



EPIGONAL

---

# Informe de Desarrollo de Producto:

## Sistema de Monitoreo Lumbar Inteligente para la Prevención Postural

---

*By:*  
Matias Houston Reeve

*Fecha:* 6 de octubre, 2025

# Índice

<b>1. Resumen Ejecutivo</b>	<b>2</b>
<b>2. Descripción del Proyecto</b>	<b>2</b>
2.1. Problema Detectado . . . . .	2
2.2. Solución Propuesta . . . . .	2
2.3. Objetivos del Proyecto . . . . .	3
2.4. Usuarios Objetivo . . . . .	3
<b>3. Requerimientos de Diseño</b>	<b>3</b>
3.1. Requerimientos Técnicos . . . . .	3
3.2. Requerimientos Funcionales . . . . .	4
3.3. Restricciones de Diseño . . . . .	4
<b>4. Diseño del Sistema</b>	<b>5</b>
4.1. Arquitectura General . . . . .	5
4.2. Componentes Principales . . . . .	5
4.3. Diseño Mecánico . . . . .	7
4.4. Diseño Electrónico . . . . .	9
4.5. Flujo de Funcionamiento del Sistema . . . . .	9
<b>5. Costos y Viabilidad</b>	<b>10</b>
5.1. Estado Actual del Prototipo (MVP) . . . . .	10

---

## 1. Resumen Ejecutivo

El presente proyecto desarrolla un sistema inteligente de monitoreo lumbar orientado a la prevención de lesiones posturales mediante la medición continua y no invasiva de la presión e inclinación en la zona lumbar. La iniciativa busca abordar el creciente problema de las dolencias musculoesqueléticas derivadas de largas jornadas sedentarias y deficiencias ergonómicas, una de las principales causas de ausentismo laboral y pérdida de productividad.

El sistema está basado en la placa LILYGO T-Display S3, que integra un microcontrolador ESP32-S3, pantalla incorporada, cargador LiPo y conectividad BLE/Wi-Fi. Sobre esta plataforma se conectan sensores de presión (FSR) y una unidad inercial (IMU) que permiten capturar en tiempo real la distribución de cargas y los movimientos del tronco. El microcontrolador procesa y analiza las señales, detecta patrones de mala postura, genera alertas tempranas y registra datos de comportamiento postural. Su diseño modular y portátil, junto con un bajo costo de producción, facilita su implementación en sillas de oficina, espacios educativos o entornos clínicos sin necesidad de infraestructura adicional.

Actualmente se dispone de un prototipo funcional con lecturas estables, autonomía superior a 12 horas y comunicación inalámbrica. El siguiente paso contempla la validación con usuarios y el desarrollo de una interfaz móvil para visualización y seguimiento. Este avance posiciona al proyecto como una solución tecnológica escalable con alto potencial de impacto en los sectores de ergonomía, salud ocupacional y bienestar digital.

## 2. Descripción del Proyecto

### 2.1. Problema Detectado

Las dolencias lumbares y los trastornos posturales representan una de las principales causas de ausentismo laboral, fatiga y disminución de la productividad en trabajadores y estudiantes. La exposición prolongada a posturas incorrectas genera tensiones musculares acumulativas que pueden derivar en lesiones crónicas. A pesar de la creciente conciencia sobre la ergonomía, la mayoría de las soluciones disponibles se limitan a recomendaciones pasivas, sin ofrecer retroalimentación en tiempo real ni un registro continuo del comportamiento postural.

### 2.2. Solución Propuesta

El proyecto propone el desarrollo de un sistema inteligente de monitoreo lumbar basado en la placa LILYGO T-Display S3, que integra un microcontrolador ESP32-S3 con pantalla, cargador de batería LiPo y conectividad inalámbrica BLE/Wi-Fi. El sistema combina sensores de presión (FSR) y una unidad inercial (IMU) para registrar de forma continua la distribución de carga y la inclinación del tronco. A partir de esta información, el microcontrolador analiza los patrones posturales y detecta desviaciones que indiquen una postura incorrecta. Cuando esto ocurre, el

dispositivo puede emitir alertas visuales en la pantalla o transmitir los datos a una aplicación externa para su análisis. Su arquitectura modular, de bajo consumo y completamente portátil permite su adaptación a distintos tipos de asientos o respaldos sin alterar su estructura original.

## **2.3. Objetivos del Proyecto**

- Diseñar y construir un prototipo funcional autónomo capaz de medir la presión e inclinación en la zona lumbar con precisión y estabilidad.
- Desarrollar un algoritmo de detección postural que permita identificar y clasificar malas posturas en tiempo real.
- Implementar una aplicación y un sistema de comunicación inalámbrica mediante BLE o Wi-Fi para la visualización y registro de datos en una interfaz externa.
- Validar el desempeño del sistema mediante pruebas controladas y sesiones de usuario, evaluando su precisión, autonomía y usabilidad.

## **2.4. Usuarios Objetivo**

El sistema está dirigido a personas que permanecen sentadas por períodos prolongados, como trabajadores de oficina, estudiantes, conductores o pacientes en procesos de rehabilitación física. Asimismo, resulta de utilidad en el ámbito de la salud ocupacional, donde puede apoyar programas de prevención de lesiones musculoesqueléticas y promover hábitos ergonómicos saludables. Su diseño adaptable y de fácil instalación permite su aplicación tanto en entornos laborales como domésticos o clínicos.

# **3. Requerimientos de Diseño**

## **3.1. Requerimientos Técnicos**

El sistema debe ser capaz de medir y procesar en tiempo real las variaciones de presión y la inclinación de la zona lumbar, garantizando precisión, estabilidad y bajo consumo energético. Para ello se consideran los siguientes requerimientos técnicos:

- Utilizar sensores de presión del tipo FSR (Force Sensitive Resistor) con respuesta lineal y rápida frente a cambios de carga.
- Incorporar una unidad inercial (IMU) de tres ejes para determinar ángulos de inclinación y movimientos relativos del tronco.

- Integrar la placa LILYGO T-Display S3, basada en el microcontrolador ESP32-S3, con pantalla incorporada, cargador LiPo integrado y conectividad inalámbrica BLE/Wi-Fi, capaz de ejecutar algoritmos de filtrado y análisis en tiempo real.
- Incluir un convertidor analógico-digital externo ADS1115 de 16 bits, conectado por bus I<sup>2</sup>C, para mejorar la resolución de lectura de los sensores FSR.
- Garantizar una autonomía mínima de 12 horas mediante batería LiPo recargable de 3.7 V (12002000 mAh), con interruptor ON/OFF y fusible PTC de 500 mA para protección.

### 3.2. Requerimientos Funcionales

Desde la perspectiva del usuario y la experiencia de uso, el sistema deberá cumplir con las siguientes funciones:

- Detectar posturas incorrectas mediante la comparación de patrones de presión e inclinación con un estado de referencia calibrado.
- Emitir alertas visuales o sonoras cuando se mantenga una mala postura durante un periodo prolongado.
- Registrar y almacenar datos de comportamiento postural para su análisis posterior o seguimiento remoto.
- Permitir la visualización de información a través de una interfaz local (pantalla integrada del T-Display) o remota (aplicación móvil o plataforma web).
- Operar de forma autónoma y silenciosa, sin interferir con la actividad normal del usuario.

### 3.3. Restricciones de Diseño

Durante el desarrollo se establecen ciertas limitaciones y condiciones de diseño que deben respetarse para garantizar la seguridad y la viabilidad del prototipo:

- El costo total de componentes debe mantenerse dentro de los márgenes definidos para un prototipo de baja escala, asegurando la posibilidad de réplica o producción inicial.
- Las dimensiones del módulo electrónico deben permitir su integración bajo un asiento o en un respaldo sin afectar la comodidad del usuario.
- Todos los componentes eléctricos deben operar a 3.3 V para asegurar compatibilidad y reducir el consumo energético.
- Los materiales del encapsulado deben ser ligeros, resistentes y eléctricamente aislantes, evitando interferencias o riesgos de contacto.

- 
- El cableado debe realizarse mediante conectores JST o Grove para garantizar robustez mecánica y facilitar el mantenimiento o reemplazo de sensores sin necesidad de desarmar el sistema completo.

## 4. Diseño del Sistema

### 4.1. Arquitectura General

El sistema se compone de un conjunto de sensores encargados de capturar información sobre la distribución de presión y el ángulo de inclinación de la zona lumbar. Estos datos son procesados por una unidad de control central basada en el microcontrolador LILYGO T-Display S3, que integra un ESP32-S3 con pantalla incorporada, cargador de batería LiPo y conectividad inalámbrica BLE/Wi-Fi. El microcontrolador ejecuta las tareas de adquisición, filtrado, análisis postural y comunicación con interfaces externas.

El flujo funcional del sistema se organiza en cuatro etapas principales:

1. **Adquisición de datos:** los sensores de presión (FSR) y el sensor inercial (IMU) capturan en tiempo real las variaciones de carga sobre la zona lumbar y la inclinación del tronco.
2. **Procesamiento de señales:** las lecturas analógicas de los FSR son digitalizadas mediante un convertidor ADC externo de 16 bits (ADS1115), lo que otorga mayor resolución y estabilidad. Posteriormente, se aplica un filtrado digital de tipo IIR para reducir el ruido de medición.
3. **Análisis postural:** el ESP32-S3 compara las mediciones actuales con un patrón de referencia calibrado, identificando desviaciones prolongadas o asimetrías que indiquen una postura incorrecta.
4. **Comunicación y retroalimentación:** el sistema presenta los resultados en la pantalla integrada y puede transmitirlos de forma inalámbrica vía Bluetooth o Wi-Fi hacia una aplicación o plataforma externa.

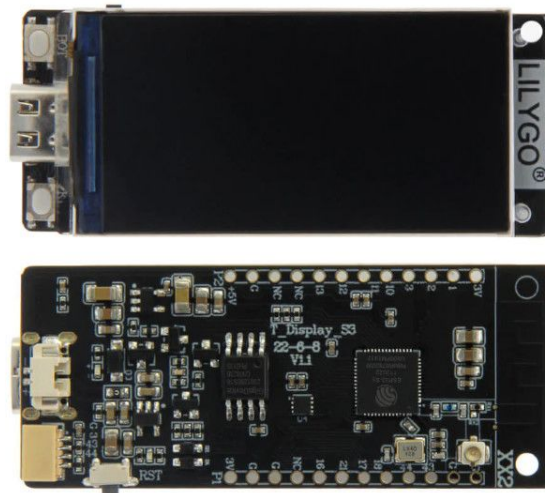
### 4.2. Componentes Principales

El sistema fue diseñado bajo una arquitectura modular que facilita su mantenimiento y escalabilidad. A continuación se describen los elementos más relevantes de la configuración empleada:

- **LILYGO T-Display S3:** placa base con microcontrolador ESP32-S3, pantalla IPS de 1.9 pulgadas, cargador LiPo integrado (TP4056) y regulador ME6211 a 3.3 V. Permite gestionar sensores y comunicación sin módulos adicionales.
- **Sensores FSR 402/406:** detectan variaciones de presión sobre la zona lumbar. Cada sensor forma un divisor de tensión con una resistencia de 100 k $\Omega$  para obtener una señal analógica proporcional a la carga.

- **Módulo ADC ADS1115:** conversor analógico-digital de 16 bits, encargado de mejorar la precisión de lectura de los sensores FSR mediante interfaz I<sup>2</sup>C.
- **Sensor inercial IMU (ICM-42688 o MPU-6050):** mide los ángulos de inclinación y aceleraciones del tronco, complementando la información de presión para una detección postural más precisa.
- **Batería LiPo 3.7 V (12002000 mAh):** provee la energía al sistema, conectada al puerto JST-PH 2.0 del T-Display S3. Incluye un interruptor de encendido y un fusible PTC de protección.
- **Caja ABS y conectores JST:** protegen los componentes electrónicos y simplifican el montaje, permitiendo reemplazar sensores o la batería sin necesidad de soldadura.

**Figura 1**  
*LILYGO T-Display S3.*



**Figura 2**  
*Sensor de presión FSR.*



### 4.3. Diseño Mecánico

El diseño mecánico del sistema se centró en la creación de una caja de potencia que aloja los principales componentes electrónicos: la placa LILYGO T-Display S3, el módulo ADC ADS1115, la IMU, los conectores JST y el sistema de alimentación. Esta carcasa tiene como función proteger los circuitos, facilitar el mantenimiento y asegurar una integración limpia y segura con los sensores ubicados en el cojín lumbar.

El modelo de la caja fue desarrollado en software CAD y fabricado mediante impresión 3D utilizando filamento PLA de 1.75 mm.

El diseño incluye aberturas laterales para el paso de cables JST de los sensores FSR, un orificio para el interruptor ON/OFF y ventilaciones pasivas para evitar acumulación de calor. En la parte superior se dispone una ranura para visualizar la pantalla IPS del T-Display S3 y un orificio posterior para acceso al conector USB-C de carga.





#### 4.4. Diseño Electrónico

El esquema eléctrico integra los sensores FSR conectados al módulo ADS1115, el cual se comunica con el microcontrolador mediante el bus I<sup>2</sup>C. En paralelo, la IMU también utiliza dicho bus, compartiendo líneas de datos (SDA y SCL) con el ADC. Todo el sistema opera a 3.3 V, garantizando compatibilidad y eficiencia energética.

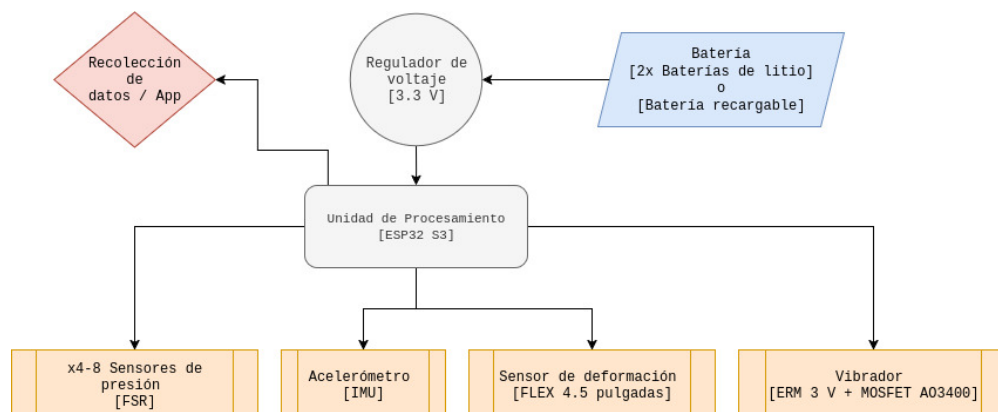
La alimentación proviene de una batería LiPo conectada al cargador integrado del T-Display S3, que gestiona la recarga y protección. Se incorpora un interruptor ON/OFF y un fusible PTC de 500 mA en la línea de alimentación para mejorar la seguridad y el mantenimiento. Los conectores JST de cuatro pines se utilizan para sensores y batería, asegurando un ensamblaje limpio y robusto.

#### 4.5. Flujo de Funcionamiento del Sistema

El funcionamiento general del sistema puede resumirse en las siguientes etapas:

1. Los sensores FSR captan la presión ejercida sobre distintos puntos de la zona lumbar.
2. El módulo ADS1115 convierte estas señales en valores digitales de alta resolución.
3. La IMU registra la inclinación y el movimiento del tronco.
4. El microcontrolador procesa las señales, aplica filtrado y determina el estado postural actual.
5. Si se detecta una postura incorrecta mantenida, el sistema genera una alerta visual en pantalla y registra el evento.
6. Los datos pueden visualizarse localmente o transmitirse inalámbricamente a una aplicación externa para análisis o seguimiento.

**Figura 5**  
*Flujo de Alto Nivel.*



---

## 5. Costos y Viabilidad

Componente	Cantidad	Precio (CLP)
Placa de desarrollo ESP32	1	12.990
Pilas de litio primarias AA	1	13.990
Portapilas 2(EAA	1	3.290
Regulador buckboost 3.3 V (1 A)	1	7.500
Interruptor deslizante ON/OFF	1	3.990
Protección PTC (fusible reseteable)	1	990
Diodo TVS (alimentación)	1	990
Antipolaridad (MOSFET/Schottky)	1	990
Sensor de deformación (FSR)	1	24.000
Acelerómetro 3 ejes	1	4.890
Sensor de fuerza	8	60.000
Módulo HX711	1	3.990
Conectores JST-PH (2 pines)	1	2.990
Conectores JST-GH (34 pines)	1	2.990
Headers 2.54 mm (set)	1	2.990
Cables / latiguillos (set)	3	38.970
Tubo termoencogible (set)	1	6.500
PCB 2 capas FR-4	1	4.990
Tornillería + separadores (set)	1	990
Filamento PLA 1 kg	1	13.000
Carcasa impresa (unidad)	1	30.000
Kit soldadura (estaño/flux)	1	30.000
Bridas / espuma / adhesivo (set)	1	5.990
<b>Subtotal</b>		<b>247.020</b>
<b>+ 10% Emergencia</b>		<b>24.702</b>
<b>TOTAL</b>		<b>271.722</b>

### 5.1. Estado Actual del Prototipo (MVP)

En la etapa actual, el sistema se encuentra implementado como un **prototipo mínimo viable (MVP)** completamente funcional. La conexión entre el microcontrolador y el sistema de medición se realiza de forma directa mediante puerto USB-C, garantizando comunicación estable y alimentación continua durante las pruebas.

El dispositivo integra cuatro sensores FSR en la superficie lumbar, cuya información se procesa en tiempo real y se representa visualmente en la pantalla integrada del LILYGO T-Display S3. El display muestra tanto los niveles instantáneos de presión como un **gráfico dinámico de intensidad y localización**, permitiendo observar la distribución de carga en la zona analizada.

Además, se emplea el sensor inercial incorporado (IMU) del módulo para detectar **ángulo e inclinación del tronco**, complementando las mediciones de presión con parámetros de vibración y movimiento. Esto permite caracterizar de forma precisa los patrones de postura y sus variaciones en el tiempo.

La **métrica operativa principal** del sistema en su estado actual es la **identificación del tiempo de sedentarismo**, obtenida a partir del análisis continuo de presión constante y ausencia de movimiento. Esta variable permite evaluar la duración de periodos sedentarios y constituye la base para el desarrollo futuro de funciones de alerta y prevención de malas posturas.

El MVP demuestra la viabilidad del concepto, un uso eficiente de la placa base y de los sensores integrados, además de una visualización clara y en tiempo real de la información recolectada. Este resultado marca un punto sólido de avance hacia las siguientes fases de validación con usuarios y ampliación de funcionalidades.