

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, inclinación, 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.
- Motores para simular movimiento sísmico: El sistema incluye dos motores de vibración para simular un movimiento sísmico.



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 Cajicá. 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 (verde), Precaución (amarillo), Alerta (naranja) o Emergencia (rojo) y activa actuadores (pantalla/LED, leds de colores 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 recopilados 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.
- Inclinación (MPU6050): inclinación en grados
- 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.
- Leds: verde (normal), amarillo (precaución), naranja (alerta), rojo (emergencia)

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. Obtención 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 técnico modular


 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.



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

Arquitectura del Sistema Implementada

El sistema desarrollado integra exitosamente 5 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
- **MPU6050 (gyro sensor):** Mide el nivel de inclinación del suelo.

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 Completa:

La lógica de fusión integra cinco variables principales del sistema:

Nota importante: Vibración Alta = >5 activaciones por minuto, lo cual indica actividad sísmica significativa que requiere atención inmediata.

Inclinación	Vibración	Humedad	Lluvia	Temperatura	Resultado
Normal	Baja (0-2/min)	Baja	Baja	Normal	NORMAL 🟢
Normal	Media (3-5/min)	Baja	Baja	Normal	PRECAUCIÓN 🟡
Normal	Baja	Alta	Moderada	Normal	PRECAUCIÓN 🟡
Anómala	Baja	Baja	Baja	Normal	PRECAUCIÓN 🟡
Normal	Baja	Baja	Baja	Riesgo	PRECAUCIÓN 🟡
Normal	Alta (>5/min)	Baja	Baja	Normal	ALERTA 🟠
Normal	Media	Alta	Moderada	Normal	ALERTA 🟠
Anómala	Media	Baja	Moderada	Normal	ALERTA 🟠
Normal	Alta	Alta	Torrencial	Riesgo	EMERGENCIA 🔴

Inclinación	Vibración	Humedad	Lluvia	Temperatura	Resultado
Anómala	Alta	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	EMERGENCIA ●
Cualquiera	Alta (>5/min)	Alta	Moderada+	Cualquiera	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

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

Algoritmo robusto que depende de cuatro variables críticas: vibración, inclinación, humedad del suelo y precipitación.

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.

Retos Identificados y Superados

1. Adaptación por Ausencia de MPU6050

Reto: En el kit entregado para la clase, este sensor no leía los datos completamente.

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. 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

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](#).