GABRIEL PAZMIÑO - MARÍA PAULA CHÁVEZ

**Sistema de Localización y detección de irregularidades en las vías urbanas**

**1. Introducción**

Este proyecto propone el desarrollo de un sistema embebido de bajo costo capaz de detectar baches en vías urbanas, recolectar información sobre su localización, profundidad e impacto, y compartirla con otros usuarios mediante una página web. El sistema busca mejorar la seguridad vial, reducir daños vehiculares y generar datos estadísticos para apoyar la planificación del mantenimiento urbano.

**2. Alcance y Limitaciones**

**Alcance**:

* Detección automática de baches mediante sensores ultrasónicos, acelerómetro y giroscopio (MPU6050).
* Geolocalización del evento usando un módulo GPS.
* Transmisión de datos a la nube (ESP32 con WiFi).
* Visualización de los baches en una aplicación móvil con mapa.
* Visualización de las detecciones en tiempo real desde el vehículo mediante una pantalla LCD.

**Limitaciones**:

* No se realizará una reparación automatizada de baches.
* No se incluye procesamiento avanzado en la nube ni aprendizaje automático.
* La app solo mostrará eventos reportados, no su validación visual.
* Limitado a calles urbanas y superficies pavimentadas.
* Se requiere conexión WiFi para su funcionamiento.

**3. Diagrama de Contexto**



Ilustración 1. Diagrama de contexto del sistema embebido propuesto

**Descripción**:

* El **usuario** visualiza la información desde la app.
* El sistema embebido instalado en el vehículo recolecta datos del entorno.
* La **ESP32** procesa datos y los envía a la nube.
* La **app** consulta los datos para mostrar alertas de baches.

**4. Diagrama de Bloques del Diseño**

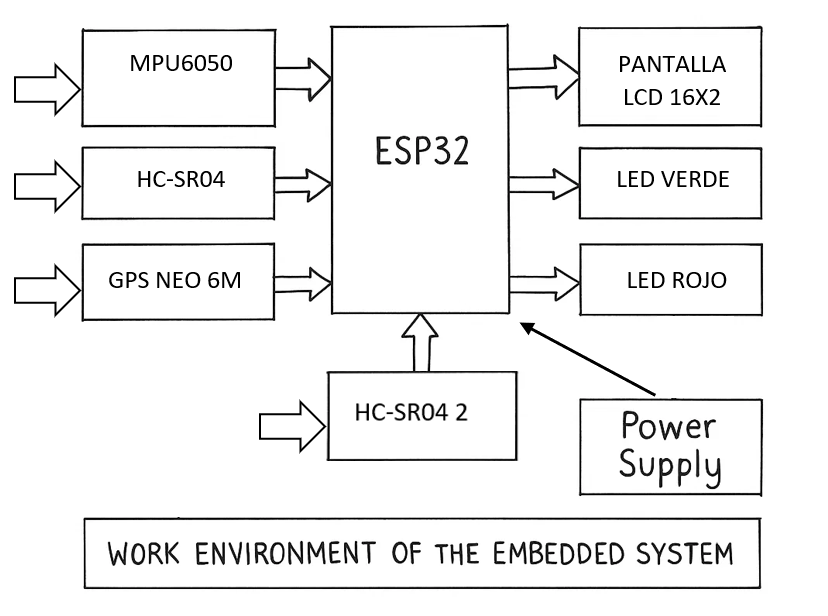
****

Ilustración 2. Diagrama de bloques del diseño propuesto

**Componentes**:

* **Sensado**: Captura de vibraciones, distancia al suelo y posición.
* **Procesamiento**: ESP32 determina si hay bache.
* **Visualización**: LCD en tiempo real y página web.
* **Transmisión**: WiFi a base de datos (Firebase).

**5. Diagrama de Software / Máquina de Estados**

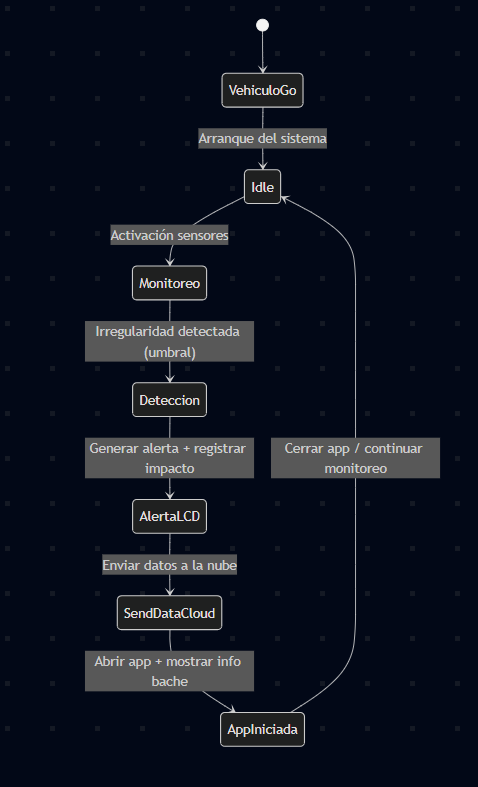
****

Ilustración 3. Máquina de estados del sistema embebido

**6. Diseño de Interfaces**

* Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

  El contenido generado por IA puede ser incorrecto.**Usuario-App**: Visualización de mapa con marcadores de baches (React + Mapbox).

Ilustración 4. Diseño propuesto del mapa a visualizar

* Diagrama

  El contenido generado por IA puede ser incorrecto.**ESP32-Sensores**: Comunicación I2C (MPU6050), UART (GPS), Trigger/Echo (ultrasónico).

Ilustración 5. Diseño del circuito y sus sensores correspondientes

* **ESP32-Nube**: HTTP/REST o MQTT para envío de datos.
* **ESP32-LCD**: Comunicación I2C para mensajes en tiempo real.

Imagen de la pantalla de un video juego

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Ilustración 6. Uso de LCD para visualización en tiempo real de la clasificación del evento (IRREGULARIDAD/BACHE/POSIBLE GOLPE/NORMAL) y distancia del suelo al chasis del vehículo

**7. Alternativas de Diseño**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Componente** | **Alternativa** | **Razón para la selección** |
| Microcontrolador | Arduino UNO | No incluye WiFi, ESP32 tiene mayor velocidad de procesamiento, incluye wifi. |
| Comunicación | Bluetooth | Bluetooth tiene un rango típico de 10 metros en condiciones ideales, mientras que WiFi alcanza fácilmente 30-50 metros. |
| App nativa | App móvil | Una página web responsive (PWA) puede desarrollarse hasta 3 veces más rápido y con un costo 60-70% menor que una app nativa para iOS y Android. |
| Nube | Base de datos local | No permite acceso remoto ni colaboración |
| Sensor | Modulo Infrarrojo | Ante un charco, o lluvia no habría medidas confiables. |
| Cables | UTP | Se rompe con facilidad, por lo que no es confiable. |

Se eligió ESP32 por su bajo costo y WiFi integrado, ideal para IoT. Se descartó Bluetooth por su rango y dependencia de la app.

**8. Plan de Test y Validación**

|  |  |
| --- | --- |
| **Prueba** | **Criterio de Exito** |
| **Test de sensores**: Verificar lectura precisa de distancia y aceleración. | Ultrasónico: Medir distancias conocidas (10cm, 50cm, 100cm).  MPU6050: Inclinación estática a 0°, 45°, 90°. Aceleración de 0g y ±1g. |
| **Prueba de integración**: Simular paso por baches con diferentes profundidades y velocidades. | Simular baches de 5cm, 10cm, 15cm de profundidad a velocidades de 20 km/h, 40 km/h, 60 km/h |
| **Validación de GPS**: Chequear precisión geográfica. | Comparar coordenadas reportadas (lat, long) con un dispositivo GPS de referencia (ej: smartphone) en puntos fijos. |
| **Verificación de la App**: Confirmar recepción y visualización correcta de los datos. | Enviar 5 eventos de prueba consecutivos desde el ESP32 y monitorear la app. |
| **Pruebas en campo**: Test en diferentes tipos de calles. | Recorrer 10 metros en cada tipo de vía: asfalto liso, adoquinado, pavimento agrietado. |
| **Pruebas de rendimiento**: Probar con múltiples variaciones en velocidad y envió de datos a la nube. | Generar ≥ 20 detecciones en 1 hora y monitorear la tasa de envío exitosa a la nube. |
| **Pruebas de Temperatura:** Verificar funcionamiento con temperatura máxima de vehículo. | Verificar la variable térmica del MPU6050 y operar entre -10°C y 85°C (rango típico vehicular). |
| **Pruebas de seguridad:** Verificación de protecciones del sistema contra sobre voltajes o corrientes excesivas. | Aplicar un voltaje de 15V (máx. tolerancia esperada: 12V) y una corriente de 500mA (máx. esperada: 300mA) durante 1 minuto. |

**9. Consideraciones Éticas**

* **Privacidad**: Todos los datos de GPS se anonimizarán mediante la truncación de coordenadas a 5 decimales y la generación de IDs de sesión efímeros, desvinculándolos de cualquier identificador personal. La transmisión de datos se realizará exclusivamente mediante HTTPS para garantizar su confidencialidad durante el envío a la nube.
* **Transparencia**: La página web incluirá una política de privacidad visible que detallará de forma clara qué datos se recogen, su finalidad (mapeo colaborativo de baches) y el proceso de anonimización. Se informará activamente a los usuarios sobre el uso de sus datos antes de que decidan participar.
* **Impacto social**: El sistema promueve un beneficio comunitario al generar datos abiertos y anónimos sobre el estado de las vías, facilitando que ciudadanos y autoridades prioricen reparaciones. Esto fomenta la participación ciudadana y la movilidad segura.
* **Accesibilidad**: El diseño de la página web seguirá las pautas WCAG, asegurando alto contraste, compatibilidad con lectores de pantalla y navegación intuitiva para garantizar que sea utilizable por personas con diversidad de habilidades visuales o motoras.
* **Seguridad:** Se implementarán reglas estrictas en Firebase para restringir el acceso a la base de datos, permitiendo sólo la escritura de nuevos reportes y lectura pública de los datos ya anonimizados, previniendo así accesos o modificaciones no autorizadas.

**10. Escalabilidad futura**

El sistema está diseñado con una arquitectura modular que permite su evolución e integración con plataformas y tecnologías más avanzadas. Las siguientes son las principales vías de escalabilidad contempladas:

* Clasificación Inteligente: Se recomienda la integración de modelos de machine (por ejemplo, una Red Neuronal Convolucional - CNN) que reciba los datos crudos de los sensores (aceleración, vibración, ultrasonido). Este modelo se entrenaría para distinguir entre diferentes tipos de irregularidades (baches, grietas, resaltos) y falsos positivos (sobre rieles, frenadas bruscas), aumentando enormemente la precisión y confiabilidad de los reportes.
* Plataforma de Datos Abiertos: Se recomienda que todos los datos anónimos se publiquen en una base de datos municipal abierta y accesible mediante una API, permitiendo su uso por investigadores, urbanistas y ciudadanos para análisis y transparencia en la gestión pública.
* Sistema de Priorización: Se recomienda desarrollar un algoritmo que genere rankings automáticos de calles según la severidad y frecuencia de irregularidades, proporcionando a las autoridades una herramienta objetiva para optimizar recursos y planificar el mantenimiento vial.