



Actualización del sistema de control de la prótesis robótica A3D.

Juan Camilo Botero Salazar

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Bioingeniero

Asesor

Juan Diego Lemos Duque, PhD Ingeniería electrónica

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería

Bioingeniería

Medellín

2022

Referencia

- [1] J. C. Botero Salazar, "Actualización del sistema de control de la prótesis robótica A3D, 2022", Trabajo de grado profesional, Bioingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, 2022.



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: John Fredy Ochoa.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mi familia por su incondicional apoyo, a mi madre que ha sido ejemplo de esfuerzo y perseverancia y a mi hermana María que en mis momentos difíciles siempre tuvo una voz de aliento para renovar mis fuerzas.

Agradecimientos

Primeramente, a Dios por poner en mi vida esta maravillosa profesión, toda mi gratitud al equipo de Prótesis Avanzadas y a Jorge Alberto Robledo Ramírez que me orientó y fue parte de este proyecto, al profesor Juan Diego Lemos quien desde su conocimiento me hizo valiosos aportes, y como pasar por alto a mis compañeros de estudio con quien compartí triunfos y frustraciones durante mi carrera pero que al final se pudo salir adelante.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
I. INTRODUCCIÓN	9
II. OBJETIVOS	10
A. Objetivo general	10
B. Objetivos específicos	10
III. MARCO TEÓRICO	11
IV. METODOLOGÍA	12
V. RESULTADOS	14
VI. ANÁLISIS	26
VII. CONCLUSIONES	27
VIII. RECOMENDACIONES	28
REFERENCIAS	29

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	13
Tabla 2. CARACTERISTICAS DE LOS MICROCONTROLADORES ESTUDIADOS.	13

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Prototipo inicial.....	14
Fig. 2. Capa superior de la primera versión	15
Fig. 3. Capa inferior de la primera versión	15
Fig. 4. Lado superior de la segunda versión.....	16
Fig. 5. Lado inferior de la segunda versión.....	17
Fig. 6. Capa superior tercera versión.....	18
Fig. 7. Capa inferior tercera versión.....	18
Fig. 8. CAD circuito de control.....	19
Fig. 9. Lado superior de la tarjeta de potencia	20
Fig. 10. Lado inferior de la tarjeta de potencia	20
Fig. 11. CAD circuito de potencia.....	21
Fig. 12. Cierre de todos los dedos	22
Fig. 13. Apertura todos los dedos.....	22
Fig. 14. Extensión del pulgar	23
Fig. 15. Cierre por pinza.....	24
Fig. 16. Abducción y aducción del pulgar	24
Fig. 17. Extensión del índice.....	25

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

IoT	Internet de las cosas
Wireless	Inalámbrico
PCB	Placa de circuito impreso
Layouts	Hace referencia a la manera en que están distribuidos los elementos en un diseño.
Gadget	Dispositivo pequeño, que tiene una función específica ya la vez novedoso.
Footprint	Huella y/o lugar donde va conectado en la superficie de la PCB un componente electrónico.
Driver	Los controladores de motor pueden realizar muchas funciones, tales como arrancar o detener un motor eléctrico de forma automática o manual bien sea para cambiar dirección, sentido o velocidad.
Switch	Cuando se utiliza el transistor como interruptor, la corriente de base debe tener un valor para lograr que el transistor entre en corte y otro para que entre en saturación.
CAD	Diseño asistido por computador.

RESUMEN

La actualización del sistema de control de la prótesis robótica es un avance de este componente en cuanto a la tecnología IoT. Este desarrollo permite mejorar la funcionalidad y/o experiencia del usuario aprovechando las bondades que ofrece la comunicación wireless cuando se vincula a otros dispositivos como celulares o computadoras y de esta manera hacer actualizaciones, trazabilidad y visualización de su uso.

Este logro es posible gracias a la adaptación que se implementó del módulo esp32 el cual permite programarse en lenguaje open source (arduino) y del que hay demasiado contenido disponible en línea. En este ajuste se tomó como referente el sistema electrónico anterior usado por la empresa prótesis avanzadas y se hizo un nuevo diseño en forma y tamaño del PCB del microcontrolador y la placa de potencia para que se acople fácilmente al estándar del tamaño de la mano sin necesidad de hacer modificaciones.

El punto de partida fue el ESP32 devkit que es un instrumento electrónico comercial al cual se le hizo adaptaciones temporales mientras que llegaba la versión final del circuito impreso, consistió en acomodar los pines de entrada y salida necesarios para validar el desarrollo de software. Finalmente se implementó todo el sistema en conjunto logrando un funcionamiento aproximado del 90% del esperado, sin embargo, es suficiente para empezar a implementar en las futuras prótesis ya que estos desarrollos están en constante crecimiento.

Palabras clave — IoT, circuito impreso, ESP32, prótesis robótica.

ABSTRACT

The modernization of the control system in a robotic prosthesis is an improvement of this component in terms of allowing IoT functionality. This development permits improving users' experience by taking advantage of the benefits of wireless technology when pairing the prosthesis with other devices (such as cellphones or computers), thus allowing for updates, user traceability and visualization of other relevant information.

This feat is possible thanks to the adaptation implemented for the ESP32 modules, which may be programmed using open-source languages (Arduino, micropython) and for which there is abundant documentation and community driven development available online. The existing printed board circuit (PCB) used by the company Prótesis Avanzadas was used as reference for designing a new PCB for the microcontroller and the power-board which allows may be easily placed within the prosthesis without the need for other modifications.

The ESP32 devkit (which is a commercial electronic component) was used for initial firmware tests, which required adapting this board to the prosthesis, while a final version of the PCB was designed and manufactured. Afterwards, the complete system was implemented using the new firmware and PCB with the prosthesis, with approximately 90% of the desired functionalities were implemented. However, the firmware and electronics designed and tested are ready for implementation in future prosthesis, as these developments are constantly growing.

***Key Words* — IoT, printed circuit board, ESP32, robotic prosthesis.**

I. INTRODUCCIÓN

Las personas con amputación de miembro superior tienen una reducción en su independencia, llevando todos sus quehaceres a una sola mano u otros métodos de interacción lo que representa un reto en el día a día en esta población.

Las prótesis se han convertido en una solución parcial, permitiendo mejorar algunas rutinas de personas en esta condición, especialmente los brazos robóticos ya que interactúan con el sistema neuromuscular del usuario permitiendo tener una experiencia cercana al movimiento natural de la extremidad.

En el mercado hay muchas empresas que se dedican a crear y desarrollar este tipo de invenciones y aunque el principio de funcionamiento es el mismo puede haber variaciones en el sistema de control electrónico y mecánico, esto sujeto a los precios y tecnología implementadas, materiales usados y nivel de detalle en cuanto a los acabados y funcionalidad.

Particularmente la empresa Prótesis Avanzadas SAS ha venido elaborando sus dispositivos con un microcontrolador MC9S08 de la empresa freescale que requiere el programa code warrior 6.3 para codificar, este software actualmente presenta problemas de compatibilidad con las versiones recientes de windows. Es por esto que se vio la necesidad de migrar a otro sistema de control que sea moderno, práctico y sobre todo actual, que permita ajustarse a la tecnología del momento. Fue así como se buscó entre tantas ofertas un microcontrolador que cubriera estas necesidades, encontrando en el módulo ESP32 el mejor candidato para este fin, luego se hizo una búsqueda exhaustiva en documentación en general, conectividad, datos técnicos, manejo en cuanto al software, y finalmente se procede a hacer el diseño de la tarjeta electrónica para embeberlo con las dimensiones y características requeridas de manera que sea semejante a su antigua versión. Se desarrolla la programación de los requerimientos planteados y se procede a las diferentes pruebas de funcionamiento alcanzando los objetivos trazados como programación a distancia sin el uso de puerto serial, los diferentes movimientos y funciones en cada uno de los dedos, adaptación a los sensores y al sistema electro mecánico y estructural anterior, facilitando la construcción, ensamble y una mejor experiencia con el usuario.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

- Realizar una actualización del sistema de control de la prótesis A3D.

B. Objetivos específicos

- Hacer modificaciones en el PCB actual y ajustarlos en forma y tamaño.
- Incluir el módulo del ESP32 en el circuito y aprovechar las bondades que este ofrece.
- Hacer cambios en la electrónica buscando mejorar el desempeño y funcionalidad, extracción de información que permita verificación de funcionamiento como señales mioeléctricas, nivel de batería y reprogramación del micro por el aire (OTA).
- Estandarizar la programación permitiendo que pueda ser llevado al mismo lenguaje de Arduino y que se puedan hacer modificaciones y actualizaciones del software fácilmente.

III. MARCO TEÓRICO

Las estimaciones mundiales datan de 4 a 5 amputaciones por cada 10000 habitantes, lo que indica una cantidad considerable de usuarios que pueden mejorar su calidad de vida a través de una prótesis robótica. En los últimos años ha incrementado el interés por parte del sector privado y estatal en invertir capital en estas investigaciones, esto acompañado de los últimos avances en tecnología en cuanto a software y la electrónica en general.

Los microcontroladores son dispositivos electrónicos que han mejorado diferentes procesos en la industria, permitiendo automatización y facilitando tareas que se hacían de forma manual años atrás. El desarrollo de las prótesis robóticas no es ajeno a ellos y por mucho tiempo ha venido evolucionando, buscando adaptarse a las demandas de hoy.

En la actualidad la prótesis comercial A3D de la empresa prótesis avanzadas está soportada en un microcontrolador MC9S08SE8 de la familia Freescale [1], el cual es escasamente compatible con los sistemas recientes, poco comercial y/o adaptable a la tecnología del momento.

Las necesidades actuales han llevado a que los desarrollos nuevos y aquellos que necesiten actualización migren a dispositivos modernos que tengan conexión constante a una red de comunicación WI-FI, donde se pueda conocer información de primera mano, en tiempo real, permitiendo tener un reporte inmediato frente a las distintas variables, especialmente en el campo médico, y que para el año 2023 se espera que tenga un mercado 267800 millones de dólares en este sector [2]. Es así como el ESP32 que actualmente es un referente mundial en el tema de las IoT [3] y que facilita tanto su programación como adaptación, está siendo llevado a las diferentes industrias [4], permitiendo automatizar y facilitar labores remotamente, que a través de aplicaciones móviles o web dejan registro de eventos que ocurren o bien por medio de sensores capturando métricas.

Los módulos ESP32 se consiguen en el año 2022 en el mercado colombiano en aproximadamente 20000 COP, y en tiendas y plataformas internacionales como Aliexpress unos 12000 COP, aunque el tiempo de entrega podría ser de semanas. Actualmente hay una gran dificultad de adquirir este componente debido a la escasez mundial de gran variedad de piezas electrónicas causados por la crisis de contenedores en paralelo a la pandemia del COVID-19 [5] y sumado esto las tensiones sociopolíticas entre China y Taiwán principales productores de este tipo de suministros [6].

IV. METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto consiste en cumplir un conjunto de fases tabla 1, en la que se evalúa tanto el software como el hardware del dispositivo, mejorando el funcionamiento y llevarlo a ser moderno en cuanto sistema de control y conectividad en el IoT.

Inicialmente se hizo un rastreo de diferentes microcontroladores comerciales evaluando las diferentes características que estos tenían tabla 2, y como seria su incorporación en una eventual elección a la prótesis, se decidió finalmente por el ESP wroom 32 que aunque viene en placas comerciales a precios muy favorables, nos enfocamos solamente en el módulo [7], que es básicamente el centro lógico del circuito y que con sus 36 pines programables es actualmente un referente mundial en el internet de las cosas. Este módulo se embebió en el circuito electrónico diseñado para este fin, permitiendo que se ajuste a todo el mecanismo electro mecánico y estructural de la mano. Para el diseño de la tarjeta electrónica se empleó el software Eagle y se tuvo en cuenta los datos del fabricante del módulo ESP32 como esquemáticos de otros ejemplares [8] y sus conectividades a los diferentes componentes tanto activos como pasivos.

Para completar todo el desarrollo fue necesario hacer 3 modificaciones de las tarjetas electrónicas debido a que hubo errores de diseño, retrasos en la programación, pines de entrada y salida caracterizados erróneamente y dificultad de funcionamiento en general.

Para el circuito de potencia que lleva los drivers de los motores, se tomó como referente la versión anterior y solo se ajustó las dimensiones de tal manera que ambos circuitos se ensamblen de forma paralela y compacta por medio de los pines header.

Finalmente se desarrolla el software en lenguaje Arduino, elaborando funciones para cada movimiento de los dedos, en total 5 estados para el cierre y apertura de la mano.

V. RESULTADOS

Inicialmente se hace una placa de prueba electrónica a partir del microcontrolador comercial ESP32 DEVKIT y se adapta el circuito con los drivers de los motores de la versión anterior para implementar la programación y hacer las primeras validaciones.

Este primer acercamiento arrojó algunos errores de diseño pues la primera versión de la tarjeta ya se había diseñado y antes de su ensamble estábamos conscientes de que no iba a funcionar de forma correcta, pues no todos los dedos se movían o lo hacían de forma lenta, sin embargo, nos sirvió para adelantar gran parte de todo el proyecto, este mismo montaje se diseñó varias veces cambiando los roles de cada uno de los pines hasta establecer cuáles iban a ser los definitivos para el desarrollo.



Fig. 1. Prototipo inicial

Aquí se simuló la primera etapa en cuanto al software y el funcionamiento de la mano, logrando replicar los 5 movimientos que tienen la actual prótesis A3D, para su funcionamiento, en lugar de usar una batería se usó una fuente de voltaje con 7.5V, para los sensores mioeléctricos se implementaron pulsadores al igual para el botón de cambio de función y/o movimiento de los dedos, las conexiones se hicieron con cable ribbon a través de la tarjeta de montaje universal.

Mientras se hacían las pruebas electromecánicas se diseñó el circuito de control en su primera versión con el software EAGLE, obteniendo el siguiente esquemático.

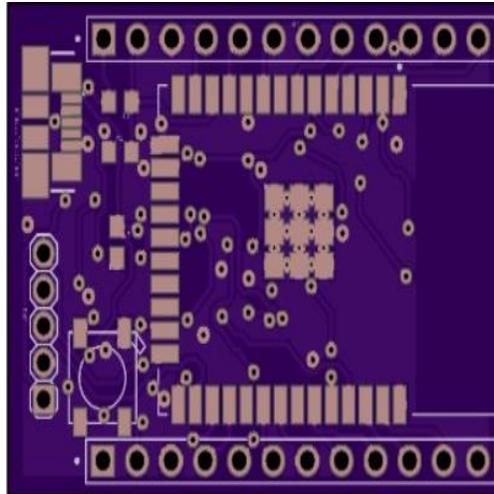


Fig. 2. Capa superior de la primera versión

Este circuito contiene dos capas, en la superior (*Figura 2*), se posicionó el módulo ESP32, el puerto conector USB, un LED indicador de referencia ws2812b de naturaleza RGB de 8 bits con su respectivo capacitor y 2 resistencias en arreglo de divisor de voltaje, esto con el fin de hacer lectura del consumo y nivel de la batería.

Tanto los capacitores como las resistencias en todo el diseño fueron iguales en dimensión, usando encapsulados rectangulares SMD 0603 de diferentes valores.

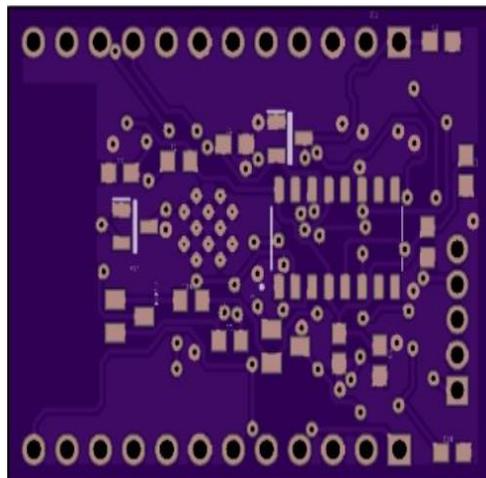


Fig. 3. Capa inferior de la primera versión

En la cara posterior (*Figura 3*) se insertaron el convertidor CH340C de USB serial UART TTL ya que el ESP32 no tiene una conexión nativa que permite programarlo directamente, usado hoy en día en muchos microcontroladores [9], los reguladores de voltaje de 5V y 3.3V, 2 transistores npn para el boot y el reset del módulo, estos dos últimos componentes en su encapsulado SOT23, capacitores y resistores.

Para esta primera versión, si bien el microcontrolador funciona, para algunas tareas cuando se cargaba una rutina que implicaba encender la antena WI-FI hubo varios inconvenientes y dejaba de funcionar, entre ellos el regulador de voltaje MCP1799T-3302H/TT que permite una caída a 3.3V con una corriente de salida de 80 mA semejante al consumo del módulo ESP32, este regulador se calentaba y es que este protocolo de comunicación llega a tener un consumo hasta de 180 mA.

Otra dificultad que se observó es que se hizo un uso incorrecto de algunos pines entre ellos el pin GPIO 0 que fue usado para control de motores, ya que este es exclusivo para comunicación con los transistores como switch y a su vez con el CH340C, además también se usó los pines GPIO 36 y GPIO 39 para salida y estos son solo de entrada y generalmente se usan para conectar sensores. Otra imprecisión fue los pines header de entrada de los sensores y baterías que en esta versión solo se pusieron 5, 2 de ellos para la alimentación externa (batería), otros 2 para los sensores de flexión y extensión y el último para el botón de cambio de función, la distancia entre ellos era inapropiada para las conexiones requeridas ya que los más comerciales y usados son de 2.54 mm. También el footprint usado para el puerto USB no tenía perforaciones en la tarjeta y este se despegó fácilmente, causando un fallo total.

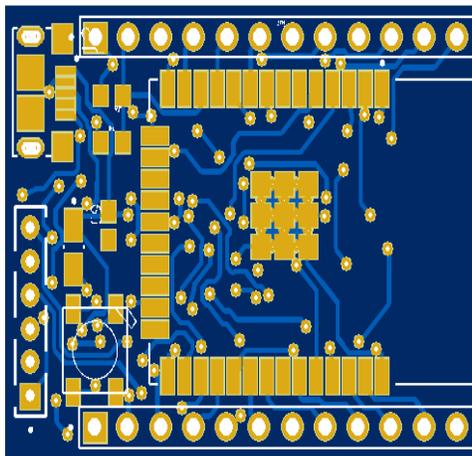


Fig. 4. Lado superior de la segunda versión

En la segunda versión se remediaron algunos inconvenientes, entre ellos está las perforaciones para el conector del puerto USB permitiendo una pieza más sujeta a la PCB, lo siguiente es que se adiciono un pin header a los 5 que ya había para un total de 6, con el fin de alimentar a los sensores, este tiene una salida de 3.3V. Además se puso un capacitor de tantalio para estabilizar el voltaje de salida en el regulador de voltaje, pero en una posición no recomendada y se ignoró la conexión a tierra de este, encontrando la primera falla en este segundo modelo.

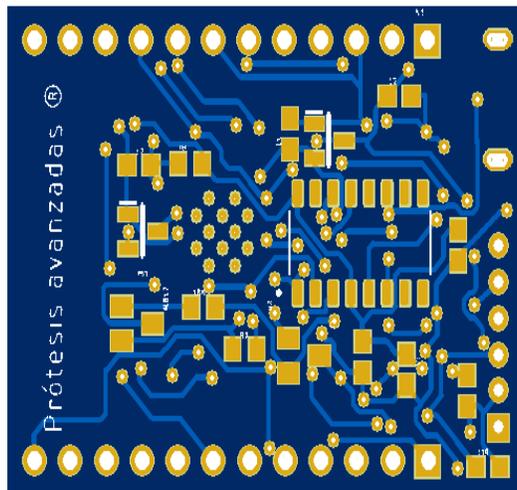


Fig. 5. Lado inferior de la segunda versión

En esta etapa del desarrollo se desconocía las fallas en la programación, si bien ya se habían corregido todos los pines de entrada, salida y exclusivos para la programación y trabajaba con algunos códigos el regulador de 3.3V se calentaba. Optamos por poner un regulador de 500 mA que tuviera el mismo encapsulado SOT23, sin embargo, el problema continuaba.

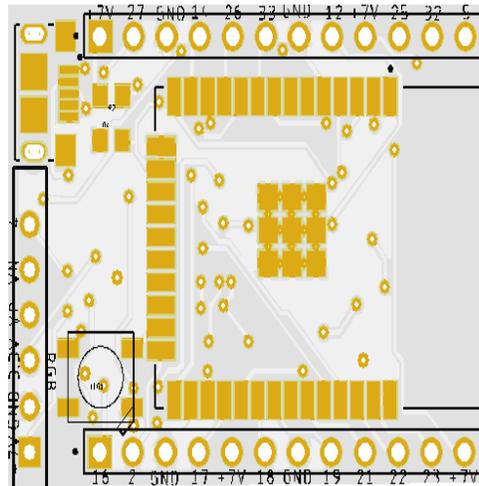


Fig. 6. Capa superior tercera versión

Para la versión final se etiquetaron cada uno de los pines y se pusieron en los lugares recomendados todos los componentes, a esta instancia ya se tenía un mejor contexto del funcionamiento y comportamiento de todos los componentes.

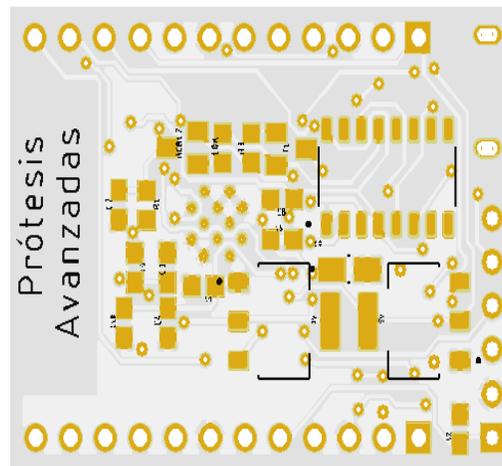


Fig. 7. Capa inferior tercera versión

En cada actualización de tarjeta se hizo de color diferente para evitar confusiones y tener un referente visual de cada una.

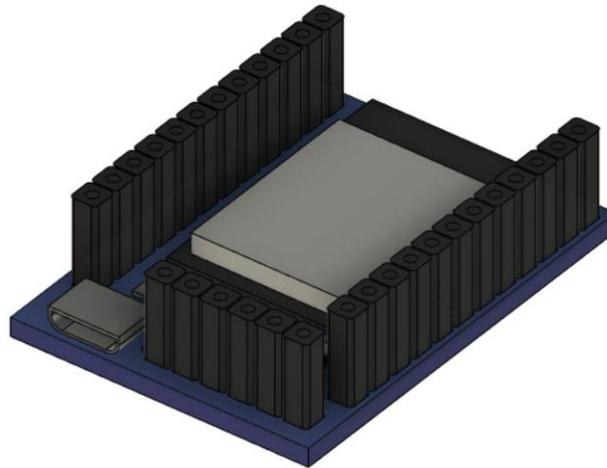


Fig. 8. CAD circuito de control

La tarjeta de control con todos sus componentes entre ellos los pines hembra que permite un acoplamiento compacto a la tarjeta de potencia (figura 11)

Se reemplazaron los reguladores de voltaje por 1A y el capacitor de tantalio se ubicó en el lugar recomendado, al igual que los transistores fueron cambiados por los que utilizan los ESP32 comerciales.

Este último presentó más estabilidad en el funcionamiento y las rutinas que implican el protocolo WI-FI no tenían fallas en las pruebas que se hicieron.

En ambas capas están los layouts para los conectores, los 24 pines hembra (12 en cada lado) están dispuestos para el acople a la tarjeta de potencia distribuidos para cada uno de los dedos, la conexión a 7.5 V, la tierra y los enables. Los otros 6 son para los sensores, entrada de la batería, el botón y 3.3 V.

La tarjeta de potencia no tuvo inconvenientes en el esquemático pues solo tiene los drivers de los motores, en total 3, de referencia L293DD y cada uno controla 2 motores. La capa superior tiene 2 de estos componentes y la inferior el tercero.

Esta tarjeta electrónica sólo fue necesario un diseño por su baja complejidad y no presentó ninguna falla, sus componentes son de fácil ensamble y gracias a su geometría es muy versátil y poco confuso al momento de acoplar al circuito de control, evitando errores y posibles cortos.

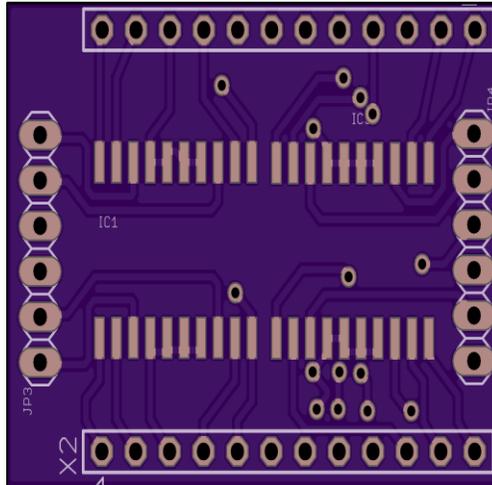


Fig. 9. Lado superior de la tarjeta de potencia

Y la inferior el otro, además de los 24 pines macho de entrada, también están los pines que conectan directamente a los motores de la mano.

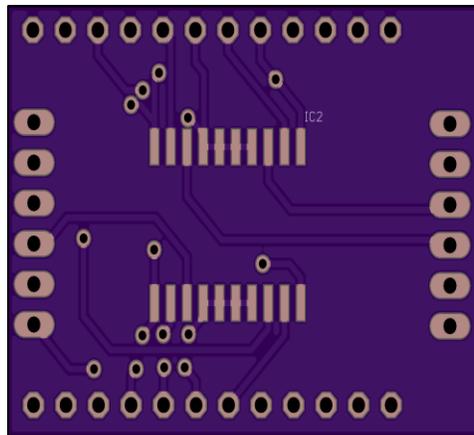


Fig. 10. Lado inferior de la tarjeta de potencia

Ambas tarjetas tienen una dimensión de 27 x 37 mm, 2 mm más tanto en ancho como en largo en comparación a la versión anterior de la A3D. La tarjeta de control no se pudo reducir más el tamaño debido al tamaño del módulo ESP32 pues era necesario un espacio considerable entre éste y los agujeros de los pines para las pistas, y que ambas se acoplen en conjunto.

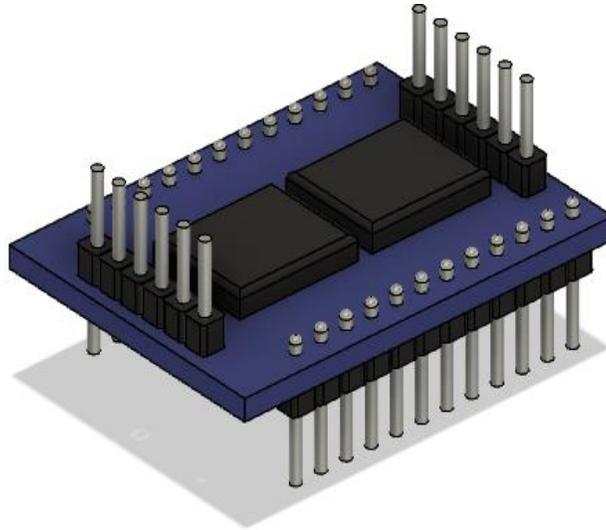


Fig. 11. CAD circuito de potencia

En la figura 7 se observa el CAD de la tarjeta de potencia con su pin header tipo macho, los inferiores se ajustan a la tarjeta de control y los superiores van a los 6 motores, 2 para cada motor, estos cambian el sentido de los dedos ya sea que estén en flexión o extensión y los puentes H.

El espacio que ocupa el circuito completo es ideal para su tamaño y para ser incorporado al mecanismo. Cada movimiento de la mano de la mano corresponde a un color que emite el LED. Esta herramienta visual permite al usuario cuál función está activa y a su vez desplazarse por los diferentes estados a través del botón o por pulsaciones en un determinado tiempo, esto facilita a que el modo pase de un movimiento a otro sin necesidad de ir en secuencia.

Los 5 movimientos definidos son:

Para el modo uno la señal es el color rojo en el LED y este abre y cierra todos los dedos, cabe resaltar que el dedo pulgar debe tener un pequeño retraso de 300 milisegundos en el cierre frente a los demás dedos para que no choquen entre ellos y colapsen. Las siguientes imágenes ilustran cada movimiento y/o estado de la mano.



Fig. 12. Cierre de todos los dedos

La mano tarda aproximadamente un segundo en cerrar permitiendo agarrar o sujetar un objeto o superficie.



Fig. 13. Apertura todos los dedos

Contrariamente en la apertura de la mano el retraso está en los 4 dedos en la misma cantidad de tiempo, siendo el pulgar el que inicia el movimiento seguido de los demás.

En el modo 2 está configurado el movimiento de extensión del pulgar, el cual simula el movimiento hecho por el extensor largo del pulgar, llevando este dedo desde el interior al exterior de la mano y viceversa. El color que indica esta función es el azul.



Fig. 14. Extensión del pulgar

El tercer modo es el movimiento de pinza por oposición terminal en el que solo interviene el pulgar e índice, este movimiento es para agarre de ciertos objetos.



Fig. 15. Cierre por pinza

Para el modo 4 correspondiente al color verde está asociado únicamente a la abducción y aducción del dedo pulgar.



Fig. 16. Abducción y aducción del pulgar

Este movimiento se puede hacer con los demás dedos flexionados o extendidos según requiera el usuario.

El quinto estado es solo para el movimiento del dedo índice, útil en tareas como digitación de un teclado o para sostener un objeto, el color asociado a esta condición es el violeta.



Fig. 17. Extensión del índice

Idealmente este movimiento se hace con los demás dedos en flexión evitando un solapamiento entre ellos y una correcta funcionalidad de la mano.

Otro aporte consignado en la programación es que aplicamos la librería de preferencias que es similar a la EEPROM y deja registro del último estado que tuvo la mano antes de ser desconectada de la batería.

VI. ANÁLISIS

En el mercado mundial existen cientos de alternativas de prótesis, hay de carácter mecánico, neumático, y eléctricas, siendo estas últimas las que más se ajustan a la naturaleza del cuerpo, desde la adquisición de la señal mioeléctrica hasta interpretar y traducir en un movimiento determinado. Según la calidad y avances tecnológicos se fija un monto económico de coste. Compañías como BrainCo desarrolla prótesis robóticas de mano que se controla completamente con los pensamientos del usuario, concluyendo que el sistema de control es complejo y por tanto costoso.

Particularmente la prótesis A3D posee un sistema de control más sencillo en comparación a algunos referentes de prestigio internacional, sin embargo, esta actualización le abre un camino a muchos avances que se han logrado, por ejemplo, asociar las señales mioeléctricas a un sistema de inteligencia artificial traduciendo a nuevas acciones o movimientos, o que a través de un historial almacene un repositorio de usos prediciendo algunas rutinas.

Seguramente este no será la última mejora, pero si le da a la prótesis como la empresa una posición más contemporánea en cuanto a electrónica y que servirá como base para nuevos desarrollos o productos extendiendo su brecha comercial.

VII. CONCLUSIONES

En resumen, todas las versiones de las PCB 's aportaron experiencia en diseño y definir los componentes empleados, logrando solucionar cada obstáculo sobre la marcha hasta lograr definir un modelo final, cumpliendo la meta trazada en cuanto a tamaño y función. Profundizando en el diseño de circuitos impresos por medio del programa EAGLE, estos se fabricaron en 2 empresas diferentes, OSHPARK en EEUU y JLCPCB en China, ambos arrojaron resultados similares en calidad y tiempo de entrega, pero estéticamente sobresalen los de OSHPARK, aunque en precio la empresa China es más favorable.

En cuanto a la soldadura en este tipo de circuitos se logró mucha destreza, pues manipular piezas pequeñas como la 0603 y componentes electrónicos pequeños requiere de movimientos muy finos y cuidadosos para no entrar en contacto con otras líneas o pines.

Incorporar el ESP32 en la nueva tarjeta de control requirió un estudio y documentación constante logrando no solo hacer las funciones de movimiento sino abrir una ventana para aplicar los desarrollos contemporáneos brindando vigencia y facilitando futuros aportes que posicione esta prótesis en un referente de internacional y competente en dicho mercado.

Trabajar con lenguaje arduino facilitó implementar avances fascinantes como programar a distancia, facilitando actualizaciones y mantenimiento, gracias la cantidad de información disponible en línea y la gran comunidad en torno a este software que por ser de carácter open source es de alta utilización. Gracias a esto pudimos ejecutar librerías muy usadas en la actualidad como la arduino OTA, WiFi y la Preferences, y que en el microcontrolador de Freescale no existen, además para futuros avances puede haber otras ya que constantemente la información crece y se moderniza.

Finalmente se profundizó bien el mecanismo de la mano de prótesis avanzadas, comprendiendo su funcionamiento y adaptando el circuito a las necesidades de esta, por eso fue importante conocer datos de consumo de corriente, baterías a usar y en general los componentes como reguladores, transistores, resistencias, capacitores y hasta el mismo conversor USB a UART.

VIII. RECOMENDACIONES

Para futuros avances en la tarjeta y ya más como producto comercial considero la instalación de diodos como sistema de protección, sobre todo en los pines donde hay conexión a batería o fuente de voltaje evitando cortocircuito ya que en este desarrollo fue común estos eventos, cuando un cable por error tocaba otro pin el módulo sufría un daño permanente provocando reprocesos, retrasos y sobrecostos. Así mismo que la tarjeta de control y la de potencia puedan estar en una sola. Actualmente hay drivers de motores que son de tamaño reducido y de igual potencia a la L293DD que es el actual.

Además, sugiero que para darle uso rápido y significativo a este avance es necesario que trabajen en una app móvil en la cual tanto el usuario como el área técnica de prótesis avanzadas pueda hacer un seguimiento a los distintos parámetros de la prótesis.

Un inconveniente frecuente en la actualidad es que los sensores mioeléctricos no hacen una lectura correcta bien sea porque la señal es alta o baja y la prótesis no tienen un funcionamiento óptimo, la idea es ajustar la ganancia desde una aplicación sin necesidad de intervenir manualmente la mano.

Finalmente, este desarrollo brindaría mejor experiencia al usuario, comodidad y un uso diverso donde se pueden agregar botones táctiles que comprueben el estado del movimiento de cada dedo y un modo demo que haga un recorrido por todos los movimientos de las manos.

REFERENCIAS

- [1] Freescale, «Freescale Semiconductor,» [En línea]. Available: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MC9S08SE8.pdf> . [Último acceso: 8 septiembre 2022].
- [2] M. SMART, «MOKOSmart aplica LoRaWAN y Bluetooth para utilizar la industria médica de IoT,» [En línea]. Available: <https://www.mokosmart.com/es/iot-medical-industry/>. [Último acceso: 08 08 2022].
- [3] Á. B. Herranz, «Escuela Politécnica Superior,» 2019. [En línea]. Available: <https://bit.ly/3M7UsjT>. [Último acceso: 08 08 2022].
- [4] Industrial Shields, «Múltiples aplicaciones para múltiples sectores.,» [En línea]. Available: <https://bit.ly/3ftRycR>. [Último acceso: 09 08 2022].
- [5] L. LESMES, «Portafolio,» 31 01 2022. [En línea]. Available: <https://bit.ly/3LPXR6F>. [Último acceso: 10 08 2022].
- [6] Actualidad RT, «Las tensiones en Taiwán podrían provocar una escasez de semiconductores a nivel mundial,» 08 08 2022. [En línea]. Available: <https://bit.ly/3y23UPP>. [Último acceso: 10 08 2022].
- [7] Espressif Systems, «ESP32 Series,» [En línea]. Available: <https://bit.ly/2E6qqIt>. [Último acceso: 10 08 2022].
- [8] Espressif Systems, «ESP32-DevKitC V4 Getting Started Guide,» [En línea]. Available: <https://bit.ly/3RIZ9r5>. [Último acceso: 11 08 2022].
- [9] «<https://www.shoptronica.com/semiconductores-micros/5737-ch340c-usb-a-puerto-ttl-isp-5v-33v-500ma-0689593933669.html>,» [En línea]. Available: <https://bit.ly/3SF9mzW>. [Último acceso: 11 08 2022].