Lápiz	Azul	9	10	10	45%
Soltar	Blanco	9	10	10	45%
Tomar	Azul	8	10	10	40%

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO VII

PORCENTAJE DE FIABILIDAD DE RECONOCIMIENTO DE COMANDOS EN LOS PROPIETARIOS EN INGLÉS Y ESPAÑOL

Comando	Color led	Aciertos	Pruebas en español	Pruebas en inglés	% de fiabilidad
Abrir	Azul	8	10	10	80%
Cerrar	Rojo	10	10	10	100%
Contar	Verde	1	10	10	10%
Lápiz	Azul	9	10	10	90%
Soltar	Blanco	10	10	10	100%
Tomar	Azul	9	10	10	90%

Fuente: Elaboración propia.

IV. CONCLUSIONES

En términos generales, el proyecto ha conseguido responder a diferentes preguntas que contribuyen al conocimiento y brinda un punto de partida más actual. En este sentido, se ha demostrado que el control de voz es viable, siempre y cuando, se personalice al propietario para reducir fallas; así como, evitar utilizar palabras similares. También, se ha presentado el tiempo máximo de uso de la prótesis a 46 min, en un escenario de uso constante.

REFERENCIAS

- [1] CDC, 2014. Centers for Disease Control and Prevention [En línea]. Disponible en <http://www.cdc.gov/ncbddd/birthdefects/UL-LimbReductionDefects.html>.
- [2] Dorador González, J. M., Ríos Murillo, P., Flores Luna, I. & Juárez Mendoza, A., 2004. Robótica y Prótesis Inteligentes. Revista Digital Universitaria, 6(1), pp. 2-15.
- [3] Electrónicos OL, 2013. IPN diseña mano robótica antropométrica de bajo costo. ElectrónicosOL, 4 Marzo, p. 1.
- [4] Gibbard, J., 2013. The Open Hand Project [En línea]. Disponible en www.openhandproject.org/.
- [5] INEGI, 2004. Clasificación de Tipo de Discapacidad - Histórica, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, pp. 1-54.
- [6] INEGI, 2015, Estadísticas a Propósito del Día Internacional del Trabajo (1 de Mayo), Instituto Nacional de Estadística y Geografía, pp. 1-20.
- [7] Marlowe, K., 2003. Hand Prosthetics [En línea]. Disponible en http://biomed.brown.edu/Courses/B1108/B1108_2003_Groups/Hand_Prosthetics/.
- [8] Meza, E., 2014. Mexicano crea brazo bionico 90% más barato que los de EU. Milenio, 10 Junio, p. 1.
- [9] Morales, C., 2015. Robohand Prótesis 3D (ahora sí) para todos. Forbes, 27 Marzo, Volumen 27, p. 1.
- [10] Norton, K., 2007. Un breve recorrido por la historia de la protésica. inMotion, 17(7), pp. 1-5.
- [11] Notimex, 2015. Diseñan mexicanos prótesis de mano electromecánica. La jornada, 12 Mayo, p. 1.
- [12] Protesis DYCORP, 2016. Prótesis DYCORP [En línea]. Disponible en <http://ortho-mex.redtienda.net/cat.php?id=190451>.
- [13] Robohand , 2013. Robohand » Customised, Fitted, Mechanical Fingers and Hands [En línea]. Disponible en www.robohand.net.
- [14] Strait, E., 2006. Prosthetics in Developing Countries, pp. 1-41.
- [15] Vázquez-Vela, E., 2015. Los amputados, un reto para el estado. Acta de la Sesión del 4 de marzo del 2015, Academia Nacional de Medicina, pp. 1-9.
- [16] WHO, 2011. World Report on Disability, World Health Organization and The World Bank, pp. 1-350.