



UNIVERSIDAD
MODELO
INGENIERÍA

PC4 - Diseño a Detalle

Proyectos VIII

Autores:

Abel Rodríguez

Juan Canché

Jorge Sosa

Ingeniería Mecatrónica

Octavo Semestre

(enero / junio 2026)

27 de enero de 2026

Universidad Modelo Campus Mérida

1.0 Introducción

1.1 Resumen del Avance:

El objetivo general de este proyecto es el desarrollo del PowerPlay Kit, una solución mecatrónica de arquitectura modular diseñada para adaptar sillas de ruedas eléctricas convencionales a las exigencias técnicas del Powerchair Football. Este sistema busca reducir la brecha de accesibilidad económica en México, permitiendo que usuarios con discapacidad motriz severa participen en entrenamientos y prácticas deportivas sin la necesidad de adquirir sillas especializadas de alto costo.

El propósito del presente entregable (PC4) es demostrar la viabilidad técnica del diseño conceptual aprobado en la etapa anterior mediante la ejecución de las primeras pruebas de funcionalidad. En este reporte se presentan avances críticos que marcan la transición del diseño a la implementación física. En el área electrónica, se ha logrado establecer la comunicación inicial entre el controlador desarrollado y el sistema electrónico de la silla, validando la capacidad de enviar comandos para generar movimiento, además de haber concluido el diseño y desarrollo de la PCB final que centraliza el procesamiento de señales. Por la parte mecánica, se presenta la verificación final del rediseño de los sistemas de acople, asegurando que la estructura se integre de forma robusta y segura al chasis. Estos resultados tangibles validan el desempeño de los subsistemas frente a los requisitos y criterios de aceptación establecidos en las fases de planeación.

1.2 Vínculo con Diseño Conceptual (PC3):

A partir del modelo CAD, se inició una etapa de validación mecánica enfocada en identificar las zonas críticas del sistema y comprobar si la geometría propuesta era capaz de soportar las cargas generadas durante el uso deportivo.

Durante las pruebas realizadas con el primer prototipo físico, se detectó que la principal falla mecánica ocurría en el sistema de acople, presentándose deformaciones permanentes en esta zona después de impactos y esfuerzos torsionales. Debido a esto, el análisis estructural del PC4 se concentra en esta pieza, ya que representa el punto de transferencia de carga entre el sistema de protección y el chasis de la silla.

Se realizaron simulaciones estructurales mediante SolidWorks Simulation aplicando condiciones de frontera y cargas representativas del comportamiento real del sistema.

El análisis se enfocó principalmente en:

- **Desplazamiento total (URES):** utilizado para identificar deformaciones globales de la pieza y verificar la estabilidad geométrica del sistema bajo carga.
- **Deformación unitaria equivalente (ESTRN):** utilizada para localizar las zonas de mayor deformación y concentración de esfuerzos sobre la geometría del acople.

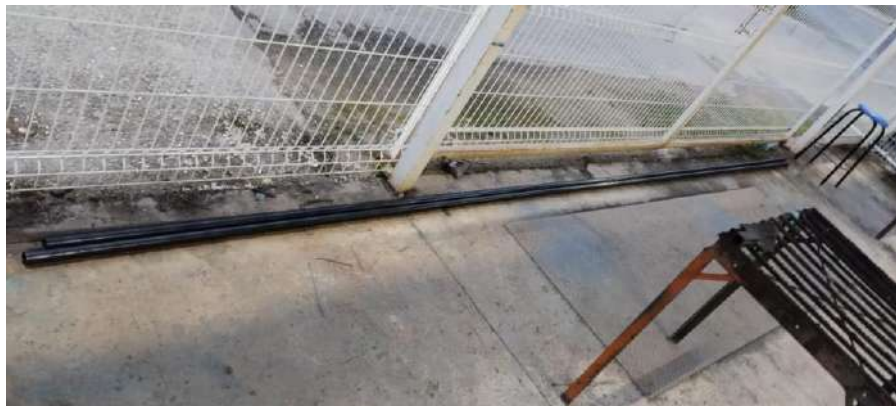
2.0 Implementación Física (Hardware y Mecánica)

2.1 Fabricación y Ensamblaje Mecánico:

Durante esta etapa del proyecto se inició la fabricación física de los componentes estructurales del sistema PowerPlay Kit, tomando como referencia directa el modelo CAD y las dimensiones definidas durante el diseño conceptual y detallado del PC3.

El proceso de manufactura comenzó con la preparación y corte de los perfiles estructurales necesarios para la construcción del footguard, rearguard y el sistema de acoples.

Los cortes fueron realizados conforme a las dimensiones establecidas en el modelo CAD, considerando ángulos, longitudes y tolerancias necesarias para garantizar la correcta alineación de las piezas durante el ensamblaje. Esta etapa permitió obtener los segmentos estructurales principales que conforman la geometría del sistema de protección frontal y posterior.

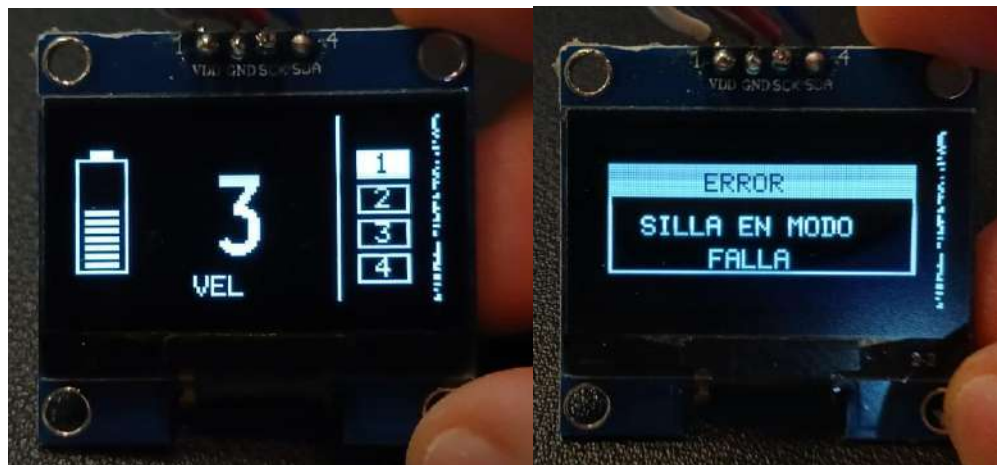


Posteriormente, se inició el proceso de ensamblaje mecánico mediante operaciones de punteo, alineación y soldadura de los componentes estructurales. Durante esta fase se comenzó la unión de las piezas correspondientes al sistema de acople y a los protectores del footguard y rearguard, verificando constantemente la geometría y simetría del conjunto para evitar desviaciones dimensionales respecto al diseño original.



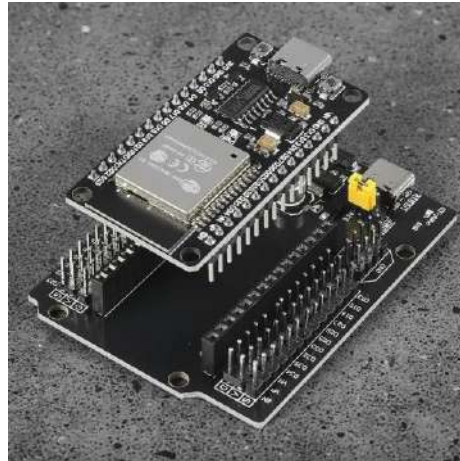
2.2 Ensamblaje Eléctrico y de Control

En esta etapa del proyecto se realizó el ensamblaje preliminar del sistema electrónico de control utilizando una protoboard, con el propósito de validar el funcionamiento de los principales componentes del joystick PowerPlay Kit antes del diseño y fabricación de la PCB definitiva. Esta fase permitió comprobar la comunicación entre periféricos, la lectura de entradas analógicas y el funcionamiento básico de la interfaz gráfica desarrollada para el sistema.

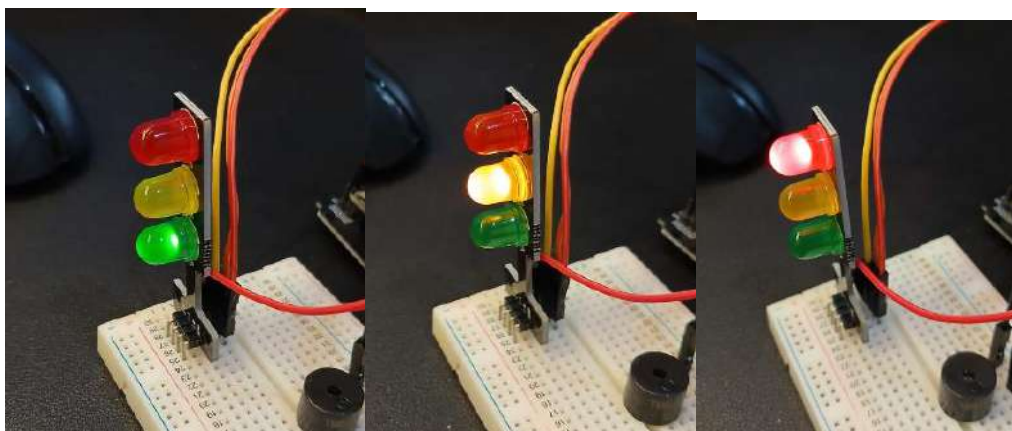


El sistema fue desarrollado utilizando un microcontrolador ESP32 Dev Module, el cual se empleó como unidad principal de procesamiento debido a su capacidad para manejar

entradas analógicas, comunicación I2C y múltiples periféricos simultáneamente. Durante las pruebas iniciales se utilizó una shield de expansión para facilitar las conexiones rápidas hacia alimentación y señales GPIO.

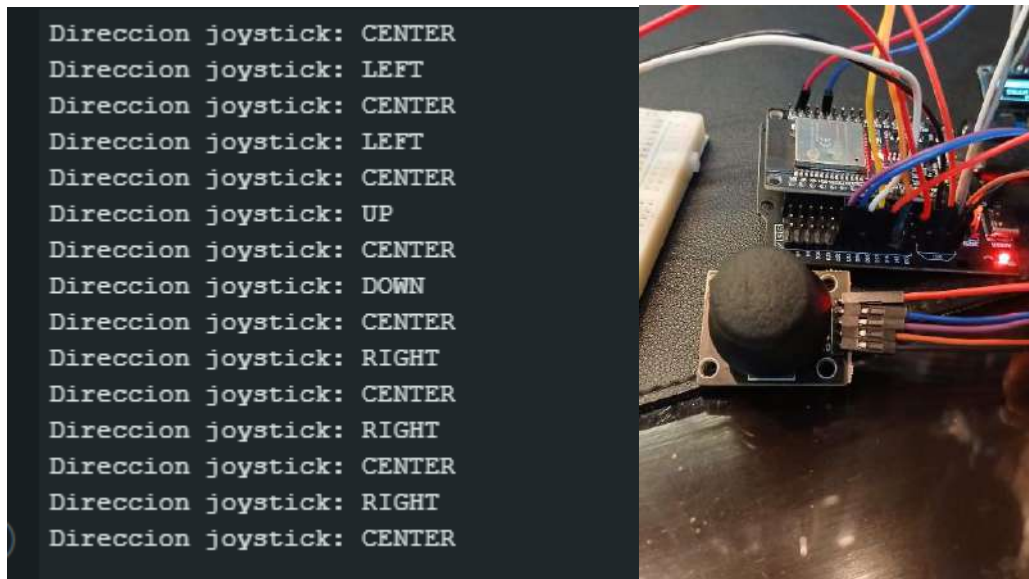


Como interfaz gráfica se integró una pantalla OLED de 128x64 píxeles mediante protocolo I2C. La pantalla fue utilizada para mostrar las diferentes interfaces del sistema, incluyendo la pantalla principal, menús de configuración, perfiles de usuario y mensajes de error. Durante las pruebas se validó la correcta comunicación entre la pantalla y el ESP32, así como la visualización de elementos gráficos y texto en tiempo real.



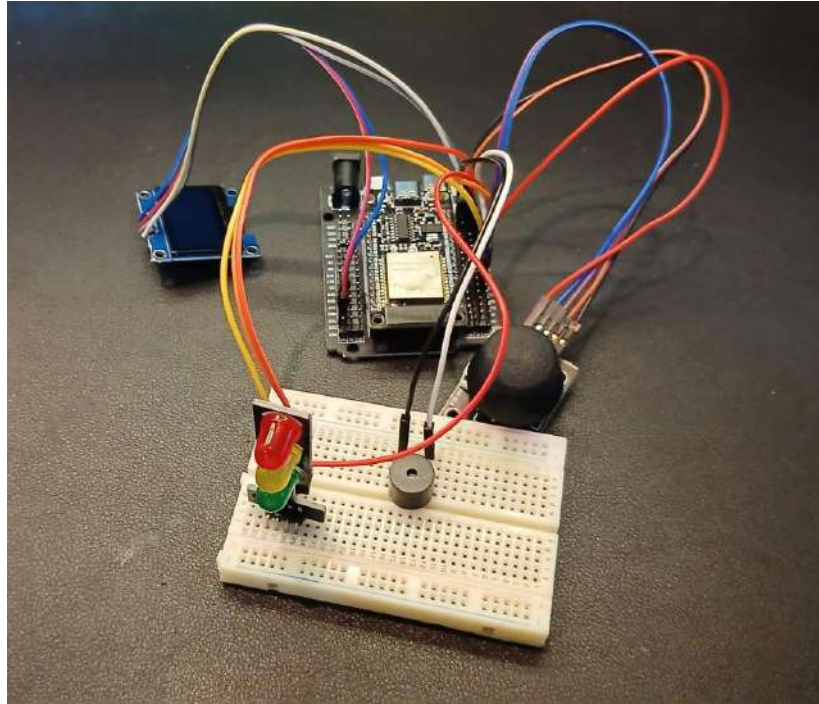
Para la navegación dentro del sistema se conectó un joystick analógico de dos ejes, utilizado tanto para simular el movimiento direccional de la silla como para desplazarse dentro de

los menús de configuración. El joystick permitió validar la lectura de entradas analógicas y la detección de movimientos en distintas direcciones mediante el ESP32.



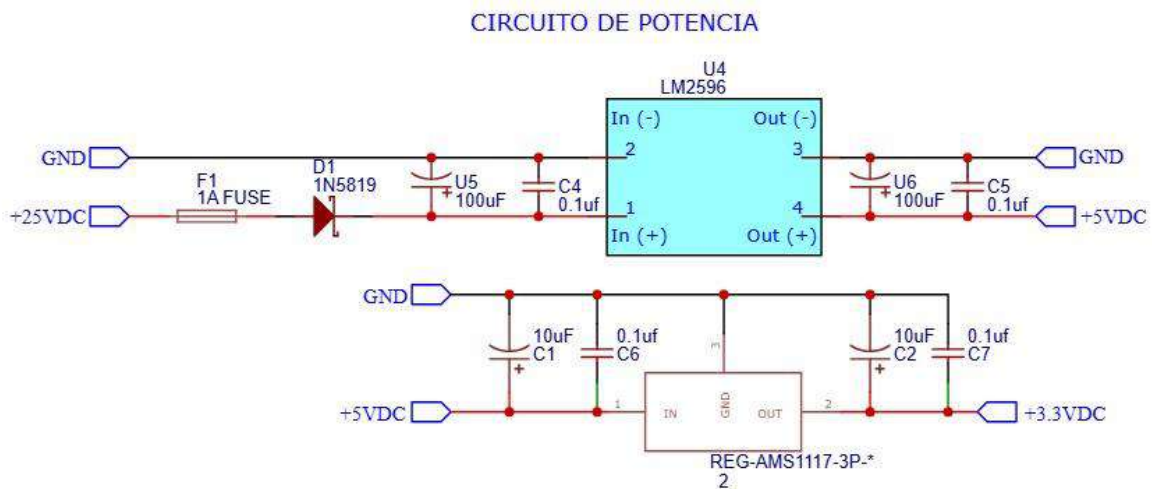
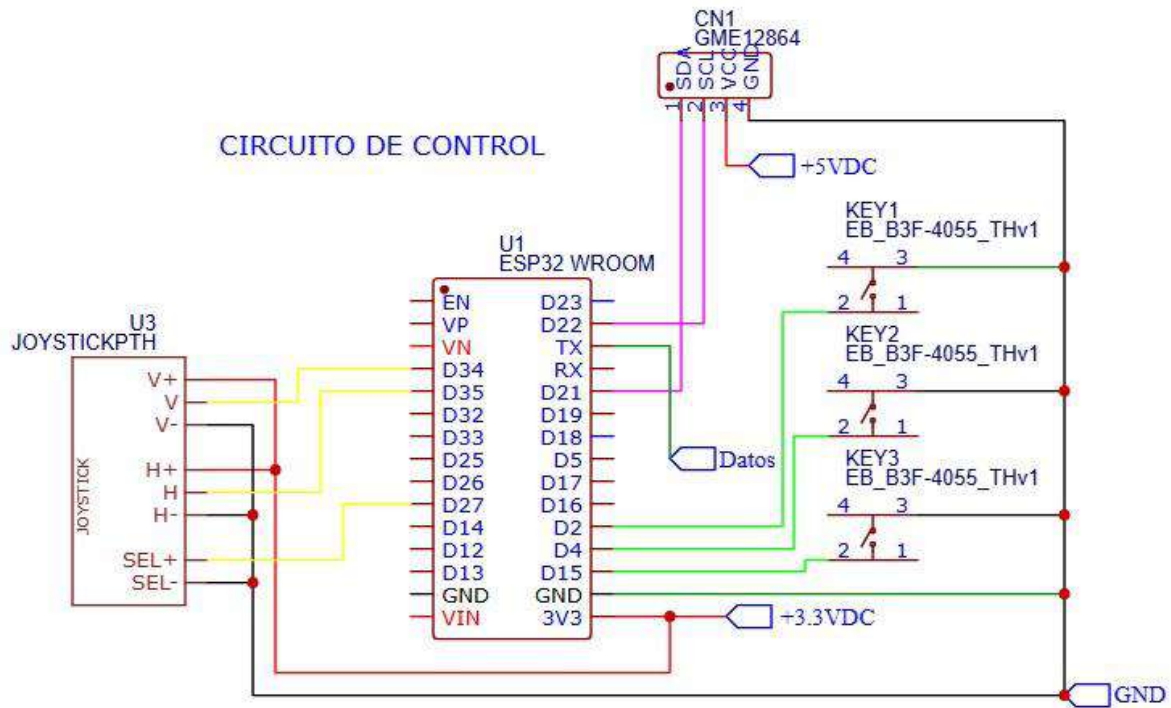
Adicionalmente, se integró un módulo de LEDs tipo semáforo para representar distintos estados operativos del sistema y un buzzer piezoeléctrico utilizado para generar señales auditivas de confirmación y alertas durante la navegación de la interfaz.

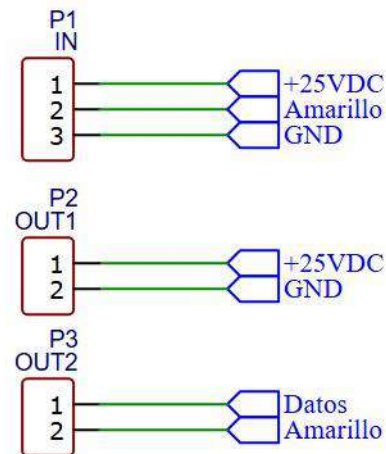
Durante el ensamblaje y las pruebas se detectaron algunos problemas relacionados con falsos contactos en los jumpers y conexiones flotantes en las entradas analógicas del joystick, los cuales fueron corregidos reajustando conexiones y verificando continuidad en el sistema. Estas pruebas permitieron validar el correcto funcionamiento básico de los componentes electrónicos antes de avanzar hacia la integración final del controlador.



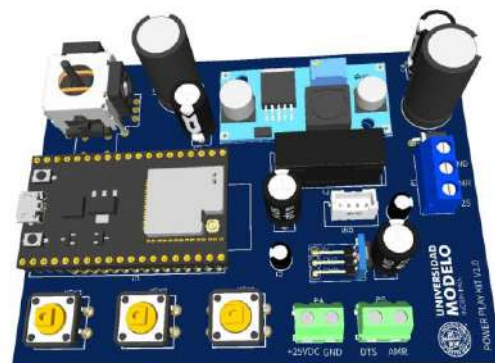
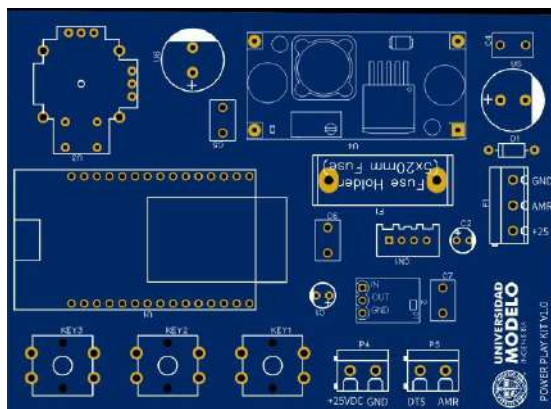
2.3 Esquemas "As-Built"

Durante la etapa de implementación y diseño detallado del circuito electrónico en EasyEDA, fue necesario realizar diversas mejoras y ajustes respecto al esquema conceptual desarrollado inicialmente en PC3. Conforme avanzó la integración del sistema, se identificaron conexiones que no habían sido contempladas completamente en el diseño preliminar, como las líneas de comunicación de datos y la integración adecuada de conectores tipo screw terminal para la conexión del sistema VR2. Debido a esto, el circuito fue refinado y reorganizado con el objetivo de mejorar la claridad del diagrama, optimizar la distribución de señales y facilitar futuras etapas de ensamblaje y depuración del sistema.





Asimismo, durante el proceso de diseño PCB se modificaron algunos componentes y representaciones utilizadas inicialmente en el esquema conceptual, ya que varias de ellas no eran necesarias para la implementación física final de la tarjeta. Por ejemplo, en un inicio se había considerado colocar directamente la huella completa de la pantalla gráfica sobre la PCB; sin embargo, posteriormente se optó por utilizar un conector JST de 4 pines para facilitar el ensamblaje, mantenimiento y conexión de la pantalla GME12864. De igual manera, se reemplazaron algunas huellas incompatibles o poco prácticas, como ciertos modelos de screw terminals que no coincidían adecuadamente con las dimensiones y distribución requeridas. Finalmente, tras reorganizar la distribución de componentes y optimizar las rutas eléctricas, se establecieron dimensiones finales aproximadas de 80 mm × 110 mm para la tarjeta PCB.



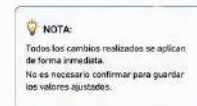
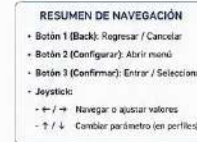
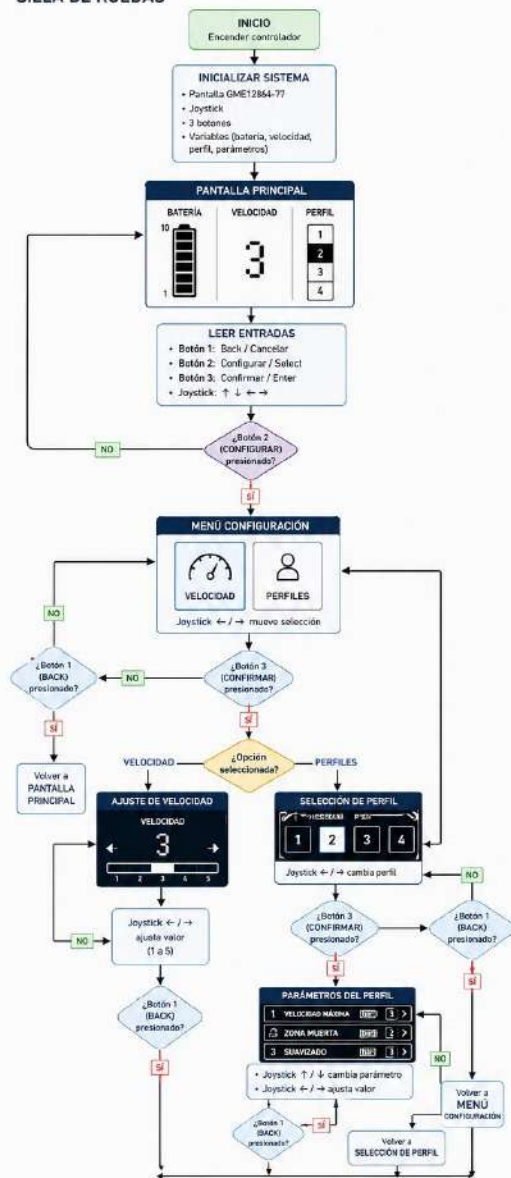
3.0 Implementación Lógica (Software y Simulación Detallada)

3.1 Desarrollo de Lógica de Control y Código:

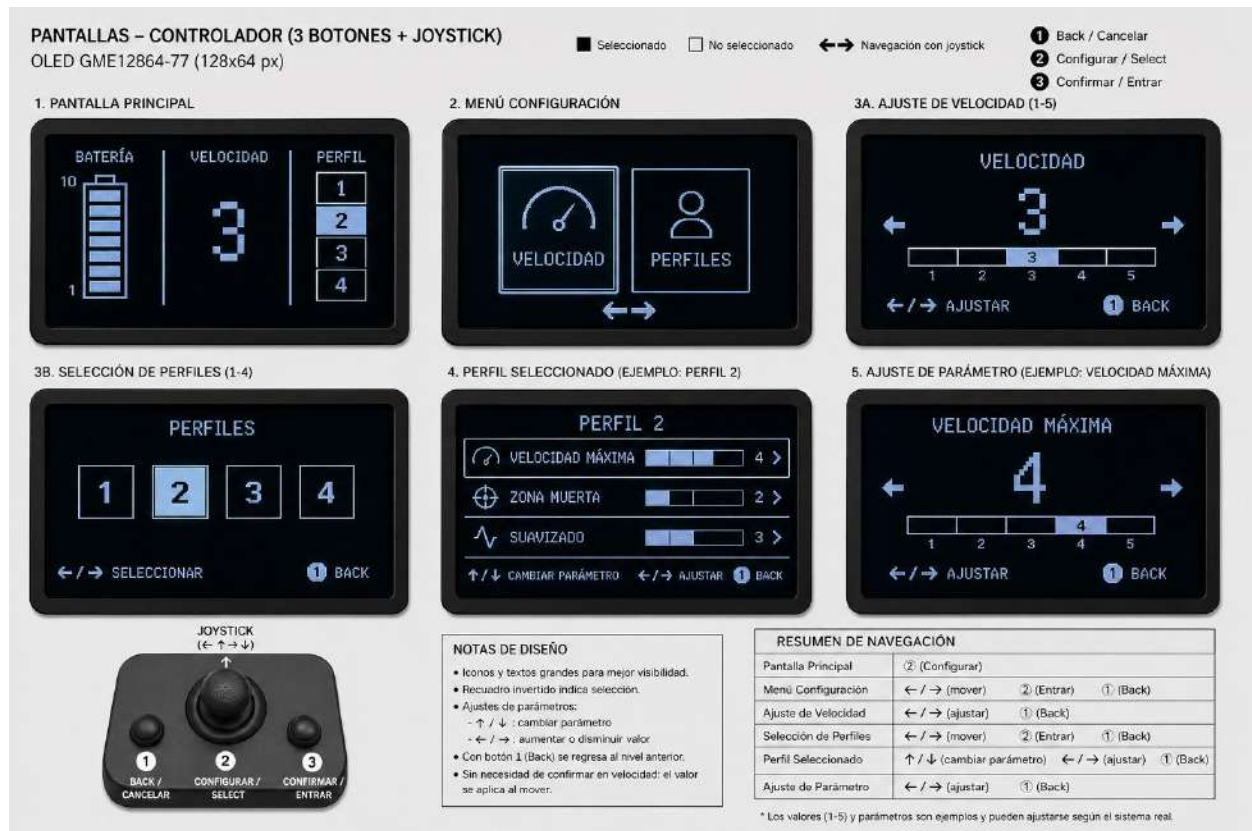
Durante esta fase se desarrolló la lógica principal de navegación e interacción del controlador utilizando un ESP32 programado mediante Arduino IDE. El objetivo principal fue validar el comportamiento funcional de la interfaz gráfica, la lectura de entradas del joystick y la navegación entre las distintas pantallas del sistema antes de implementar la integración definitiva con el controlador VR2 de la silla de ruedas.

La arquitectura del software fue diseñada bajo una lógica modular basada en estados de pantalla, permitiendo dividir el funcionamiento del sistema en distintos modos de operación, tales como pantalla principal, menú de configuración, ajuste de velocidad, selección de perfiles y modificación de parámetros internos. Esta metodología permitió simplificar la navegación y facilitar futuras modificaciones al sistema.

DIAGRAMA DE FLUJO – CONTROLADOR SILLA DE RUEDAS



La lógica de navegación fue implementada utilizando un joystick analógico y tres botones principales: Back/Cancelar, Configurar/Select y Confirmar/Entrar. El joystick se empleó tanto para desplazarse entre opciones como para modificar valores internos de parámetros configurables. Para efectos de validación temprana, algunas funciones fueron simuladas mediante comandos enviados desde el monitor serial de Arduino IDE.



El sistema desarrollado actualmente permite:

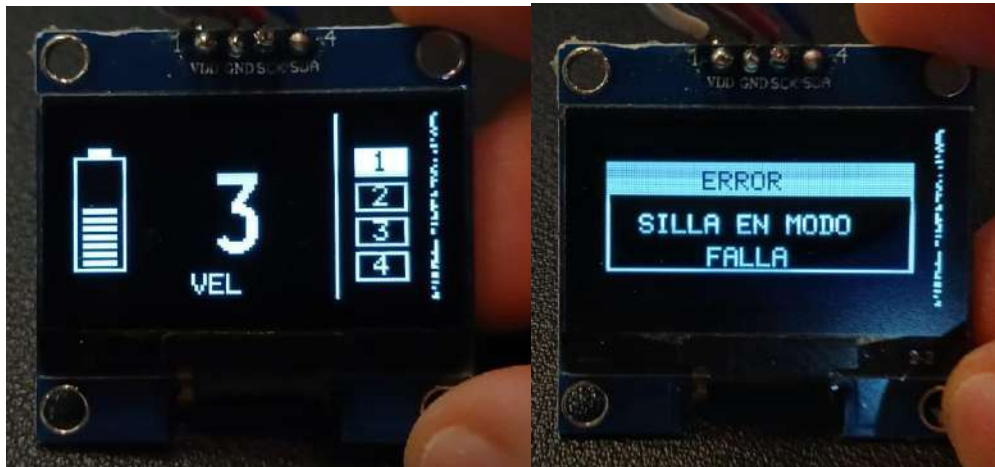
- Visualizar información principal del sistema en pantalla OLED.
- Navegar entre distintos menús de configuración.
- Modificar niveles de velocidad.
- Seleccionar perfiles de usuario.
- Ajustar parámetros internos asociados al comportamiento del joystick.
- Mostrar mensajes de error y confirmación mediante popups visuales.
- Activar indicadores luminosos y alertas auditivas mediante LEDs y buzzer.

Dentro del código se implementó una estructura basada en máquinas de estado, donde cada pantalla representa un estado independiente del sistema. Esta metodología permitió mantener organizada la lógica de navegación y mejorar la estabilidad del software durante las pruebas de integración.

Asimismo, se añadieron variables temporales de edición para evitar modificaciones accidentales en los parámetros del sistema. De esta manera, los cambios únicamente son

aplicados cuando el usuario confirma explícitamente la acción mediante el botón de aceptación, simulando el comportamiento esperado en un controlador comercial.

Actualmente también se encuentra en investigación la implementación de nuevas estrategias de control para mejorar la respuesta dinámica del joystick y reducir movimientos involuntarios del usuario. Entre las alternativas consideradas se evalúan técnicas de suavizado y control tipo deadband/deadbeat, orientadas a minimizar ruido en las entradas analógicas y proporcionar una conducción más estable y precisa en aplicaciones deportivas de alta sensibilidad.



Las pruebas preliminares demostraron un funcionamiento estable de la navegación gráfica, lectura de entradas y administración de perfiles, permitiendo validar la viabilidad de la arquitectura lógica planteada para el sistema PowerPlay Kit.

3.2 Resultados de Simulación Detallada (FEA/CFD):

El análisis se desarrolló tomando como referencia las condiciones de carga más críticas observadas durante el uso del sistema, particularmente impactos frontales y esfuerzos transmitidos desde el footguard hacia el chasis de la silla eléctrica.

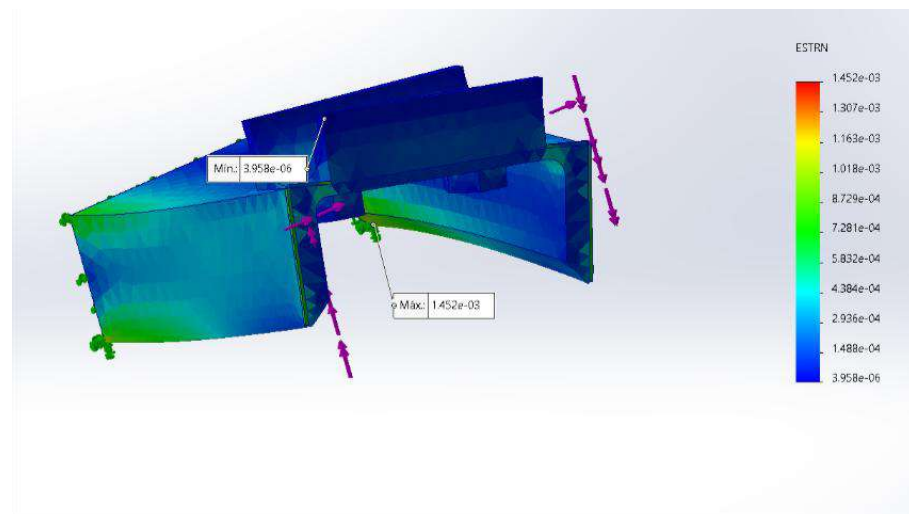
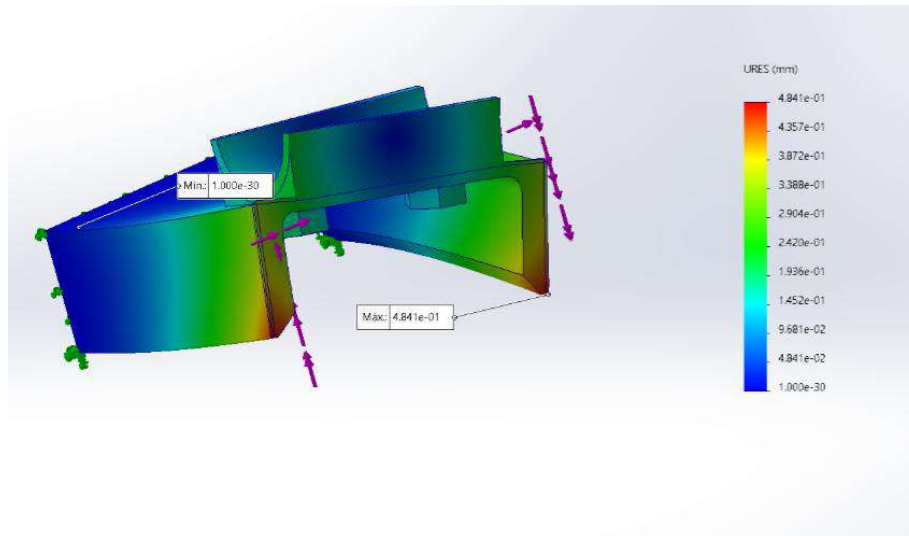
Las restricciones fueron aplicadas en las zonas de fijación del acople, mientras que las cargas se aplicaron en la dirección principal de impacto observada durante las pruebas físicas preliminares.

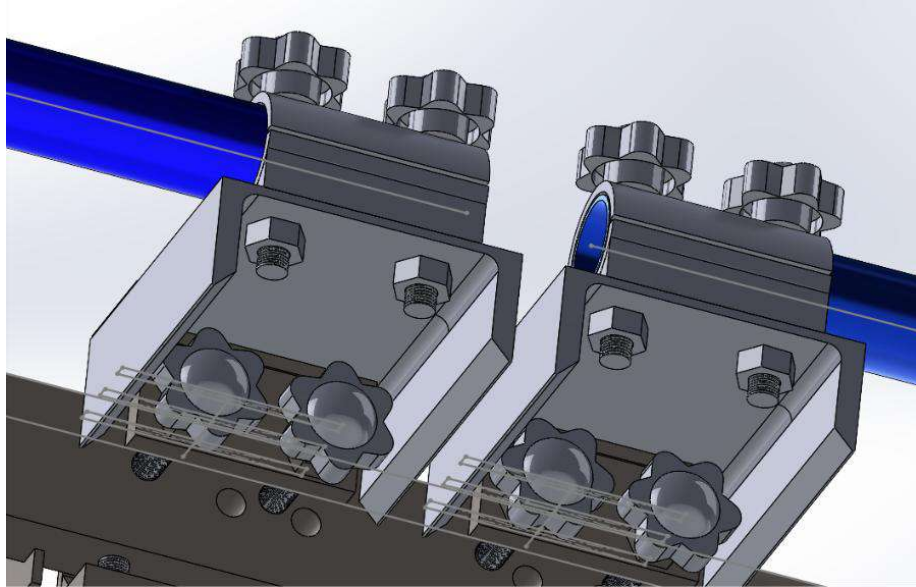
Los resultados obtenidos permitieron identificar la distribución de esfuerzos y deformaciones dentro del componente, validando el comportamiento estructural del rediseño y permitiendo detectar las zonas críticas con mayor concentración de carga.

El mapa de deformación unitaria mostró que las mayores concentraciones de esfuerzo se localizan en las zonas cercanas a la unión y curvatura del acople, particularmente en las áreas donde existe transferencia directa de carga entre perfiles tubulares. Sin embargo, las deformaciones obtenidas permanecen dentro de un rango aceptable para el comportamiento esperado del sistema.

Por otra parte, el análisis de desplazamiento resultante indicó una deformación máxima aproximada de 0.484 mm en las zonas extremas del componente sometidas a carga. Este valor se considera reducido en relación con las dimensiones generales de la estructura, lo que sugiere que el rediseño mejora considerablemente la rigidez del sistema respecto al prototipo inicial.

Los resultados obtenidos permiten concluir que el rediseño estructural incrementa la capacidad de absorción y distribución de cargas del sistema de acople, reduciendo el riesgo de deformaciones permanentes durante impactos moderados asociados al uso recreativo y de entrenamiento en Powerchair Football.





4.0 Pruebas Preliminares y Validación

4.1 Metodología de Pruebas:

Con el objetivo de validar el funcionamiento integral del controlador electrónico PowerPlay Kit, se definió una metodología de pruebas enfocada en verificar de manera progresiva cada uno de los subsistemas electrónicos, gráficos y lógicos que conforman el prototipo. Las pruebas serán realizadas inicialmente sobre una plataforma de prototipado tipo protoboard utilizando un microcontrolador ESP32 Dev Module, permitiendo detectar errores tempranos antes de la fabricación definitiva de la PCB.

La primera etapa de validación contempla pruebas sobre el subsistema de alimentación y regulación de voltaje. En esta fase se verificará el correcto funcionamiento de la arquitectura de conversión de energía propuesta, compuesta por un regulador LM2596 para reducción de voltaje principal y un regulador AMS1117 para obtención de una línea estable de 3.3 V destinada a la lógica del sistema. Asimismo, se evaluará la respuesta de los elementos de protección eléctrica, incluyendo fusibles reemplazables y diodos Schottky de protección contra inversión de polaridad.

Posteriormente se realizarán pruebas de comunicación gráfica con la pantalla OLED de 128x64 píxeles utilizando protocolo I2C. El procedimiento consistirá en validar la inicialización del módulo, estabilidad de comunicación, velocidad de actualización y correcta visualización de interfaces gráficas desarrolladas para el controlador. También se analizará el desempeño del sistema gráfico bajo navegación continua y actualización dinámica de parámetros.

En la siguiente etapa se efectuarán pruebas de adquisición y procesamiento de señales analógicas mediante el joystick de dos ejes. Se evaluará la lectura de movimientos horizontales y verticales utilizando los convertidores ADC del ESP32, verificando estabilidad de señal, sensibilidad y precisión de detección. Adicionalmente, se analizará el comportamiento del sistema frente a ruido eléctrico y posibles variaciones derivadas de entradas flotantes.

Como parte de las pruebas funcionales también se validará el sistema de retroalimentación visual y auditiva integrado al controlador. Para ello se comprobará la activación correcta de LEDs indicadores asociados a distintos estados operativos del sistema, así como el funcionamiento del buzzer piezoeléctrico durante eventos de confirmación, navegación y alertas.

Una vez validados los periféricos individuales, se realizarán pruebas integrales sobre la lógica de navegación desarrollada para la interfaz HMI del controlador. Estas pruebas incluirán:

- transición entre pantallas,
- selección de perfiles,
- modificación de parámetros,
- ajuste de velocidad,
- confirmación y cancelación de cambios,
- activación de mensajes emergentes de error,
- validación de máquinas de estado.