

Avance de Proyecto y Validación Funcional "LIFE BRACELET" - Tercer Semestre

1st Carlos Tocarruncho
Universidad San Buenaventura

2nd John Mario Menco
Universidad San Buenaventura

3rd Joel Enrique Gonzalez
Universidad San Buenaventura

Abstract—RESUMEN EJECUTIVO El presente documento detalla el avance del proyecto Life Bracelet, un dispositivo portátil diseñado para la monitorización de riesgos en adultos mayores con énfasis en la accesibilidad económica. El objetivo principal de la fase actual de desarrollo es validar la funcionalidad de la Detección de Caídas y Movimientos Bruscos mediante una arquitectura de hardware de bajo consumo y alta capacidad de procesamiento. La arquitectura central utiliza el sensor inercial MPU-6050 para la captura de datos de aceleración, el microcontrolador Arduino UNO para la etapa inicial de prototipado, y el módulo ESP32 para la gestión de la comunicación inalámbrica (Wi-Fi) y la implementación de un sistema de alerta remota basado en una página web. La entrega correspondiente a este tercer semestre se materializa en una maqueta funcional con formato de guante, la cual valida la integración circuital, el algoritmo de detección inercial (solo acelerómetro), y la señalización de alerta en tiempo real a través de una dirección IP local. Esta fase establece una base sólida para el plan de miniaturización progresiva, cuyo objetivo final es la creación de un brazalete ergonómico y autónomo.

Index Terms—Detección de caídas, Monitoreo de riesgos, Dispositivo portátil, ESP32, MPU-6050, Acelerómetro, Giroscopio, Prototipado de bajo costo.

I. I. INTRODUCCIÓN

A. 1.1. Contexto y Justificación del Proyecto

El aumento global de la población de la tercera edad ha generado una demanda crítica de soluciones tecnológicas de monitoreo de salud. Las caídas son uno de los riesgos de salud más graves para este grupo demográfico, a menudo conduciendo a lesiones severas y consecuencias a largo plazo si la ayuda no es inmediata. Si bien existen dispositivos comerciales de alto rendimiento, su elevado costo constituye una barrera de acceso significativa para amplios segmentos de la población. El proyecto Life Bracelet aborda este problema mediante un enfoque de ingeniería económica y prototipado iterativo. La misión estratégica se centra en desarrollar una alternativa viable que priorice la funcionalidad esencial de la alerta inmediata, utilizando componentes electrónicos de bajo costo que permitan una escalabilidad productiva accesible. La fase actual se enfoca en la validación del núcleo tecnológico: un sistema fiable de detección de caídas.

B. 1.2. Alcance del Avance del Tercer Semestre

El alcance técnico de la entrega actual está estrictamente delimitado a la validación de la detección inercial (solo acelerómetro) y el sistema de comunicación inalámbrica.

TABLE I
COMPONENTES Y ESTADO

Componente	Función Principal	Estado
Arduino UNO	Plataforma de prototipado y depuración	En uso (Etapa Inicial)
ESP32	Control de comunicación Wi-Fi y servidor web de alerta	En uso
MPU-6050	Sensor de 6 ejes (acelerómetro y giroscopio)	En uso (solo acelerómetro en esta fase)
Buzzer	Alarma sonora física local	Sin integrar (Próxima fase)
Módulo GPS/GPRS	Envío de ubicación remota y SMS	En estudio

TABLE II
ARQUITECTURA BASE (VISIÓN GENERAL)

Módulo	Rol / Descripción
MPU-6050	Captura de aceleración triaxial (entrada inercial principal para detección)
Arduino UNO	Lectura inicial y depuración de señales del sensor (prototipado)
ESP32	Procesamiento final de señal, lógica de detección y servidor web (modo AP)
Interfaz web	Visualización de alerta y datos iniciales mediante IP local
Soporte físico (guante)	Montaje y sujeción de módulos para pruebas con usuario

Se ha optado por implementar la plataforma en una maqueta con formato de guante para demostrar la viabilidad de la integración circuital en un dispositivo corporal, marcando la primera etapa del proceso de miniaturización.

II. II. ARQUITECTURA DE HARDWARE ACTUAL

La plataforma del Life Bracelet se constituye alrededor de tres módulos principales: el sensor inercial de alta precisión, la unidad de procesamiento y el módulo de comunicación inalámbrica.

A. 2.1. Sensor Inercial: MPU-6050

El sensor MPU-6050 es la Unidad de Medición Inercial (IMU) elegida para la detección de caídas. Este módulo es un sistema en chip (SoC) que combina un acelerómetro triaxial y un giroscopio triaxial. En la fase actual, solo se utiliza el acelerómetro para la detección de impacto y movimiento. La comunicación entre el MPU-6050 y la unidad de procesamiento se realiza mediante el protocolo I2C, lo que simplifica el cableado y permite altas tasas de muestreo de datos.

Acelerómetro Triaxial: Mide la aceleración lineal a lo largo de los ejes X , Y y Z . Es esencial para cuantificar la intensidad de un impacto o la ausencia de gravedad durante una caída libre.

B. 2.2. Unidades de Procesamiento

Para optimizar el desarrollo, la funcionalidad se ha distribuido entre dos plataformas de microcontroladores que sirven a distintos propósitos en la fase de prototipado.

1) 2.2.1. *Arduino UNO (Prototipado Inicial)*: El Arduino UNO se utiliza en la etapa de protoboard para la validación rápida de los algoritmos de adquisición del MPU-6050 y la lógica de detección inicial. Su robustez, amplio ecosistema de desarrollo y facilidad de depuración lo convierten en la herramienta idónea para la prueba de concepto circuital. Este módulo asegura la funcionalidad de bajo nivel (lectura, filtrado y umbralización de datos iniciales).

2) 2.2.2. *ESP32 (Procesamiento, Comunicación y Alerta)*: El módulo ESP32 ha sido seleccionado para la capa de comunicación y procesamiento debido a su potente capacidad de doble núcleo, bajo consumo energético (vital para el futuro brazalete) y, crucialmente, su módulo Wi-Fi integrado. La función principal de la ESP32 es la siguiente:

Servidor de Alerta Local: El ESP32 se configura como un punto de acceso (Access Point - AP) que genera una dirección IP local fija. Al acceder a esta IP desde cualquier dispositivo conectado a la red local (un smartphone o PC), se carga una página web minimalista que funciona como la interfaz de monitoreo. Visualización de la Alerta: El servidor ESP32 es el responsable de ejecutar la lógica de detección de caída y de actualizar la página web para mostrar una señal de alerta clara e inmediata. Esto simula el envío de una notificación remota al cuidador.

III. III. METODOLOGÍA DE DETECCIÓN DE CAÍDAS

La fiabilidad del Life Bracelet depende directamente de la capacidad de su firmware para diferenciar entre una actividad normal (correr, sentarse, levantarse) y una caída real. El algoritmo implementado utiliza el acelerómetro del MPU-6050. El proceso de detección se basa en el análisis de umbrales de magnitud de aceleración para identificar caídas o movimientos bruscos, prescindiendo del control secuencial estricto y el control temporal.

A. 3.1. Detección de Caída y Movimiento Brusco (Basado en Aceleración)

La detección se realiza mediante el monitoreo de la magnitud vectorial de la aceleración total (A_{Total}). El algoritmo actual opera bajo una única condición compuesta para el prototipado inicial.

Cálculo de Aceleración Total:

$$A_{Total} = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$$

TABLE III
PARÁMETROS DEL ALGORITMO (VALORES Y NOTAS PARA REPRODUCIBILIDAD)

Parámetro	Valor (utilizado)	Notas / Reproducibilidad
Umbral baja gravedad	0.5 g	Detecta posible caída libre; valor empírico para POC. Registrar condiciones de prueba (posición, sujeto) para replicar.
Umbral cambio ΔA	0.7 g	Detecta impacto o movimiento brusco; valor empírico para POC. Especificar ventana de muestreo y método de cálculo ΔA (p. ej. diferencia entre muestras consecutivas).
Frecuencia de muestreo	50–100 Hz (recomendado)	Para reproducibilidad indicar tasa exacta usada en pruebas y antialiasing / filtrado aplicado.
Filtro aplicado	Filtrado simple / promedio móvil	Documentar longitud de ventana del filtro (ej. N muestras) y tipo (IIR/MA) para replicar resultados.
Secuencia temporal	No implementada en esta fase	Indicar que la lógica secuencial y ventanas temporales deben documentarse cuando se integren (p. ej. duración de inactividad tras umbral).
Registro de datos	No implementado (Próximas entregas)	Se planifica implementar registro en Formato CSV con timestamp; formato previsto: (timestamp, Ax, Ay, Az, A_Total) y unidades (m/s^2 o g) para análisis reproducible.

Condición de Alerta (Algoritmo Simplificado): Se activa una alerta si se cumple cualquiera de las siguientes condiciones:

Caída Libre: Si A_{Total} cae por debajo de un umbral empírico bajo (ej. $0.5g$), registrando una aparente ausencia de gravedad. Movimiento Brusco / Impacto: Si el cambio en la aceleración excede un umbral empírico superior (ej. $\Delta A > 0.7g$), registrando un impacto o movimiento violento. Nota: Los umbrales utilizados en el firmware actual ($0.5g$ y $0.7g$) son valores preliminares definidos empíricamente para la prueba de concepto y no corresponden a los umbrales físicos ideales ($0.2g$ – $0.8g$ y $\geq 2.5g$) de una caída real. El análisis de orientación por giróscopo, el control de ventana temporal y la secuencia de tres pasos no están implementados en esta fase.

B. 3.2. Activación de la Alerta

Una vez que el ESP32 ejecuta la lógica de detección y se cumplen las condiciones, el microcontrolador activa la señal de alerta en la página web que está alojada en su servidor interno.

IV. IV. SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y ALERTA (ESP32)

El ESP32 es la columna vertebral de la función de seguridad del prototipo, proporcionando una solución de alerta inalámbrica inmediata y de bajo costo.

A. 4.1. Configuración del Servidor Web

La ESP32 se inicializa en modo Access Point (AP), lo que permite que el microcontrolador actúe como un punto

de acceso Wi-Fi independiente. Esto asegura que la alerta sea visible incluso en ausencia de una red Wi-Fi doméstica preexistente.

Dirección IP: Se genera una dirección IP local estática (ejemplo: 192.168.4.1) que sirve como el único punto de acceso al sistema de monitoreo en esta fase. Interfaz Web: La página web, desarrollada con HTML y CSS básicos, se carga directamente desde la memoria de la ESP32. Su diseño es minimalista, centrado en la usabilidad y la visibilidad.

B. 4.2. Visualización y Actualización de la Alerta

La interfaz actual está diseñada para mostrar principalmente los valores brutos de aceleración (X , Y , Z) del sensor MPU-6050. El cambio de estado ocurre cuando se detecta la condición de caída, mostrando un mensaje de "¡CAÍDA DETECTADA!". La visualización de estado normal ("Monitoreo Activo") no está implementada aún. La página web también muestra si el evento detectado fue "Movimiento brusco" o "Caída", información que ya está disponible para el cuidador o usuario.

Esta comunicación en tiempo real entre el sensor, el microcontrolador y la interfaz web valida la capacidad del prototipo para procesar datos inerciales y comunicarlos eficazmente al usuario final (o al cuidador). La notificación de alerta se limita al servidor web local (dirección IP fija), cumpliendo solo con la simulación de envío remoto.

C. 4.3. Implementación Futura de Alarma Sonora

La integración de un buzzer piezoelectrónico como alarma física está planificada para futuras fases. En el alcance actual, esta funcionalidad no ha sido incluida.

V. V. PROTOTIPO FÍSICO Y ESTRATEGIA DE DISEÑO

A. 5.1. El Guante: Maqueta de Entrega del Tercer Semestre

La materialización de la arquitectura electrónica en esta etapa se lleva a cabo mediante una maqueta funcional con formato de guante. Este diseño permite la integración y sujeción de los componentes electrónicos (Arduino UNO, ESP32 y MPU-6050) de manera práctica para la realización de pruebas.

Propósito: El guante funciona como un soporte ergonómico inicial. Se permite la verificación de la estabilidad de las lecturas inerciales durante los movimientos cotidianos y la simulación de caídas controladas, mientras los componentes permanecen fijos a la mano del usuario. La maqueta actual no incluye componentes de interfaz física como botones o LEDs en el firmware del ESP32.

La entrega de esta fase incluye:

Maqueta (Guante): El dispositivo físico ensamblado y funcional.

Prototipo en Protoboard: El circuito armado en una placa de pruebas, demostrando la conexión y alimentación de cada módulo.

Circuito Integrado: Una versión compacta del circuito para su

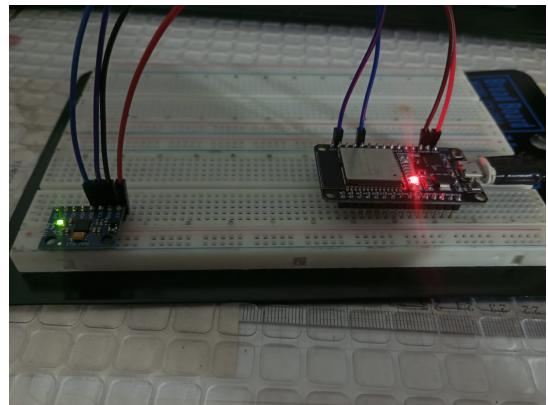


Figura 1: Prototipo (Protoboard photo 1)

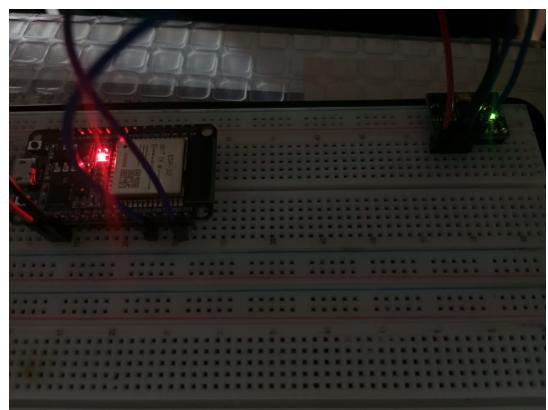


Figura 2: Prototipo (Protoboard photo 2)

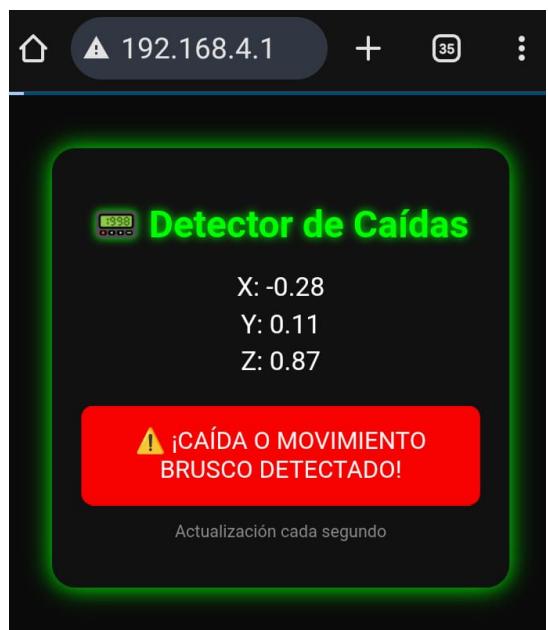


Figura 3: Pagina de Esp32. Muestra caída o movimiento brusco

montaje final dentro del guante.

Código Fuente: La programación (algoritmo de detección, lógica del servidor ESP32) utilizada.

B. 5.2. Proyección de Miniaturización

Una de las metas estratégicas del proyecto es la miniaturización del dispositivo, pasando de la maqueta voluminosa a un diseño ergonómico y discreto.

Tercer Semestre: Guante (Validación funcional y circuital). Próximo Semestre: Media Mano (Reducción de tamaño del circuito y migración de Arduino UNO a una plataforma de desarrollo más compacta o aprovechando la capacidad total de la ESP32).

Etapa Final: Brazalete (Diseño final, compacto, ligero y optimizado para la autonomía de la batería).

VI. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

A. 6.1. Conclusiones del Avance Actual

Se ha validado con éxito el núcleo tecnológico del Life Bracelet en su fase de detección de caídas. La integración del MPU-6050 y la ESP32 demuestra que es posible implementar un sistema de monitoreo inercial y un sistema de alerta remota basado en Wi-Fi utilizando una arquitectura de bajo costo. La metodología de detección de caídas, basada en un algoritmo simplificado de umbrales de aceleración, valida la capacidad fundamental del sistema para identificar impactos y caídas. Se reconoce que la robustez contra falsos positivos requiere la futura integración de la lógica secuencial, la ventana temporal y el uso del giróscopo. El entregable del guante valida el primer paso hacia la portabilidad.

B. 6.2. Perspectivas y Próximas Fases del Proyecto

El desarrollo del proyecto continuará con la integración de funcionalidades que eleven el dispositivo a un grado de uso final. La investigación actual se centra en las siguientes áreas:

TABLE IV
ETAPAS DE DESARROLLO: VISIÓN Y PLANIFICACIÓN

Etapa	Descripción	Objetivo / Plazo
Guante (Presente)	Maqueta funcional para validar integración circuital y algoritmo simplificado	Validación funcional (Tercer semestre)
Media Mano (Próxima)	Reducción del tamaño del circuito, migración parcial/migración total hacia ESP32/placa compacta	Probar miniaturización y ergonomía (Siguiiente semestre)
Brazalete (Final)	Diseño final, compacto y autónomo con batería, buzzer, GPS/GPRS y sensores biométricos	Producto objetivo listo para pruebas de usuario extendidas (Etapa final)
Integración de sensores	Añadir MAX30102 y módulo GPS/GPRS en fases intermedias	Extender capacidades (SpO ₂ , frecuencia cardíaca, geolocalización)
Validación clínica	Pruebas con usuarios mayores y ajuste de algoritmos para reducir falsos positivos	Certificación y uso en escenarios reales

1) 6.2.1. *Funcionalidad de Geolocalización (En Estudio):* La integración de un módulo de ubicación está en fase de estudio teórico y análisis de consumo energético. La capacidad de enviar la ubicación geográfica del usuario es un requisito de seguridad indispensable para la fase final.

2) 6.2.2. *Integraciones de Sensores y Comunicación Avanzada:* Monitorización Biométrica (MAX30102): Integración del sensor MAX30102 para la medición de la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno en la sangre (SpO₂), añadiendo capacidades esenciales de monitoreo de salud. Alerta Remota GPRS/GPS: Implementación de módulos celulares (GPRS/GPS) para que la alerta no dependa de la red Wi-Fi local y se pueda enviar a contactos predefinidos vía SMS con coordenadas geográficas.

3) 6.2.3. *Mejoras próximas entregas:* Se implementará el uso del giroscopio del MPU-6050 en próximas entregas para complementar la detección basada en aceleración, incorporando análisis de orientación y rotación con el fin de reducir falsos positivos y mejorar la discriminación entre actividades normales y caídas reales. Adicionalmente, se planifica implementar el registro de datos en formato CSV con timestamp en próximas entregas; el formato previsto será (timestamp, Ax, Ay, Az, A_Total) y las unidades empleadas serán (m/s² o g) para permitir análisis reproducible.

(Fin del Documento Técnico)

ACKNOWLEDGMENT

REFERENCES

- [1] G. Nieto and R. Maestre, "Detección de caídas en ancianos usando dispositivos portables: un estudio de revisión," 2018.
- [2] A. K. Bourke, J. V. O'Brien, and G. M. Lyons, "Evaluation of a threshold-based fall detection algorithm using a fall-inducing and a non-fall-inducing activities database," Journal of Biomechanics, vol. 40, no. 12, pp. 2699–2703, 2007.
- [3] H. Abbasi, J. M. Niya, M. M. Fard, and H. Roudi, "A comparative study of machine learning algorithms for real-time fall detection using MPU6050," in 2020 6th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), 2020.
- [4] D. Pani and V. Kulkarni, "Low-cost, compact, and wireless smart wearable for fall detection and prevention for elderly people," in 2017 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), 2017.
- [5] A. Adami, "IoT for Healthcare: ESP32-based multi-sensor wearable system for remote patient monitoring," in 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2018.
- [6] J. Wang, T. Chen, M. Hu, and Y. Yang, "Design of a smart wearable device for vital sign monitoring based on MPU6050 and MAX30102," Sensors, vol. 19, no. 24, p. 5489, 2019.
- [7] InvenSense Inc., "MPU-6050 Product Specification and Register Map," 2013.
- [8] Espressif Systems, "ESP32 Series Datasheet," 2021.
- [9] Arduino LLC., "Arduino UNO Rev3 Microcontroller Board Documentation," 2022.