Memoria Técnica Descriptiva - Balanza Inclusiva

El presente documento describe las características funcionales, las arquitecturas de software y hardware y el principio de funcionamiento de un sistema electrónico destinado a la asistencia de operaciones de pesaje para personas con distintas discapacidades, mediante el uso de recursos visuales, táctiles y auditivos en tiempo real.
La arquitectura implementada permite una operación robusta e intuitiva, facilitando el cumplimiento de objetivos de dosificación y reduciendo errores operativos del usuario.
La utilización de mecanismos de estabilidad, almacenamiento persistente de configuraciones, gestión multitarea y señales auditivas secuenciales aporta un elevado grado de usabilidad y confiabilidad.

El sistema permite:

- Configurar un peso objetivo.
- Adquirir el valor de peso desde una balanza externa.
- Realizar compensación de tara.
- Determinar automáticamente el estado del pesaje respecto al objetivo establecido.
- Informar al operador mediante indicadores gráficos y mensajes de voz.
- Conservar parámetros operativos en memoria no volátil.

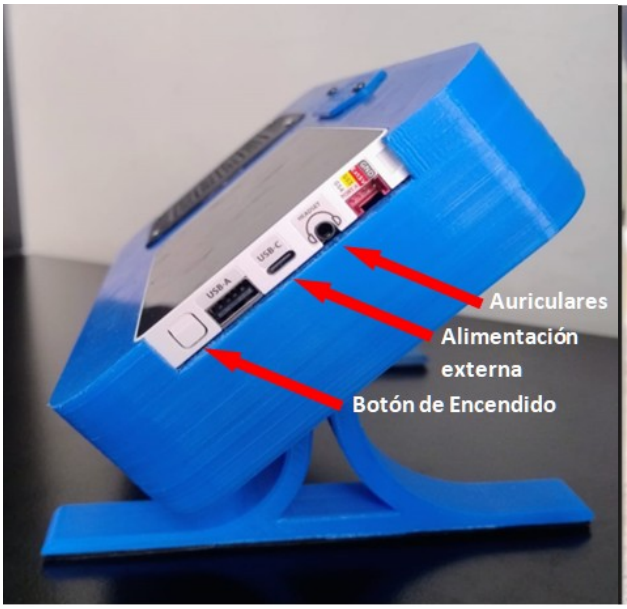
Descripción general del sistema

El equipo se implementa sobre una plataforma embebida basada en un módulo M5Stack TAB5 IoT, el cual integra:

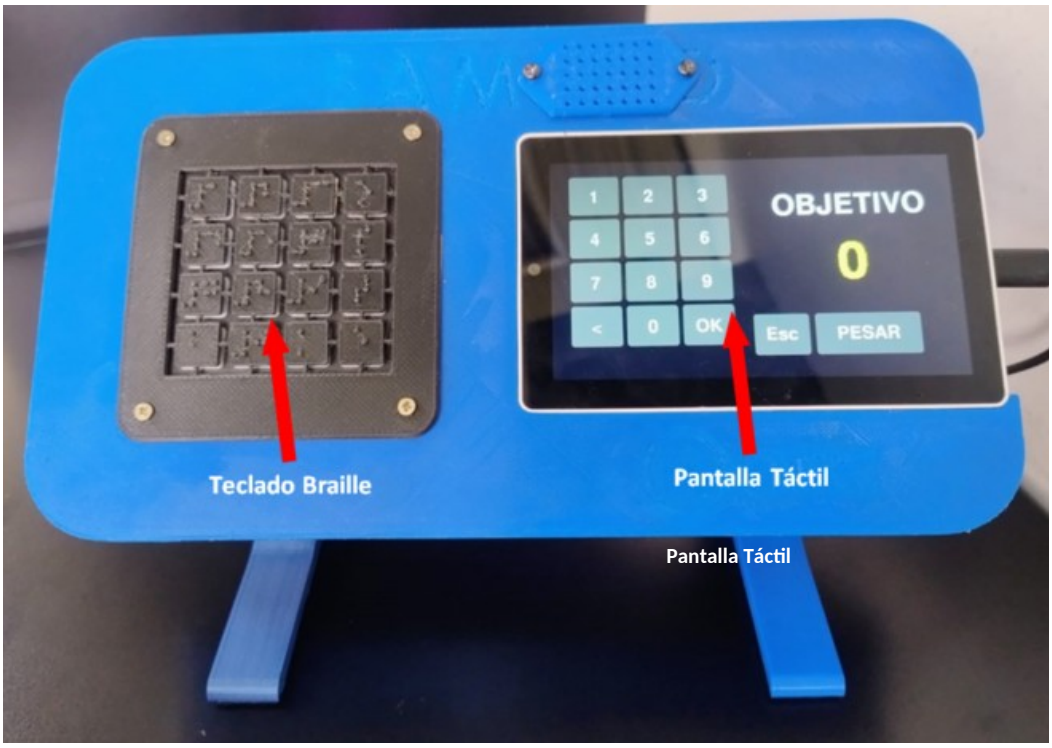
- Pantalla táctil color.
- Procesador ESP32-P4.
- Almacenamiento mediante tarjeta microSD.
- Audio mediante altavoz integrado.
- Comunicación serie RS-232 con balanza externa.
- Teclado Braille matricial externo conectado por interfaz I2C.

El sistema opera como una interfaz hombre-máquina (HMI) dedicada al control de operaciones de pesaje, proporcionando realimentación visual y sonora al operador.

En las siguientes imágenes se observa el sistema desarrollado.







Pantalla Táctil

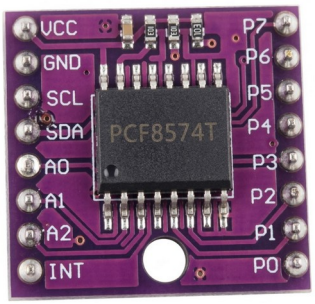
Arquitectura de Hardware

El hardware se basa en el módulo M5Stack TAB5 IoT el cual se conecta mediante su M-Bus con dos módulos externos dedicados a la comunicación serie y al manejo del teclado.

Para la comunicación con la balanza comercial se utiliza el módulo HW-044 adaptador UART-RS232, conectado a los GPIOs G3 y G4 del TAB5.



Para la implementación del teclado Braille, se utiliza el módulo HW-KB (PCF8574T).
La TAB5 se comunica con esté modulo mediante un bus I2C para realizar la lectura del teclado de membrana matricial.





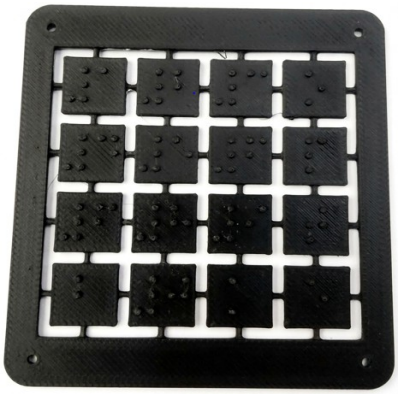
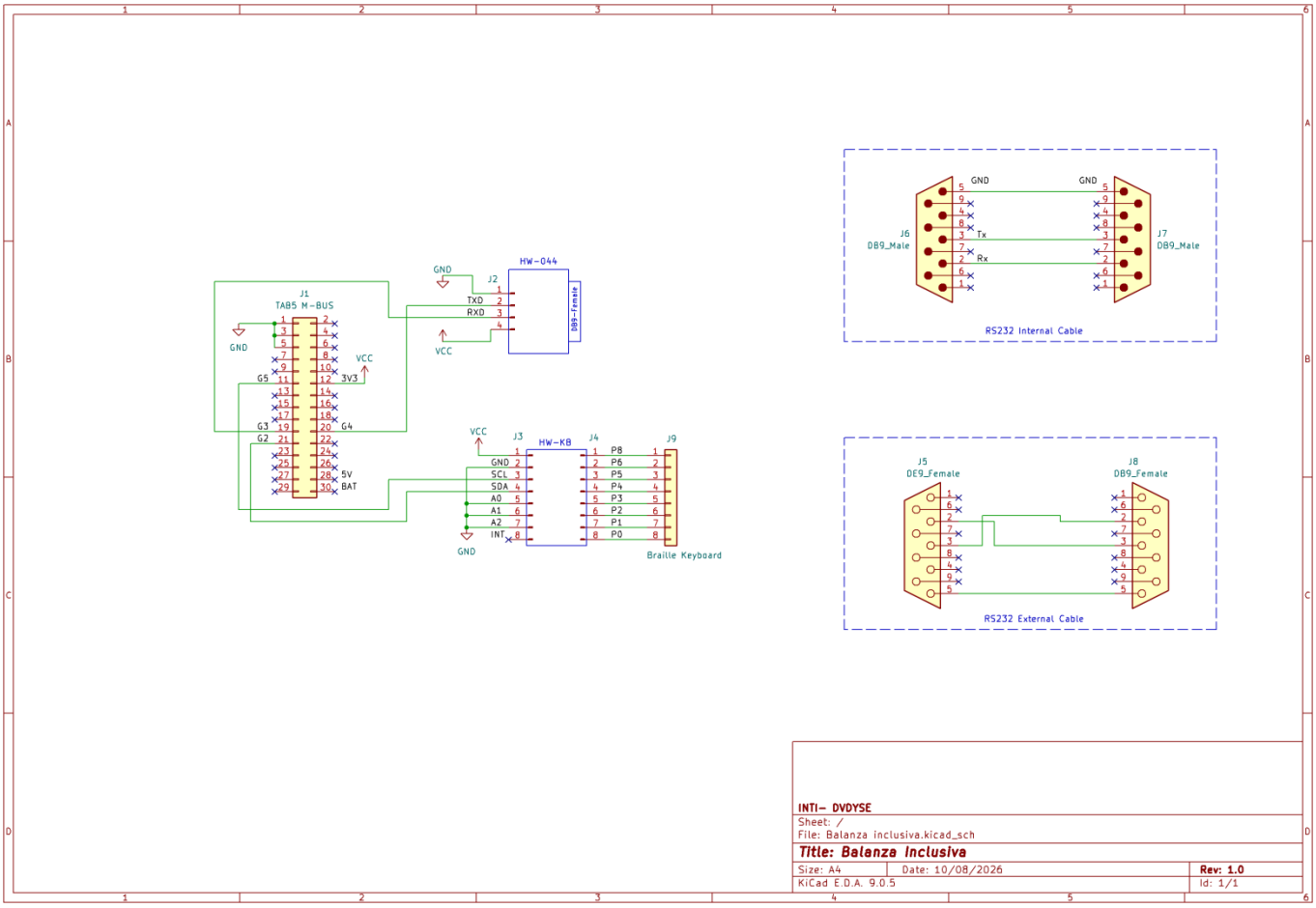
Sobre el teclado de membrana  se monta una plantilla con las teclas Braille.

Diagrama esquemático del circuito electrónico



Arquitectura de Software

El software ha sido desarrollado en lenguaje C++ utilizando un sistema operativo de tiempo real (RTOS).

La aplicación se encuentra estructurada en módulos funcionales independientes:

Módulo	Función
main.cpp	Interfaz de usuario, gestión de tareas y lógica principal.

pesaje.cpp	Procesamiento de tramas provenientes de la balanza comercial.
audios.cpp	Gestión de reproducción de mensajes de voz.

El software se segmenta en tareas concurrentes asignadas a los núcleos de procesamiento del microcontrolador mediante el RTOS para garantizar rendimiento determinista.

Tarea (Task)	**Prioridad**	**Núcleo (Core)**	**Función Principal**
PesajeTask	1	Core 0	Adquisición e interpretación de tramas RS232 desde la balanza.
UITask	1	Core 0	Gestión de interfaz gráfica, entrada táctil, teclado I2C y lógica de estabilidad de peso.
AudioTask	2	Core 1	Reproducción de audio en buffer PCM/WAV sin bloqueo de la interfaz de usuario.

Tarea de Interfaz de Usuario (UITask)

Responsable de:

- Lectura del teclado Braille.
- Lectura de pantalla táctil.
- Actualización gráfica.
- Control de estados de operación.
- Gestión de ahorro energético.

Tarea de Pesaje (PesajeTask)

Responsable de:

- Recepción de datos provenientes de la balanza mediante comunicación serie.
- Ensamblado de tramas.
- Actualización segura de la variable global de peso.

Tarea de Audio (AudioTask)

Responsable de:

- Recepción de eventos de audio.
- Reproducción secuencial de mensajes de voz.
- Administración de memoria utilizada para los archivos WAV.

Comunicación con la Balanza Comercial

La adquisición de peso se realiza mediante una interfaz RS-232 utilizando la UART1 a 9600 bps a través de los pines de expansión G3 y G4 del M-Bus.

Las tramas recibidas presentan el formato:

Weight: <valor> kg

El software:

1. Verifica la validez de la trama.
2. Extrae el valor numérico.
3. Convierte el peso desde kilogramos a gramos.
4. Aplica la compensación de tara.
5. Actualiza la variable global de peso.

Esta estrategia garantiza una adquisición continua y desacoplada de la interfaz del operador.

Configuración del Peso Objetivo

El sistema permite ingresar un peso objetivo mediante:

- Pantalla táctil.
- Teclado Braille matricial externo I2C.

Las características principales son:

- Rango admisible: 0 g a 30.000 g.
- Validación automática de los valores ingresados.
- Indicación visual de errores en la carga de valores.
- Almacenamiento permanente en memoria no volátil (NVS) del ESP32.

Al reiniciar el equipo, el último peso objetivo válido se recupera automáticamente desde memoria no volátil.

Función de Tara

El sistema incorpora función de tara electrónica.

Al activarse:

1. Se registra el valor bruto presente en la balanza.
2. El valor almacenado pasa a utilizarse como offset.

3. Las lecturas posteriores se corrigen respecto de dicho valor.

La tara permite trabajar con recipientes o contenedores sin alterar la precisión del proceso de dosificación.

Algoritmo de evaluación de peso

El sistema compara continuamente el peso actual con el objetivo configurado.

Se establece una banda de tolerancia de ±1 g. Los estados posibles son:

Estado 1: Peso insuficiente

Condición: Peso actual < Objetivo - tolerancia

Acción:
- Flecha verde ascendente.
- Barra de progreso proporcional.
- Mensaje de voz “Agregar”.

Estado 2: Exceso de peso

Condición: Peso actual > Objetivo + tolerancia

Acción:
- Flecha roja descendente.
- Barra roja.
- Mensaje de voz “Sacar”.

Estado 3: Peso correcto

Condición: Objetivo - tolerancia ≤ peso ≤ Objetivo + tolerancia

Acción:
- Barra verde.
- Mensaje de voz “Perfecto”.

Control de Estabilidad del Peso

Para evitar falsas indicaciones originadas por fluctuaciones de la balanza, el sistema incorpora un algoritmo de estabilidad.

Características:

- El peso debe permanecer estable durante 2 segundos.
- Sólo entonces se habilita la reproducción del mensaje correspondiente.
- Se evita la repetición continua de mensajes para el mismo valor.

Esta lógica mejora significativamente la experiencia de uso y reduce distracciones del operador.

Sistema de Indicaciones Auditivas

Los mensajes audibles son almacenados en una tarjeta microSD en formato WAV.

El sistema puede reproducir:

- **Valores numéricos**

  Archivos:
  /0.wav
  /1.wav
  ...
  /30000.wav

- **Mensajes operativos**

  Archivos:
  /objetivo.wav
  /agrega.wav
  /saca.wav
  /perfecto.wav
  /error.wav

La reproducción es no bloqueante y se realiza mediante buffers dinámicos administrados en tiempo real para evitar afectar el funcionamiento de la interfaz de usuario.

Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

La interfaz gráfica se organiza en tres pantallas principales:

Pantalla Inicial

Permite seleccionar:
- Configuración de objetivo.
- Modo de pesaje.

Pantalla de Configuración del Peso Objetivo

Permite:
- Ingreso del peso objetivo.
- Confirmación de valores.
- Corrección de errores en la carga de valores.

Pantalla de Pesaje

Visualiza:
- Peso objetivo.

- Peso actual.
- Indicadores gráficos de estado.
- Nivel de batería.
- Acceso a configuración de objetivo.

Gestión Energética

Con el objetivo de aumentar la autonomía del equipo, se implementaron diversas funciones para reducción del consumo:

- Reducción de la frecuencia del procesador a 80 MHz.
- Desactivación de radios inalámbricas.
- Control de brillo.
- Apagado de pantalla por inactividad.

La pantalla reduce su actividad luego de un período de inactividad, reactivándose automáticamente mediante la interacción del operador.

Seguridad y Robustez Operativa

El software incorpora mecanismos para asegurar la confiabilidad de operación:

- Protección de variables compartidas mediante semáforos RTOS.
- Comunicación entre tareas mediante colas de mensajes.
- Verificación de integridad de tramas recibidas.
- Validación de rangos de entrada.
- Manejo seguro de memoria para archivos de audio.
- Prevención de superposición de reproducciones sonoras.