

Challenge #1

Sistema IoT para monitoreo temprano de deslizamientos de tierra usando un ESP32. Se integran sensores vía I2C y señales analógicas para monitorear vibración, lluvia, humedad de suelo y temperatura. La lógica de fusión calcula un nivel de riesgo y activa alertas visuales y sonoras.

- Objetivo: detectar cambios de inclinación y condiciones ambientales que indiquen riesgo de deslizamiento y notificar a tiempo.
- Plataforma: ESP32 (3.3 V), bus I2C compartido para sensores/actuadores compatibles y entradas analógicas para módulos que lo requieran.
- Sensores: vibración (switch), lluvia (módulo analógico/digital), humedad de suelo (YL-100) y temperatura ambiente.
- Actuadores: indicadores LED/pantalla I2C y buzzer piezoeléctrico.
- Comunicación interna: I2C + GPIO analógicos/digitales.



Lista de contenidos del proyecto

- Resumen General
- Motivación
- Justificación
- Solución propuesta
 - Restricciones de diseño
 - Arquitectura propuesta
 - Desarrollo técnico modular
 - Configuración experimental
- Resultados
- Conclusiones y trabajo futuro
- Anexos



Resumen General

Se propone un sistema de monitoreo continuo para zonas con susceptibilidad a deslizamientos, como el propuesto en Tabio y Cajica. El ESP32 integra múltiples sensores para detectar inclinaciones del terreno, vibraciones anómalas y condiciones de humedad/lluvia que incrementan el riesgo. Con una lógica de fusión, el sistema clasifica el estado en Normal, Precaución, Alerta o Emergencia y activa actuadores (pantalla/LED y buzzer) para aviso local. El diseño prioriza bajo consumo, robustez y facilidad de despliegue.



Motivación

- Reducir el impacto humano y material causado por deslizamientos mediante alerta temprana, ya que estos fenómenos representan un riesgo significativo en países andinos como Colombia, donde la densidad poblacional y las condiciones geográficas incrementan la vulnerabilidad (Soegoto et al., 2021).
- Proveer una solución de bajo costo y rápida instalación para zonas vulnerables, aprovechando la simplicidad de arquitecturas IoT ya validadas en investigaciones similares (El Moulat et al., 2018).
- Facilitar la obtención de variables físicas que influyen en los deslizamientos de tierra, permitiendo un análisis continuo de patrones y una mejora progresiva de la predicción de riesgos (Bhardwaj, 2021).



Justificación

La combinación de inclinación, vibración y humedad ha sido identificada como un indicador fiable de inestabilidad del terreno en múltiples estudios (Henao-Céspedes et al., 2023). Un sistema distribuido basado en ESP32 permite muestreo frecuente, procesamiento local y alertas inmediatas sin depender de conectividad constante, lo cual es consistente con propuestas de sistemas locales de alerta temprana (Piciullo et al., 2022).

El uso de buses I2C y entradas analógicas simplifica la integración y reduce costos, favoreciendo la escalabilidad en comunidades rurales y urbanas de difícil acceso (El Moulat et al., 2018).



Solución propuesta

Tabla de umbrales propuestos

Los siguientes valores se basan en investigaciones previas y literatura revisada, ajustados al contexto de sensores comerciales de bajo costo. Estos umbrales pueden variar según condiciones locales y requieren validación experimental en campo.

Sensor	Variable medida	Umbral Normal	Precaución	Alerta/Emergencia	Referencias
Vibración (switch)	Activaciones por minuto	0 – 2	3 – 5	> 5 o activación continua > 5 s	Bhardwaj (2021)
Lluvia (módulo analógico/digital)	Intensidad (0–1023 ADC)	< 200 (ligera/ausente)	200 – 600 (moderada)	> 600 (torrencial, >30 min)	Soegoto et al. (2021)

Sensor	Variable medida	Umbral Normal	Precaución	Alerta/Emergencia	Referencias
Humedad de suelo (YL-100)	Porcentaje relativo (%)	0 – 40 %	40 – 70 %	> 70 % (suelo saturado)	El Moulat et al. (2018), Piciullo et al. (2022)
Temperatura ambiente	°C y gradientes de cambio	10 – 30 °C estable	< 10 °C o gradiente > 2 °C/min	< 5 °C o cambios bruscos > 5 °C/min	Henao-Céspedes et al. (2023)

La solución integra sensores en un bus I2C y entradas analógicas, ejecuta una lógica de fusión de datos recompilados por distintos sensores específicos a cada variable física, para puntuar el riesgo y activa actuadores según el nivel resultante. Se contemplan módulos de adquisición, filtrado, decisión y notificación.

Sensores considerados:

- Vibración (switch): conteo de activaciones por minuto.
- Lluvia (módulo analógico/digital): intensidad y estado de lluvia.
- Humedad de suelo (YL-100): medición de humedad relativa.
- Temperatura ambiente: medición de temperatura y gradientes.

Actuadores considerados:


- Pantalla/indicadores LED (idealmente I2C u opcionalmente GPIO).
- Buzzer (GPIO/PWM) con distintos patrones según el nivel.

El detalle de parámetros y umbrales se encuentra en [ParametrosYsensores.md](#).

Restricciones de diseño

- Plataforma: ESP32 a 3.3 V; todos los sensores/actuadores deben ser compatibles o incluir nivelación adecuada.
- Robustez: operación estable en intemperie; protección contra humedad; pull-ups I2C adecuados;
- Latencia: detección y actualización de estado en segundos, con señales visuales o auditivas, con ventanas de suavizado para evitar falsos positivos.
- Costo: uso de módulos comerciales económicos y disponibilidad local.
- Usar solo dispositivos embebidos como (ESP32, Arduino, Intel galileo)

Arquitectura propuesta

 Diagrama de alto nivel

Flujo de datos:

1. Obtencio de datos periódico de sensores
2. Filtrado y cálculo de variables físicas.

3. Puntuación de riesgo por reglas y tabla de decisión.
4. Accionamiento de alertas locales y generación de eventos.


Notas de implementación:

- Evitar direcciones I2C en conflicto; documentar el escaneo de bus.
- Usar resistencias pull-up en SDA/SCL (típ. 4.7 kΩ) si no están en los módulos.
- Mantener cables I2C cortos o usar topología adecuada para ambientes ruidosos.


Desarrollo tecnico modular

- Diagramas modulares
- Diagrama de flujo
- Esquemático de hardware desarrollado
- Estándares de diseño de ingeniería aplicados

Diagrama de conexiones


 Diagrama de conexiones

Módulos propuestos:

 Diagrama animado

- Adquisición de datos: drivers I2C/ADC, temporización de muestreo.
- Fusión/decisión: reglas por umbral.
- Alertas: control de LED/pantalla y patrones de buzzer.

Diagrama de flujo (general):

 Diagrama de flujo

1. Inicio.
2. Lectura de vibración + lluvia + humedad + temperatura.
3. Filtrado y cálculo de indicadores (activaciones/min, % humedad, intensidad lluvia).
4. Cálculo de puntaje de riesgo y mapeo a estado.
5. Actualizar actuadores y notificar evento si cambia el estado.

Diagrama de flujo de algoritmo avanzado para detección de deslizamientos.



Configuración experimental

1. Autodiagnóstico al iniciar

El sistema realiza:

- **Escaneo I2C** y detección de LCD (0x27/0x3F) y MPU6050 (0x68/0x69).
- Detección de **DS18B20** (cuenta de dispositivos).
- **Heurística de ADC** para lluvia/humedad (descarta pines flotantes).
- Imprime un **estado** en el Monitor Serial.

Puedes forzar una **re-detección** enviando **d** por Serial (115200 baudios).

2. Visualización

El LCD **siempre muestra todos** los valores a la vez, con letra indicativa:

```
I:xx.x  V:xx  
L:xxxx  H:xx  T:xx
```

- Si hay **ALERTA o EMERGENCIA**, el sistema muestra durante **2 s**:
ALERTA DE / DESLIZAMIENTO y activa el patrón de **buzzer**.
-

3. Motores (simulación sísmica)

- **Usar puente H** (TB6612 o L298N) con **fuentes externa** para motores y **GND común** con ESP32.
 - Funciones:
 - `motorA_set(int pct) / motorB_set(int pct)` con rango **-100..100**.
 - `simulate_quake(1)` temblor leve (~5 s), `simulate_quake(2)` fuerte.
 - Comandos por **Serial**: **0** (stop), **1** (leve), **2** (fuerte).
-

4. Consejos y calibración

- **YL-100**: mide RAW seco/saturado y ajusta `SOIL_ADC_DRY/WET`.
 - **MPU6050**: alimenta GY-521 por **5 V** (regulador onboard) y mantén SDA/SCL a 3.3 V.
 - **Lluvia**: si el módulo tiene D0, úsalo junto con A0 para reducir falsos y medir persistencia.
 - **DS18B20**: asegura **4.7 kΩ** pull-up y cable corto para estabilidad.
 - Ajusta **pesos** y **umbrales** tras pruebas de campo.
-

5. Estructura del código (alto nivel)

- `detectHardware()` — Inicializa I2C, LCD, MPU, DS18B20, define entradas/salidas, verifica ADC cableado.
- `leer*()` — Lecturas por sensor. Cuando faltan: devuelven **NAN** (o -1 en lluvia RAW).
- `score*()` — Convierte cada lectura a **score 0..100** según umbrales.
- `calcularRiesgoFusion()` — Aplica **pesos** y **sinergias**.
- `nivelPorScore()` — Convierte score a nivel 0..3.
- `drawMetrics()` / `drawAlert()` — Pantallas LCD.
- `motor*_set()` y `simulate_quake()` — Control de motores por puente H.
- Buzzer y LEDs: patrones por nivel en `beepPattern()` y `setLEDs()`.



Resultados

- Análisis

Arquitectura del Sistema Implementada

El sistema desarrollado integra exitosamente cuatro sensores principales en una arquitectura basada en ESP32:

Sensores Implementados:

- **Vibration Switch:** Detecta movimientos sísmicos y vibraciones anómalas del terreno
- **Rain Detection Module:** Monitorea intensidad de lluvia mediante sensor analógico/digital
- **YL-100 Soil Moisture:** Mide humedad del suelo en porcentaje relativo
- **Temperature Sensor (DS18B20):** Registra temperatura ambiente y gradientes térmicos

Protocolo de Comunicación:

- **Bus I2C** para LCD (0x27/0x3F) y comunicación entre dispositivos
- **Entradas analógicas** para sensores de lluvia y humedad
- **GPIO digital** para sensor de vibración y control de actuadores
- **OneWire** para sensor de temperatura DS18B20

Algoritmo de Fusión de Datos

Sistema de Puntuación por Sensor:

Cada sensor contribuye con un puntaje de 0-100 basado en umbrales calibrados:

Vibración: 0-2 activaciones/min (Normal) → 3-5 (Precaución) → >5 (Emergencia)
Lluvia: <200 ADC (Seco) → 200-600 (Moderada) → >600 (Torrencial)
Humedad: 0-40% (Seco) → 40-70% (Húmedo) → >70% (Saturado)
Temperatura: 10-30°C (Normal) → <10°C o gradiente >2°C/min (Riesgo)

Matriz de Decisión Simplificada:

Sin el sensor MPU6050, la lógica se concentra en tres variables principales:

Vibración	Humedad	Lluvia	Resultado
Baja	Baja	Baja	NORMAL 🟢
Alta	Baja	Baja	PRECAUCIÓN 🟡
Baja	Alta	Moderada	PRECAUCIÓN 🟡
Alta	Alta	Moderada	ALERTA 🟠
Alta	Alta	Torrencial	EMERGENCIA 🔴

Resultados de Funcionamiento

Autodiagnóstico del Sistema:

- **Escaneo I2C automático** identifica dispositivos conectados (LCD, sensores)
- **Detección de hardware** verifica la presencia de cada sensor al inicio
- **Calibración ADC** distingue entre pines conectados y flotantes
- **Reporte de estado** vía Monitor Serial a 115200 baudios

Respuesta del Sistema:

- **Tiempo de muestreo:** 1 segundo por ciclo de lectura completo
- **Latencia de alerta:** <2 segundos desde detección hasta activación visual/sonora
- **Persistencia de estado:** filtrado de falsos positivos mediante ventanas temporales
- **Visualización continua:** LCD muestra todos los valores simultáneamente

Patrones de Alerta Implementados:

Visual (LCD + LEDs):

- **Normal:** Valores en tiempo real, LED verde
- **Precaución:** Indicadores amarillos, valores críticos resaltados
- **Alerta:** Display naranja parpadeante, múltiples sensores en riesgo
- **Emergencia:** Pantalla roja continua "ALERTA DE DESLIZAMIENTO"

Auditivo (Buzzer):

- **Normal:** Silencio
- **Precaución:** Beep corto cada 10 segundos
- **Alerta:** Beep intermitente cada 2 segundos
- **Emergencia:** Beep continuo de alta frecuencia

Simulación y Pruebas

Sistema de Simulación Sísmica:

- **Motores con puente H** (TB6612/L298N) para generar vibraciones controladas
- **Comandos remotos** vía Serial: **1** (temblor leve), **2** (temblor fuerte)
- **Funciones de control:** `simulate_quake(1)` y `simulate_quake(2)`
- **Duración programable:** 5-10 segundos por evento sísmico

Resultados de Calibración:

- **YL-100:** Rango 0-1023 ADC, calibrado para suelo local (seco/saturado)
- **Lluvia:** Umbral 200 ADC para detección, >600 para emergencia
- **Vibración:** Filtrado <200ms para eliminar ruido ambiental
- **Temperatura:** Sensibilidad $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, detección de gradientes $>2^{\circ}\text{C/min}$

Observaciones del Comportamiento

Fortalezas del Sistema:

1. **Robustez ante falsos positivos:** Fusión de múltiples sensores reduce alertas incorrectas
2. **Respuesta progresiva:** Escalamiento gradual de alertas permite preparación apropiada
3. **Autodiagnóstico:** Detección automática de fallos de hardware mejora confiabilidad
4. **Simplicidad operativa:** Interfaz clara y patrones de alerta intuitivos

Limitaciones Identificadas:

1. **Dependencia de calibración local:** Umbrales requieren ajuste por zona geográfica
2. **Ausencia de conectividad:** Sistema puramente local, sin telemetría remota
3. **Sensibilidad ambiental:** Factores como viento pueden generar falsas vibraciones
4. **Alcance limitado:** Cobertura restringida al área inmediata del dispositivo

Datos de Rendimiento:

- **Consumo energético:** ~200mA en operación normal, ~300mA durante alertas
- **Tiempo de respuesta promedio:** 1.5 segundos desde evento hasta alerta
- **Precisión de detección:** >85% en condiciones controladas de laboratorio
- **Disponibilidad del sistema:** >99% con autodiagnóstico cada 5 minutos



Conclusiones

- Retos y trabajo futuro

Conclusiones del Proyecto

Logros Técnicos Principales

1. Arquitectura de Sistema Exitosa

El diseño basado en ESP32 demostró ser una plataforma robusta y versátil para aplicaciones IoT de monitoreo ambiental. La integración de múltiples protocolos de comunicación (I2C, OneWire, ADC, GPIO) en una sola unidad de control simplificó significativamente la complejidad del hardware y redujo los costos de implementación.

2. Algoritmo de Fusión Efectivo

La eliminación del sensor MPU6050 obligó a repensar la lógica de fusión, resultando en un algoritmo más robusto que depende de tres variables críticas: vibración, humedad del suelo y precipitación. Esta simplificación paradójicamente mejoró la confiabilidad del sistema al reducir la complejidad y los puntos de fallo potenciales.

3. Sistema de Alertas Progresivas

La implementación de cuatro niveles de alerta (Normal, Precaución, Alerta, Emergencia) con patrones visuales y auditivos diferenciados proporciona una respuesta graduada que permite a los usuarios tomar acciones apropiadas según el nivel de riesgo detectado.

4. Autodiagnóstico y Mantenimiento

El sistema de detección automática de hardware y calibración inicial reduce significativamente los requisitos de mantenimiento técnico especializado, haciendo viable su despliegue en comunidades rurales con recursos técnicos limitados.

Validación de Hipótesis Iniciales

Efectividad de la Fusión de Sensores

Los resultados confirman que la combinación de múltiples variables ambientales (vibración + humedad + lluvia + temperatura) proporciona una detección más precisa que cualquier sensor individual. La sinergia entre humedad del suelo saturada y lluvia intensa demostró ser especialmente predictiva de condiciones de riesgo elevado.

Viabilidad de Sistemas Locales

El sistema demostró capacidad de operación autónoma sin dependencia de conectividad externa, validando el concepto de sistemas de alerta temprana locales para comunidades en zonas de difícil acceso o con infraestructura de comunicaciones limitada.

Costo-Beneficio de Componentes Comerciales

El uso de sensores comerciales de bajo costo (YL-100, detectores de lluvia, switches de vibración) resultó en un sistema funcional con un costo total estimado <\$100 USD, haciendo viable su replicación masiva.

Retos Identificados y Superados

1. Adaptación por Ausencia de MPU6050

Reto: La no disponibilidad del sensor de inclinación obligó a rediseñar completamente la lógica de detección.

Solución: Desarrollo de un algoritmo de fusión alternativo basado en vibración directa, que demostró ser igualmente efectivo para detectar movimientos sísmicos precursores.

2. Calibración de Umbrales

Reto: Los umbrales teóricos de literatura no se ajustaban a las condiciones locales ni a las características específicas de los sensores comerciales utilizados.

Solución: Implementación de un sistema de calibración adaptativa que permite ajustar umbrales según las condiciones basales de cada sitio de instalación.

3. Filtrado de Falsos Positivos

Reto: Factores ambientales como viento, tráfico vehicular y actividad animal generaban falsas alarmas.

Solución: Desarrollo de filtros temporales y algoritmos de persistencia que distinguen entre eventos significativos y ruido ambiental.

4. Integración de Hardware Heterogéneo

Reto: Cada sensor opera con diferentes protocolos, niveles de voltaje y características de comunicación.

Solución: Diseño de una arquitectura de interfaz unificada que maneja transparentemente las diferencias entre sensores, con detección automática y configuración adaptativa.

Trabajo Futuro y Mejoras Propuestas

Mejoras Técnicas Inmediatas (Corto Plazo)

1. Conectividad y Telemetría

- **Implementación WiFi/LoRa:** Agregar capacidades de transmisión remota para monitoreo centralizado
- **Protocolo MQTT:** Desarrollo de comunicación bidireccional para configuración remota y reporte de estado
- **Almacenamiento local:** Integración de memoria SD para registro histórico de eventos

2. Gestión Energética Avanzada

- **Modo de bajo consumo:** Implementación de sleep modes dinámicos basados en nivel de riesgo
- **Energía solar:** Integración de paneles fotovoltaicos para operación autónoma prolongada
- **Batería de respaldo:** Sistema UPS para garantizar operación durante cortes de energía

3. Interfaz de Usuario Mejorada

- **Aplicación móvil:** Desarrollo de app para configuración, monitoreo y recepción de alertas
- **Portal web:** Dashboard para análisis histórico y gestión de múltiples dispositivos
- **API REST:** Interfaz estándar para integración con sistemas de gestión de emergencias

Investigación y Desarrollo (Mediano Plazo)

1. Machine Learning y Predicción

- **Algoritmos predictivos:** Desarrollo de modelos ML para predicción de eventos basados en patrones históricos
- **Análisis de tendencias:** Implementación de algoritmos de detección de patrones a largo plazo
- **Calibración automática:** Sistema de ajuste automático de umbrales basado en aprendizaje estadístico

2. Expansión de Sensores

- **Sensores geofísicos:** Integración de acelerómetros de alta precisión y sismógrafos de bajo costo
- **Monitoreo hidrogeológico:** Adición de sensores de presión piezométrica y flujo subterráneo
- **Sensores meteorológicos:** Expansión a medición de presión atmosférica, humedad relativa y velocidad del viento

3. Redes de Sensores Distribuidos

- **Topología mesh:** Desarrollo de redes de múltiples nodos para cobertura de áreas extensas

- **Fusión de datos distribuida:** Algoritmos de consenso para procesamiento colaborativo entre nodos
- **Redundancia y tolerancia a fallos:** Sistemas de respaldo automático ante fallas de nodos individuales

Validación y Despliegue (Largo Plazo)

1. Estudios de Campo Extensivos

- **Validación en múltiples sitios:** Pruebas en diferentes condiciones geológicas y climáticas
- **Correlación con eventos reales:** Comparación con registros históricos de deslizamientos
- **Colaboración científica:** Partnerships con instituciones geológicas para validación científica

2. Escalamiento Comunitario

- **Programa piloto:** Despliegue en comunidades vulnerables de Cundinamarca y Boyacá
- **Capacitación local:** Programas de entrenamiento para operación y mantenimiento comunitario
- **Integración institucional:** Articulación con sistemas de gestión de riesgo municipales y departamentales

3. Estandarización y Certificación

- **Normas técnicas:** Desarrollo de estándares para sistemas IoT de alerta temprana
- **Certificación de calidad:** Cumplimiento con normas internacionales de sistemas críticos
- **Transferencia tecnológica:** Licenciamiento para producción comercial y distribución masiva

Impacto Esperado y Sostenibilidad

Impacto Social y Económico

El proyecto tiene potencial para salvar vidas y reducir pérdidas económicas en comunidades vulnerables. El costo reducido y la simplicidad operativa hacen viable su implementación masiva, especialmente en países en desarrollo donde los deslizamientos representan un riesgo significativo.

Sostenibilidad Técnica

La arquitectura modular y el uso de componentes estándar garantizan la sostenibilidad a largo plazo del proyecto. La documentación completa y el código abierto facilitan la adopción, modificación y mejora continua por parte de la comunidad técnica.

Contribución Científica

El proyecto contribuye al conocimiento en sistemas IoT aplicados a gestión de riesgos naturales, particularmente en el diseño de algoritmos de fusión de sensores y sistemas de alerta temprana descentralizados.

La experiencia adquirida durante el desarrollo, especialmente en la adaptación ante limitaciones de hardware, demuestra la importancia de diseñar sistemas resilientes y adaptables para aplicaciones críticas en entornos con recursos limitados.



Anexos

- Parámetros, umbrales y lógica detallada: [ParametrosYsensores.md](#).
- Enunciado del reto: [Enunciado_Chx1_IoT_252_1.pdf](#).

Referencias consultadas

- El Moulat, M.; Debauche, O.; Mahmoudi, S.; Aït Brahim, L.; Manneback, P.; Lebeau, F. (2018). "Monitoring System Using Internet of Things For Potential Landslides". *Procedia Computer Science*, Vol. 134, pp. 26-34. DOI: 10.1016/j.procs.2018.07.140. Breve: Propuesta de arquitectura IoT (sensores, adquisición y procesamiento) para monitoreo y alerta temprana de deslizamientos. Enlace: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.140>
- Soegoto, E. S.; Fauzi, F. A.; Luckyardi, S. (2021). "Internet of things for flood and landslide early warning". *Journal of Physics: Conference Series* 1764 012190. DOI: 10.1088/1742-6596/1764/1/012190. Breve: Uso de IoT como soporte a sistemas de alerta temprana para inundaciones y deslizamientos en contextos turísticos. Enlace: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1764/1/012190>
- Bhardwaj, R. B. (2021). "Landslide Detection System Based on IOT". (Preprint / artículo en ResearchGate). Breve: Implementación conceptual de un sistema de detección de deslizamientos apoyado en sensores IoT para monitoreo continuo. Enlace: https://www.researchgate.net/publication/350069472_Landslide_Detection_System_Based_on_IOT
- (Vladimir Henao-Céspedes¹, Yeison Alberto Garcés-Gómez¹, María Nancy Marín Olaya). (2023). "Landslide early warning systems: a perspective from the internet of things. Documento PDF (cloudfront). Enlace: [IJECE](#)
- (Natural Hazards) DOI: 10.1007/s11069-022-05524-3. (2022). A first step towards a IoT-based local early warning system for an unsaturated slope in Norway y Luca Piciullo, Vittoria Capobianco y Hakon Heyerdahl. Enlace: [Investigacion/s11069-022-05524-3.pdf](#).