

Sistema personal de alerta de proximidad para prevención de accidentes laborales

SPAP-001

Oscar Granados rozo

Asesor

Martin Gallo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia -UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Ingeniería Electrónica

Cúcuta 2026

Resumen

La seguridad laboral es un factor esencial en los entornos industriales, donde la interacción entre trabajadores y maquinaria incrementa el riesgo de accidentes por colisión, especialmente en áreas con visibilidad limitada o ruido elevado. Según González y López (2023), la implementación de tecnologías IOT contribuye significativamente a reducir los incidentes laborales mediante sistemas de detección y alerta inteligentes. En concordancia con esta tendencia, el presente proyecto desarrolla un Sistema Personal de Alerta de Proximidad (SPAP) basado en sensores PIR y microcontroladores ESP32, dispositivos ampliamente utilizados en sistemas embebidos por su capacidad de procesamiento y conectividad inalámbrica (Espressif Systems, 2024).

El sistema está compuesto por un módulo de detección con sensor PIR y ESP32-CAM, responsable de identificar movimiento y capturar imágenes, y una manilla inteligente equipada con un ESP32-S3, pantalla LCD y vibrador háptico para la notificación inmediata al usuario. La metodología utilizada fue de tipo experimental aplicada, incluyendo fases de diseño, implementación y validación en entornos controlados.

Los resultados demostraron estabilidad en la comunicación inalámbrica mediante modo Access Point, tiempos de reacción adecuados y una experiencia de alerta efectiva para el usuario. Este proyecto constituye una solución viable, económica y escalable que fortalece la seguridad industrial, alineándose con los lineamientos de la norma ISO 45001:2018 sobre sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo.

Palabras clave: seguridad industrial, IOT, ESP32, sensores de proximidad, alerta háptica.

Abstract

Occupational safety is a critical component in industrial environments, where the coexistence of workers and machinery increases the likelihood of collision-related accidents. González and López (2023) highlight that IoT-based technologies significantly contribute to reducing workplace risks by enabling real-time monitoring and alert systems. In line with these findings, this project presents the development of a Personal Proximity Alert System (PPAS) using PIR sensors and ESP32 microcontrollers, devices widely recognized for their wireless communication and embedded processing capabilities (Espressif Systems, 2024).

The system consists of a detection module incorporating a PIR sensor and an ESP32-CAM to identify movement and capture images, and a smart wristband equipped with an ESP32-S3, LCD display, and haptic motor to provide immediate alerts. The methodology applied was experimental, covering design, implementation, testing, and optimization stages.

Results from controlled tests confirmed stable wireless communication through Access Point mode, effective motion detection, and reliable user feedback. This system provides a feasible and scalable technological tool that enhances industrial safety practices, aligned with international standards such as ISO 45001:2018.

Keywords: industrial safety, IoT, ESP32, proximity sensors, haptic feedback.

Tabla de contenido

Introducción.....	10
Justificación.....	11
Planteamiento del Problema.....	13
Objetivos.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivo Específicos.....	15
Marco Conceptual.....	16
Seguridad Industrial:.....	16
Sensores de Proximidad:.....	16
Internet de las Cosas (IoT):.....	16
Microcontroladores y Comunicación Inalámbrica:.....	16
Interacción Hombre-Máquina (HMI):.....	17
Arquitectura de Sistemas Embebidos:.....	17
Automatización y Control:.....	17
Estado del Arte.....	18
Metodología.....	21
Investigación y Análisis de Requerimientos.....	21
Diseño del Sistema.....	21
Desarrollo del Prototipo.....	21
Pruebas y Validación.....	21
Optimización y Ajustes.....	22
Implementación y Conclusiones.....	22

Desarrollo de la Propuesta.....	24
Datos del Proyecto	24
Etapa de Diseño del Proyecto	24
Entorno Laboral:.....	26
Subsistema de Detección:	26
Subsistema de Procesamiento:.....	26
Subsistema de Energía:	26
Sensor Mini PIR ;	27
Esp32cam con Cámara Ov2640:	28
Batería Recargable en Polímero de Litio 3.7V - 300mA	30
Swich Interruptor	31
ESP32-S3 Pantalla táctil LCD Redonda de 1,69 Pulgadas, WiFi, Bluetooth y Sensor Giroscópico de Actitud QST QMI8658C	32
Módulo de Vibración	33
Caja Ensamble	34
Arquitectura General del Sistema	34
Subsistema de Energía.....	35
Subsistema de Detección	35
Subsistema de Procesamiento y Registro	35
Subsistema de Notificación al Usuario	36
Circuito del Sistema	36

Desarrollo del Prototipo.....	39
Mejora del Proyecto	43
Pruebas de Funcionamiento.....	50
Primera prueba Oficina	50
Opinión de la señorita Mary:.....	51
Segunda Prueba Taller	51
Opinión del Señor Daniel:	53
Desde el Enfoque Técnico, los Resultados Fueron los Sigüientes:.....	54
Tiempo de Respuesta	54
Alcance del Sensor	54
Estabilidad en la Conexión	54
Gestión de Notificaciones.....	54
Visualización de Imágenes	55
Ergonomía y Diseño Físico	55
Autonomía y Operación Offline.....	55
Códigos de la Programación.....	55
El Sistema Realiza las Sigüientes Funciones Principales:	55
Emisor SPAP-001	61
Conclusiones.....	66
Referencias Bibliográficas	67

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Cuadro Comparativo de Referentes del Estado del Arte sobre Sistemas de Alerta y Seguridad Industrial</i>	19
--	-----------

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Metodología</i>	23
Figura 2 <i>Diagrama de Bloques General del Sistema Propuesto</i>	25
Figura 3 <i>Sensor PIR</i>	27
Figura 4 <i>Esp32cam Ov2640</i>	28
Figura 5 <i>Modulo TP4056</i>	29
Figura 6 <i>Batería 3.7</i>	30
Figura 7 <i>Swicth ON/OFF</i>	31
Figura 8 <i>Esp32-s3 pantalla</i>	32
Figura 9 <i>Módulo de Vibración</i>	33
Figura 10 <i>Caja de Ensamble</i>	34
Figura 11 <i>Circuito en Fritzing</i>	36
Figura 12 <i>Diseño del Circuito Emisor</i>	38
Figura 13 <i>Circuito Receptor con Esp32s3</i>	38
Figura 14 <i>Primeras Piezas</i>	39
Figura 15 <i>Primera Prueba Verificando el Sistema con un Led al Detectar Movimiento</i>	40
Figura 16 <i>Prueba de Carga de Batería en Sistema</i>	41
Figura 17 <i>Pruebas Básicas completa con todos los Componentes</i>	41
Figura 18 <i>Prototipo en la Caja Emisor</i>	42
Figura 19 <i>Prototipo Parte Interna "Elaboración Propia</i>	42
Figura 20 <i>Implementación en Primera Parte de la Mejora Donde se Incorpora la Pantalla</i>	43
Figura 21 <i>Ayuda en la Universidad</i>	44
Figura 22 <i>Falla en Pixel</i>	46

Figura 23 <i>Presentación de las Mejoras</i>	47
Figura 24 <i>Prestación del Prototipo Emisor</i>	48
Figura 25 <i>Prestación del Prototipo Emisor</i>	48
Figura 26 <i>prototipo listo</i>	49
Figura 27 <i>Instalación del SPAP-001</i>	50
Figura 28 <i>Desarrollo de la Prueba</i>	51
Figura 29 <i>Ubicación en Taller</i>	52
Figura 30 <i>Prueba con el Dispositivo en Taller</i>	52
Figura 31 <i>Diagrama de Flujo</i>	57
Figura 33 <i>Diagrama que Explica el Funcionamiento del Código Emisor</i>	63

Introducción

En los entornos laborales modernos, la seguridad industrial constituye un componente esencial para garantizar la integridad física de los trabajadores y la continuidad operativa de las empresas. La creciente automatización y el uso de maquinaria pesada en sectores como la construcción, la manufactura y la logística han aumentado los riesgos de colisiones y accidentes, especialmente en zonas con visibilidad limitada o altos niveles de ruido. Estos incidentes pueden generar lesiones graves, pérdidas económicas y disminución de la eficiencia productiva.

Con el propósito de mitigar estos riesgos, el presente proyecto propone el diseño e implementación de un Sistema Personal de Alerta de Proximidad (SPAP), orientado a la prevención de accidentes mediante la detección temprana de movimiento y la generación de alertas inmediatas al trabajador. El sistema integra sensores PIR, microcontroladores ESP32-CAM y ESP32-S3, comunicación inalámbrica Wifi en modo Access Point, y una manilla inteligente que proporciona retroalimentación visual y háptica.

El uso de tecnologías IOT permite desarrollar un sistema autónomo, compacto y de bajo consumo energético, capaz de procesar y transmitir información en tiempo real. De esta manera, se busca fortalecer la conciencia situacional del trabajador, reducir la probabilidad de incidentes y aportar una herramienta tecnológica accesible y práctica para la mejora de la seguridad industrial.

Justificación

Los accidentes laborales continúan siendo una de las principales problemáticas en los entornos industriales, donde la presencia simultánea de trabajadores y maquinaria pesada incrementa los riesgos de colisiones, especialmente en zonas con visibilidad reducida, pasillos estrechos o ambientes con alto nivel de ruido. Tal como señalan González y López (2023), la incorporación de tecnologías inteligentes basadas en el Internet de las Cosas (IoT) permite mejorar significativamente los indicadores de seguridad al facilitar la detección temprana de riesgos y la generación de alertas inmediatas. De igual manera, la norma ISO 45001:2018 establece la necesidad de implementar sistemas de control operacional capaces de anticipar y mitigar peligros antes de que generen consecuencias severas.

Durante las pruebas de campo realizadas para el desarrollo del presente proyecto, se evidenció la pertinencia de una solución portátil, autónoma y de fácil implementación. En la primera prueba, realizada en un área de oficina de la empresa Transivic S.A.S., la colaboradora Mary destacó que el dispositivo le permitía recibir notificaciones inmediatas sobre el ingreso de personas por un portón sin visibilidad, sin necesidad de monitorear constantemente las cámaras de vigilancia. En la segunda prueba, efectuada en un taller con mayor congestión y riesgos mecánicos, el auxiliar de mantenimiento Daniel señaló que el sistema resultaba práctico, cómodo de portar y especialmente útil por funcionar sin conexión a internet, aunque recomendó mejorar el tamaño de la imagen mostrada y la gestión de múltiples alertas cuando tantas personas ingresaban simultáneamente.

El proyecto del Sistema Personal de Alerta de Proximidad (SPAP) responde directamente a estas necesidades, integrando sensores PIR, un módulo ESP32-CAM para la captura de imágenes y una manilla inteligente basada en ESP32-S3 encargada de generar alertas visuales y

hápticas. A lo largo del proceso de desarrollo, se identificaron y solucionaron diversas dificultades técnicas, como fallas en la comunicación bajo el protocolo ESP-NOW y problemas de pixelación en las imágenes. Estas situaciones llevaron a adoptar un esquema de comunicación más estable mediante el uso del ESP32-CAM como Access Point, siguiendo la recomendación del tutor Juan Carlos Vesga. Asimismo, se optimizaron parámetros de resolución y se mejoró el diseño del prototipo para lograr un funcionamiento fluido y confiable.

Desde la perspectiva económica, la implementación de sistemas IoT como el SPAP contribuye a reducir costos derivados de incapacidades, reparaciones, tiempos de inactividad y posibles sanciones legales (Kumar, Singh y Mehta, 2022). En el ámbito social, el sistema promueve una cultura preventiva al fortalecer la conciencia situacional del trabajador mediante alertas en tiempo real, incluso en escenarios con ruido elevado o distracciones. Además, su portabilidad y autonomía energética —proporcionada por baterías de polímero de litio y módulos TP4056— permiten su uso en espacios con infraestructura limitada.

En síntesis, los resultados obtenidos en las pruebas, los aportes de los usuarios, la evidencia experimental y el marco normativo vigente demuestran que el SPAP constituye una solución tecnológica pertinente, accesible y alineada con los estándares internacionales de seguridad laboral. Este sistema no solo mejora la capacidad de respuesta ante situaciones de riesgo, sino que también representa un avance significativo en la prevención de accidentes en entornos industriales.

Planteamiento del Problema

En áreas industriales y construcción, la eficiencia y la seguridad a menudo chocan. El constante movimiento de equipos industriales y personal crea un entorno de riesgo, donde los "puntos ciegos" y las colisiones son una amenaza latente. Los sistemas de seguridad tradicionales, como espejos y alarmas, resultan insuficientes ante la complejidad del entorno y los factores humanos como la fatiga y la distracción.

Problema: Las colisiones entre los equipos y las personas son frecuentes, causando lesiones, retrasos y un ambiente de trabajo inseguro. La falta de conciencia situacional, exacerbada por el ruido y la presión del tiempo, impide la prevención efectiva de accidentes.

Escenario: Carlos, operador de montacargas con 10 años de experiencia, descarga paletas en un área de carga con visibilidad limitada. Ana, empleada de almacén, se acerca por detrás de un estante alto. Sin el sistema que alerte a Ana o a Carlos de que están cerca de colisionar debido al ruido, la colisión es inminente.

En los sectores industriales y de construcción persisten riesgos asociados al movimiento constante de maquinaria pesada y personal operativo. Las condiciones de ruido, los puntos ciegos y las distracciones aumentan la probabilidad de colisiones, afectando la integridad del trabajador y la eficiencia productiva. Según Lee y Park (2024), la ausencia de sistemas portátiles de alerta inmediata limita la capacidad del trabajador para reaccionar ante situaciones de riesgo en tiempo real.

Aunque existen medidas tradicionales como señalización, espejos o alarmas, estas no siempre resultan efectivas ante la complejidad del entorno y las limitaciones humanas. Lo anterior evidencia la necesidad de incorporar tecnologías inteligentes que permitan detectar

movimiento cercano y alertar oportunamente al usuario, en concordancia con los lineamientos internacionales de prevención de riesgos (ISO, 2018).

La falta de un sistema portátil, autónomo y en tiempo real que alerte al trabajador sobre la presencia cercana de personas u objetos en movimiento incrementa la probabilidad de accidentes por colisión en entornos industriales.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar e implementar un sistema de alerta de proximidad inteligente y adaptable, basado en sensores , capaz de detectar en tiempo real la presencia y trayectoria de objetos o personas en movimiento dentro de entornos laborales de alto riesgo. El sistema deberá generar alertas personalizadas e inmediatas a los trabajadores, mediante una manilla inteligente, utilizando notificaciones visuales, vibratorias, con el fin de minimizar significativamente el riesgo de colisiones y otros accidentes relacionados con la proximidad

Objetivo Específicos

Implementar un sistema de sensores de proximidad capaz de detectar objetos y personas en movimiento en entornos laborales.

Implementar un sistema de alerta basado en una manilla inteligente que emita luz y vibración al detectar la proximidad de objetos o personas en movimiento.

Integrar el sistema en el equipo de protección personal (EPP) para mejorar su usabilidad y eficacia. Validar la efectividad del sistema mediante pruebas en entornos reales de trabajo.

Marco Conceptual

Seguridad Industrial:

Conjunto de normas, procedimientos y tecnologías destinadas a proteger la integridad física de los trabajadores, reduciendo la probabilidad de accidentes. La norma ISO 45001:2018 establece los lineamientos internacionales para los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo, los cuales fundamentan este proyecto.

Sensores de Proximidad:

Son dispositivos electrónicos capaces de detectar la presencia o movimiento de objetos o personas sin contacto físico. En este proyecto se emplea un sensor PIR (Passive Infrared), que detecta radiación infrarroja emitida por el cuerpo humano, activando el sistema de alerta al percibir cambios térmicos en su entorno. (González & López, 2023)

Internet de las Cosas (IoT):

El IOT integra dispositivos físicos con capacidad de comunicación y procesamiento, permitiendo la supervisión remota y la toma de decisiones automáticas. En este sistema, los módulos ESP32-CAM y ESP32-S3 se comunican mediante una red inalámbrica local (modo Access Point), transmitiendo datos entre los dispositivos de detección y alerta. (Kumar et al., 2022)

Microcontroladores y Comunicación Inalámbrica:

Los microcontroladores ESP32 ofrecen conectividad Wifi y Bluetooth integradas, lo que permite desarrollar sistemas inteligentes portátiles sin necesidad de infraestructura de red externa. Su alta capacidad de procesamiento y bajo consumo los hace ideales para sistemas embebidos IoT en aplicaciones de seguridad. (Espressif Systems, 2024)

Interacción Hombre–Máquina (HMI):

El diseño de la interfaz usuario–máquina es fundamental para garantizar que las alertas sean intuitivas y efectivas. En este caso, se implementa retroalimentación háptica (vibración) y visual (pantalla LCD) en una manilla inteligente, mejorando la atención del trabajador ante situaciones de riesgo. (Lee & Park, 2024)

Arquitectura de Sistemas Embebidos:

Un sistema embebido integra hardware y software en un solo dispositivo para realizar tareas específicas. El SPAP combina sensores, microcontroladores, módulos de comunicación y actuadores, conformando un sistema autónomo capaz de detectar, procesar y reaccionar ante estímulos del entorno en tiempo real

Automatización y Control:

La automatización en seguridad industrial se basa en el ciclo *detectar–procesar–actuar*, principio que guía el funcionamiento del sistema propuesto. La detección de movimiento activa una respuesta inmediata en el subsistema de notificación, reduciendo los tiempos de reacción y aumentando la prevención de accidentes...

Estado del Arte

Diversas investigaciones han abordado la prevención de accidentes laborales mediante sistemas inteligentes y dispositivos portátiles. En el estudio realizado por González y López (2023), se desarrolló un dispositivo IoT orientado a la detección de proximidad en zonas industriales, empleando sensores ultrasónicos y comunicación Bluetooth. Los autores reportaron una mejora del 40 % en la capacidad de respuesta ante situaciones de riesgo. No obstante, su propuesta no integraba un sistema de registro visual de eventos, lo que limita la trazabilidad y el análisis posterior de incidentes.

Por otro lado, *Kumar et al.* (2022) presentaron un sistema de seguridad para trabajadores en minería utilizando módulos ESP8266, enfocado en la detección de gas y temperatura corporal, aunque sin integración de alertas vibratorias. En 2024, *Lee y Park* diseñaron una manilla inteligente con sensor PIR y Wifi, orientada a la detección de movimiento en almacenes, pero su implementación dependía de una red externa.

El presente proyecto mejora las limitaciones de estos sistemas al integrar una arquitectura autónoma basada en ESP32-CAM y ESP32-S3, capaz de funcionar sin conexión a internet externa mediante modo Access Point, registrando imágenes en tiempo real y notificando al trabajador a través de señales hápticas y visuales. Esta combinación de detección, registro y alerta directa al usuario representa un avance en el campo de la seguridad industrial IoT, al ofrecer una herramienta portátil, eficiente y escalable.

Tabla 1

Cuadro comparativo de referentes del estado del arte sobre sistemas de alerta y seguridad industrial

Autor(es)	Año	Problema abordado	Tecnología utilizada	Metodología	Resultados relevantes
Kim y Choi	2022	Accidentes laborales por proximidad	Sensores de imagen e IOT	Desarrollo experimental	Mejora en la detección de objetos cercanos mediante alertas automáticas
Uddin et al.	2024	Dificultad para monitorear trabajadores en tiempo real	Redes IoT y BLE	Implementación de prototipo	Seguimiento confiable de trabajadores en entornos industriales
Rajkumar et al.	2025	Riesgos laborales en ambientes industriales	Sensores y microcontroladores ESP32	Diseño e implementación	Monitoreo continuo de condiciones laborales
Ali et al.	2025	Accidentes laborales por caídas	Dispositivos wearables con ESP32	Desarrollo experimental	Generación automática de alertas de emergencia
Supriyanto et al.	2024	Falta de supervisión en obras de construcción	ESP32 y comunicación LoRa	Desarrollo de prototipo	Monitoreo remoto de trabajadores
Hasib et al.	2026	Seguridad en ambientes industriales	Sensores IoT	Investigación aplicada	Alta precisión en detección de condiciones de riesgo
Fraga-Lamas et al.	2022	Supervisión de seguridad industrial	Sistemas IoT industriales	Revisión tecnológica	Mejora en control de entornos laborales
Eiffert et al.	2021	Accidentes en industrias pesadas	Visión artificial	Desarrollo de sistema	Detección automática de

Autor(es)	Año	Problema abordado	Tecnología utilizada	Metodología	Resultados relevantes
					situaciones peligrosas
Chen et al.	2025	Uso incorrecto de elementos de protección	Inteligencia artificial	Modelo experimental	Alta precisión en detección de riesgos
ISO	2018	Gestión de seguridad laboral	Normativa internacional	Estándar técnico	Lineamientos para prevención de riesgos
Espressif Systems	2024	Desarrollo de sistemas IoT	Microcontroladores ESP32	Documentación técnica	Alta conectividad y bajo consumo
Espressif Systems	2024	Sistemas embebidos para monitoreo	ESP32-CAM	Especificaciones técnicas	Captura de imágenes en sistemas IoT
Arduino	2024	Desarrollo de prototipos electrónicos	Plataforma Arduino	Documentación técnica	Facilidad de implementación
Lee et al.	2015	Integración de sistemas industriales	Sistemas ciber físicos	Investigación aplicada	Automatización de procesos industriales
Gubbi et al.	2013	Arquitectura de sistemas IOT	Internet de las cosas	Revisión científica	Bases conceptuales de sistemas IoT

Nota. En este cuadro se realiza una comparativa de los proyectos similares y los estudios que fueron investigados para la realización de este proyecto.

Metodología

Para el desarrollo de este proyecto se adoptó una metodología experimental aplicada, orientada al diseño, implementación y validación del sistema en entornos controlados y reales. El proceso se estructuró en las siguientes fases:

Investigación y Análisis de Requerimientos

Se recopiló información relacionada con las normativas de seguridad laboral, tecnologías de sensores de proximidad y sistemas de alerta existentes. A partir de esta revisión se definieron los parámetros técnicos y funcionales del sistema, así como las necesidades específicas del entorno de aplicación.

Diseño del Sistema

Se seleccionaron los componentes electrónicos apropiados, incluyendo sensores de proximidad, módulos de comunicación inalámbrica y microcontroladores. Asimismo, se estableció la arquitectura general del sistema, considerando aspectos como la portabilidad, autonomía energética y capacidad de alerta.

Desarrollo del Prototipo

Se procedió al ensamblaje y programación del sistema de detección y alerta. Los sensores fueron integrados a una manilla inteligente encargada de emitir notificaciones visuales y vibratorias al usuario cuando se detecta proximidad de personas u objetos.

Pruebas y Validación

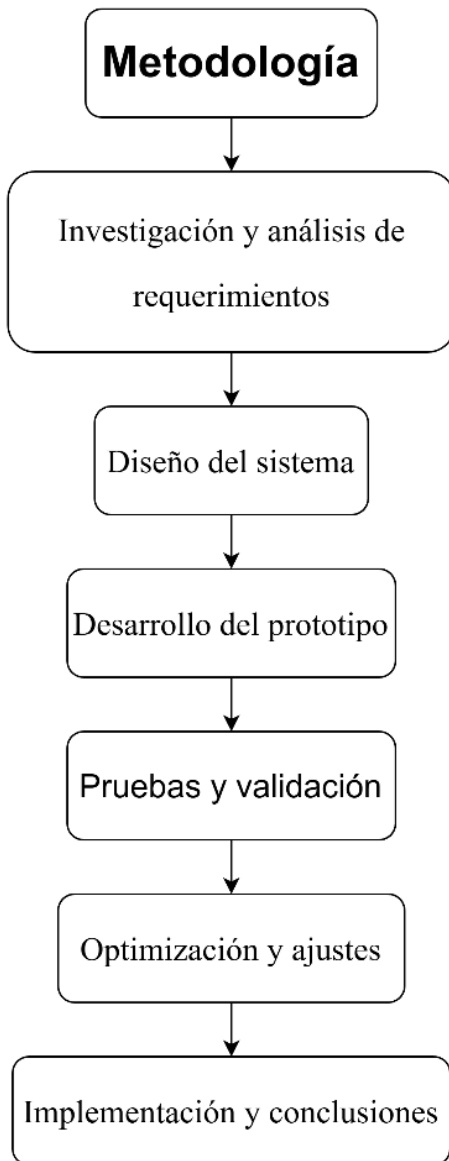
El prototipo fue evaluado en entornos simulados y en condiciones reales de operación. Se analizaron variables como la precisión en la detección, el tiempo de respuesta, la estabilidad de la comunicación y la efectividad de las alertas generadas.

Optimización y Ajustes

Con base en los resultados obtenidos en las pruebas, se realizaron mejoras en el diseño, la programación y la funcionalidad del sistema. Estos ajustes buscaron incrementar la eficiencia, confiabilidad y usabilidad del dispositivo.

Implementación y Conclusiones

Finalmente, se documentaron los resultados del proyecto y se elaboraron recomendaciones para su aplicación en contextos laborales reales, así como posibles mejoras para desarrollos futuros.

Figura 1*Metodología*

Nota. Diagrama de la secuencia que conlleva la metodología del proyecto

Desarrollo de la Propuesta

Datos del Proyecto

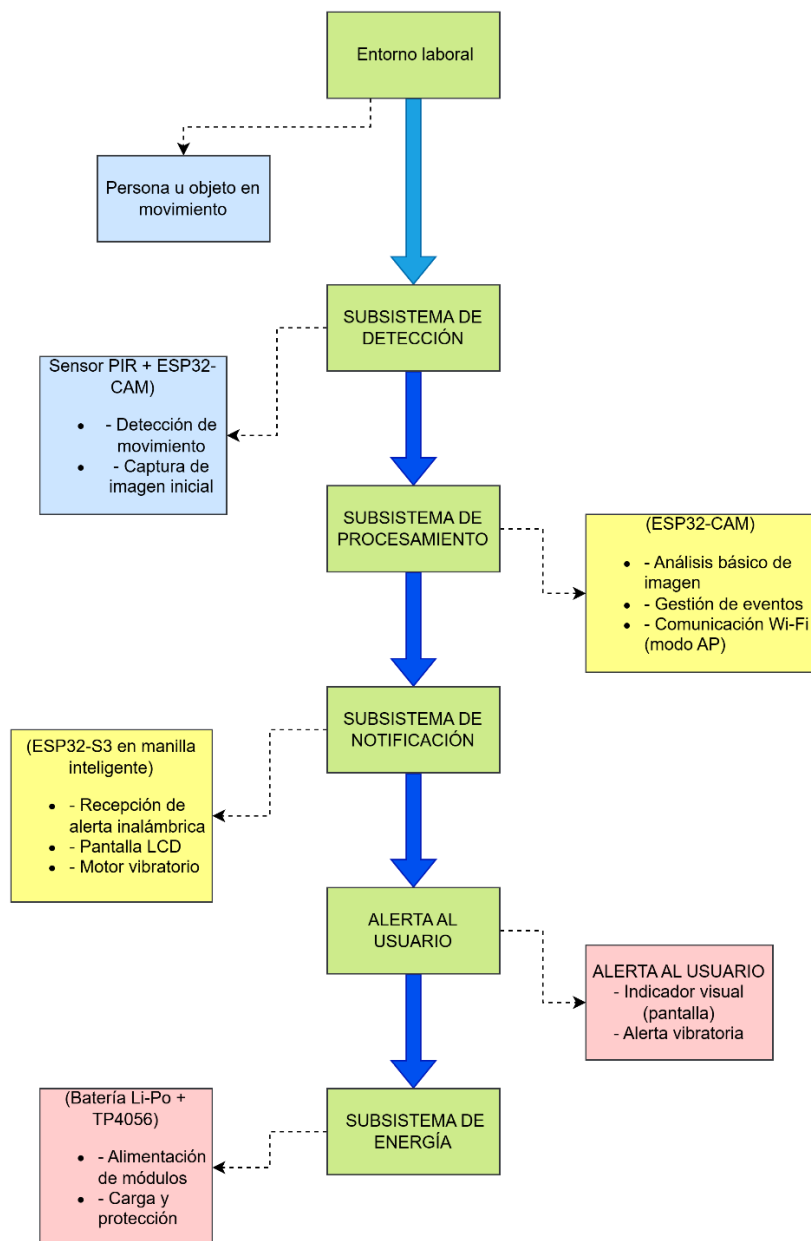
Este proyecto propone un sistema personal de alerta de proximidad orientado a prevenir accidentes laborales mediante la detección de movimiento y la comunicación inalámbrica entre dispositivos. El módulo de detección integra un sensor PIR y un ESP32-CAM, reconocido por su capacidad para capturar imágenes y transmitir las vía WiFi. La manilla inteligente incorpora un ESP32-S3 con pantalla LCD para mostrar alertas, permitiendo una notificación inmediata al usuario.

Etapa de Diseño del Proyecto

En la Figura 1 se presenta el diagrama en bloques del Sistema Personal de Alerta de Proximidad, el cual resume la interacción entre los distintos subsistemas que lo conforman. Cada bloque cumple una función específica dentro del proceso de detección, procesamiento y notificación, asegurando un funcionamiento eficiente y autónomo. La comunicación entre los módulos se establece mediante protocolo WiFi en modo Access Point, permitiendo una conexión directa entre el sistema detector y la manilla inteligente sin depender de redes externas.

Figura 2

Diagrama de Bloques General del Sistema Propuesto



Nota. Se demuestra el funcionamiento que deberá tener el planteamiento a la solución

Entorno Laboral:

Representa el espacio físico donde el sistema opera, incluyendo trabajadores, maquinaria o equipos en movimiento. Es el punto de inicio de las señales que serán detectadas.

Subsistema de Detección:

Compuesto por el sensor PIR, encargado de detectar movimiento mediante radiación infrarroja, y el módulo ESP32-CAM, que activa la cámara para capturar una imagen del evento.

Subsistema de Procesamiento:

El ESP32-CAM analiza la señal recibida, almacena la imagen en una memoria microSD y transmite información mediante conexión Wifi al dispositivo receptor (manilla inteligente).

Subsistema de Notificación al Usuario:

Integrado en una manilla inteligente con ESP32-S3, pantalla LCD y módulo vibrador. Recibe la señal inalámbrica del módulo de detección y genera una alerta visual y háptica (vibración) para avisar al trabajador de la proximidad detectada.

Subsistema de Energía:

Cada módulo cuenta con una batería recargable de polímero de litio (3.7V) y un circuito de carga TP4056, garantizando autonomía, seguridad y portabilidad.

El diseño del sistema integra los siguientes componentes principales:

Sensor Mini PIR

Figura 3

Sensor PIR



Nota. Sensor de movimiento pequeño y versátil

El sistema utiliza un sensor piroeléctrico mini PIR como componente principal para la detección de movimiento. Este dispositivo, basado en tecnología infrarroja pasiva, identifica la presencia de personas a través de variaciones en la radiación emitida por sus cuerpos. Gracias a su alta sensibilidad, bajo consumo energético y tamaño reducido, resulta ideal para equipos autónomos alimentados por batería.

En el presente proyecto, el sensor mini PIR proporciona la señal inicial para activar el sistema de captura de evidencias y alerta al trabajador, garantizando una respuesta automática, eficiente y confiable ante la detección de movimiento.

Esp32cam con Cámara Ov2640

Figura 4

Esp32cam Ov2640



Nota. Procesador con el cual se tomará la foto

El ESP32-CAM con cámara OV2640 y base CH340 es un módulo de desarrollo que integra un microcontrolador ESP32 con conectividad Wifi y Bluetooth, junto con una cámara digital OV2640 de alta resolución. Este dispositivo combina en un solo componente la capacidad de procesamiento, la captura de imágenes y la transmisión inalámbrica de datos, lo que lo convierte en una solución compacta y versátil para proyectos de visión artificial, monitoreo y sistemas IOT.

La base CH340 incorporada facilita la programación y comunicación del módulo mediante conexión USB, permitiendo una interfaz sencilla entre el ESP32 y el entorno de desarrollo. Gracias a esta integración, se mejora la facilidad de uso y se elimina la necesidad de módulos adicionales para la carga de firmware. (naylamp, 2025)

Módulo cargador batería Litio con protección TP4056

Figura 5*Modulo TP4056*

Nota. Dispositivo para regular la carga de la batería

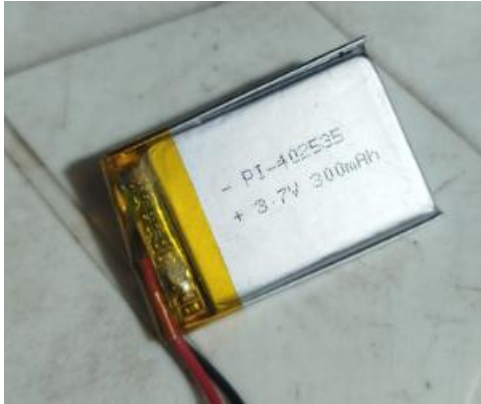
El módulo cargador de batería de litio con protección TP4056 es un dispositivo diseñado para la gestión de carga segura y eficiente en baterías de ion-litio. Incorpora el chip TP4056, encargado de regular el proceso de carga mediante puerto micro-USB o entrada de 5 V, asegurando una corriente controlada y adecuada para este tipo de baterías.

Este módulo incluye un circuito de protección integrado que previene riesgos comunes como sobrecarga, sobre descarga y cortocircuitos, prolongando la vida útil de la batería y garantizando un funcionamiento confiable. Gracias a su tamaño compacto y bajo costo, es ampliamente utilizado en proyectos electrónicos portátiles y sistemas alimentados por baterías recargables. (Dynamo Electronics, 2025)

Batería Recargable en Polímero de Litio 3.7V - 300mA

Figura 6

Batería 3.7



Nota. Batería de baja potencia esencial para el funcionamiento del sistema

La batería recargable de polímero de litio de 3.7V y 300mA es una fuente de energía ligera y compacta, especialmente diseñada para dispositivos electrónicos portátiles. Su tecnología de polímero de litio ofrece una alta densidad de energía en comparación con otras baterías recargables, lo que permite un almacenamiento eficiente en un tamaño reducido.

Este tipo de batería proporciona una tensión nominal estable de 3.7V y cuenta con la capacidad suficiente para alimentar sistemas de bajo consumo, como sensores, microcontroladores, módulos de comunicación y pequeños actuadores. Además, es recargable y puede ser utilizada junto a módulos de protección y carga, como el TP4056, para garantizar un funcionamiento seguro. (ferre trónica, 2025)

Swicth Interruptor

Figura 7

Swicth ON/OFF



Nota. Apagador y encendido

Es un dispositivo electromecánico utilizado para abrir o cerrar el paso de corriente eléctrica dentro de un circuito. Su funcionamiento se basa en un mecanismo manual que, al ser accionado, cambia el estado del circuito entre encendido (cerrado) y apagado (abierto), permitiendo al usuario tener control directo sobre el suministro de energía.

Este componente es ampliamente utilizado en sistemas electrónicos y eléctricos debido a su sencillez, confiabilidad y bajo costo, siendo esencial en aplicaciones donde se requiere habilitar o deshabilitar manualmente un circuito.

ESP32-S3 Pantalla táctil LCD Redonda de 1,69 Pulgadas, Wifi, Bluetooth y Sensor

Giroscópico de Actitud QST QMI8658C

Figura 8

Esp32-s3 pantalla



Nota. Procesador que incorpora pantalla el cual se utilizara como receptor

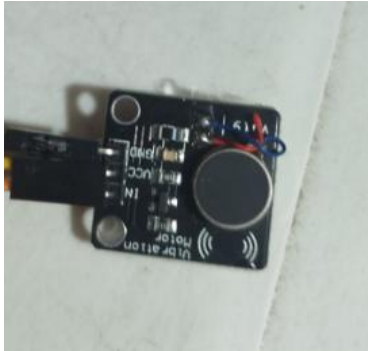
Es un dispositivo de desarrollo avanzado que integra un microcontrolador ESP32-S3 con conectividad Wifi y Bluetooth, junto a una interfaz gráfica interactiva mediante una pantalla táctil LCD de alta resolución. Este módulo está diseñado para aplicaciones que requieren visualización, control y comunicación inalámbrica en un mismo sistema compacto.

Además, incorpora el sensor giroscópico de actitud QST QMI8658C, el cual combina acelerómetro y giroscopio para proporcionar datos precisos de orientación, movimiento y aceleración. Esta integración facilita el desarrollo de aplicaciones que requieren interacción física y monitoreo en tiempo real, como dispositivos portátiles, paneles de control inteligentes y sistemas IoT avanzados. (Aliexpress, 2025)

Módulo de Vibración

Figura 9

Módulo de Vibración



Nota. Dispositivo encargado de generar un pulso en el dispositivo

Es un dispositivo electrónico diseñado para generar retroalimentación háptica mediante vibraciones controladas. Generalmente, está compuesto por un motor de corriente continua con un pequeño contrapeso excéntrico en el eje, lo que produce la vibración al girar. Su función principal es proporcionar una señal física de aviso o notificación al usuario, complementando señales visuales o sonoras.

Gracias a su tamaño reducido, bajo consumo energético y facilidad de integración, este tipo de módulo es ampliamente utilizado en dispositivos portátiles, sistemas de alerta, teléfonos móviles, controles electrónicos y proyectos que requieren interacción sensorial.

Caja Ensamble

Figura 10

Caja de Ensamble



Nota. Lugar donde se pondrán los componentes electrónicos

Es un elemento físico destinado a proteger, organizar y alojar los componentes electrónicos de un sistema. Su función principal es brindar una estructura segura y resistente, evitando daños mecánicos, polvo o humedad que puedan afectar el correcto funcionamiento de los módulos y conexiones internas.

Arquitectura General del Sistema

La arquitectura general del sistema personal de alerta de proximidad se encuentra organizada en cuatro subsistemas principales que interactúan entre sí para garantizar su correcto funcionamiento. Estos subsistemas corresponden al de energía, al de detección, al de procesamiento y registro, y al de notificación al usuario. Cada uno cumple un rol específico dentro del diseño y, en conjunto, conforman una solución integral orientada a la prevención de accidentes laborales en entornos industriales.

Subsistema de Energía

El sistema cuenta con un subsistema de energía diseñado para proporcionar autonomía y seguridad en su funcionamiento. Este bloque está compuesto por una batería recargable de polímero de litio de 3.7 V y 300 mAh, un módulo cargador TP4056 con circuito de protección integrado, un interruptor manual de encendido y apagado, y un regulador de voltaje encargado de entregar los niveles eléctricos adecuados a los diferentes módulos. La inclusión de este subsistema garantiza un suministro estable, confiable y seguro, condición fundamental para el desempeño del sistema en ambientes industriales.

Subsistema de Detección

El segundo bloque corresponde al subsistema de detección, conformado por un sensor PIR (Passive Infrared). Este componente es el encargado de identificar la presencia o movimiento de personas a través de variaciones en la radiación infrarroja emitida por sus cuerpos. Cuando ocurre una detección, el sensor genera una señal de activación que permite iniciar el proceso de registro y alerta.

Subsistema de Procesamiento y Registro

Una vez que se recibe la señal del sensor PIR, entra en funcionamiento el subsistema de procesamiento y registro. Este está compuesto por un módulo ESP32-CAM con cámara OV2640, encargado de capturar una imagen del evento detectado. Posteriormente, la fotografía se almacena en una tarjeta microSD que funciona como una base de datos local. Además, gracias a la conectividad WiFi-integrada en el ESP32-CAM, un dispositivo móvil puede acceder a las imágenes almacenadas y verificar en tiempo real los registros generados por el sistema.

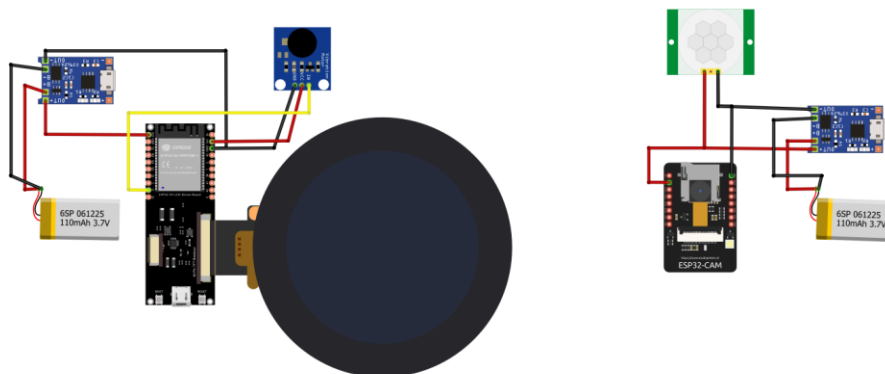
Subsistema de Notificación al Usuario

De manera paralela, se activa el subsistema de notificación al usuario, representado por una manilla inteligente basada en un ESP32-S3 con pantalla LCD. Este módulo recibe la señal de detección y genera una doble alerta: una notificación visual en la pantalla y una vibración háptica a través de un pequeño motor vibrador. Con este mecanismo, el trabajador recibe retroalimentación inmediata, lo que le permite reaccionar oportunamente ante posibles riesgos y mejorar su conciencia situacional dentro del entorno laboral.

Circuito del Sistema

Figura 11

Circuito en Fritzing



Nota. Diagrama basado en componentes de diseños de forma ilustrativa

El circuito del sistema se encuentra dividido en dos bloques principales que trabajan de manera conjunta: el bloque de la manilla inteligente y el bloque de detección y registro.

En el bloque de la manilla, se integra un microcontrolador ESP32-S3 con pantalla LCD, el cual recibe la señal de detección y genera una notificación inmediata al trabajador. Para garantizar la retroalimentación sensorial, este módulo se conecta a un motor vibrador encargado

de emitir una alerta háptica. El sistema cuenta con una batería recargable de polímero de litio de 3.7 V y 110 mAh como fuente principal de alimentación, la cual es gestionada mediante un módulo cargador TP4056 con protección integrada. Este circuito de carga asegura un suministro seguro y eficiente, evitando riesgos de sobrecarga o descarga profunda.

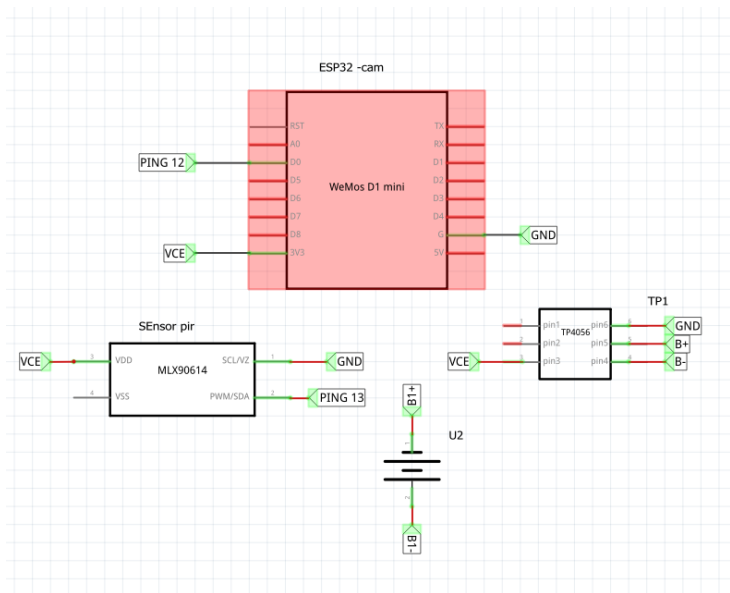
Por su parte, el bloque de detección y registro incorpora un sensor PIR que tiene la función de identificar la presencia de movimiento en el área de cobertura. Cuando se detecta actividad, el sensor envía la señal al microcontrolador ESP32-CAM, que activa la cámara OV2640 para capturar una imagen. La fotografía obtenida puede almacenarse y posteriormente ser consultada desde un dispositivo móvil mediante la conectividad inalámbrica del módulo. Este bloque también dispone de una batería recargable de 3.7 V y 110 mAh con su respectivo módulo cargador TP4056, lo que le confiere autonomía y portabilidad.

De manera conjunta, ambos bloques constituyen el circuito completo del sistema de alerta de proximidad. El primero proporciona la interacción directa con el usuario a través de la manilla inteligente, mientras que el segundo asegura la detección y el registro visual del evento. La integración de estos dos módulos garantiza un diseño funcional, autónomo y adaptable a las necesidades de entornos laborales donde la seguridad es prioritaria.

Esquemático

Figura 12

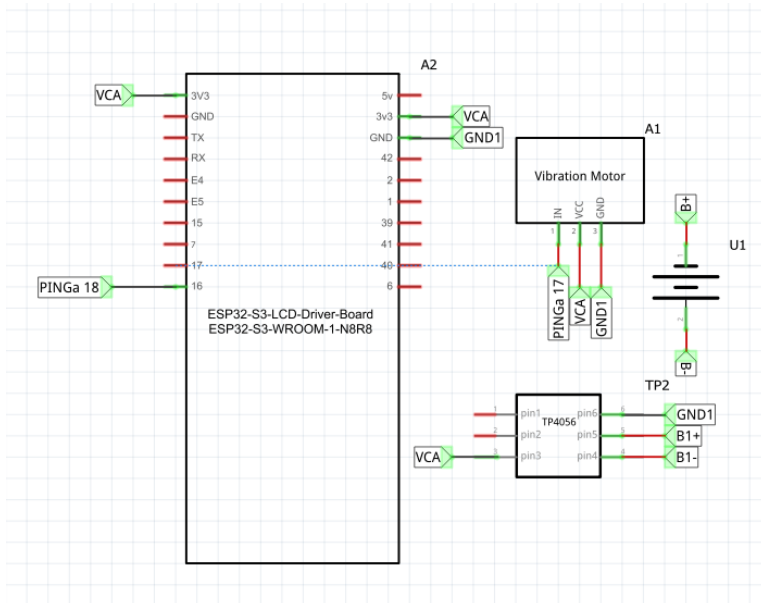
Diseño del Circuito Emisor



Nota. parte interna del circuito emisor

Figura 13

Circuito Receptor con Esp32s3



Nota. parte interna del Circuito Receptor con Esp32s3

Desarrollo del Prototipo

Con el diseño esquemático definido y la selección de los componentes realizada, se procedió a la adquisición del material electrónico. Debido a que algunos de los módulos no se encontraban disponibles en el mercado nacional, fue necesario realizar la compra en el exterior, lo que generó un tiempo de espera aproximado de un mes. Una vez recibidos los elementos, se inició la fase de montaje en protoboard, como se aprecia en la Figura 13, donde se muestran las primeras piezas utilizadas para la construcción del sistema.

Figura 14

Primeras Piezas



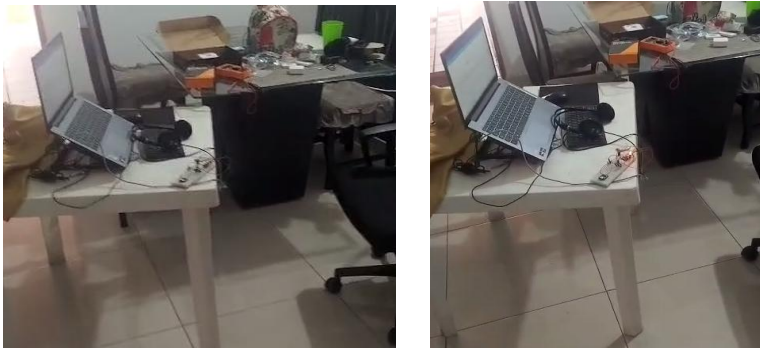
Nota. Primeras Piezas para el desarrollo

Con la llegada de los componentes se iniciaron las primeras pruebas experimentales del sistema. En esta etapa inicial se planteó un prototipo basado en dos microcontroladores ESP32-C3 Mini, configurados para comunicarse mediante el protocolo ESP-NOW. Esta primera versión fue presentada al tutor Martín Gallo con el propósito de validar el funcionamiento básico del sensor PIR y la transmisión de señales entre los módulos.

Durante la primera prueba experimental se verificó el correcto desempeño del sensor PIR, evidenciando su capacidad para detectar movimiento de personas u objetos y generar la señal de activación hacia el microcontrolador encargado del sistema de alerta. Dicho comportamiento se observó claramente en las imágenes del montaje y la ejecución de la prueba, donde se aprecia la respuesta del sistema ante los estímulos detectados.

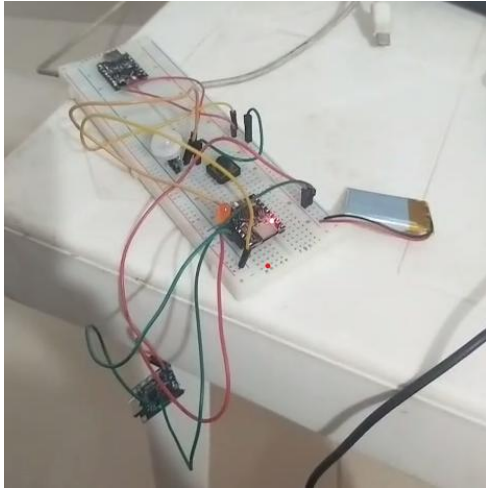
Figura 15

Primera Prueba Verificando el Sistema con un Led al Detectar Movimiento



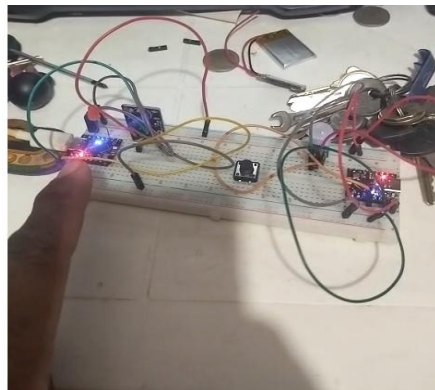
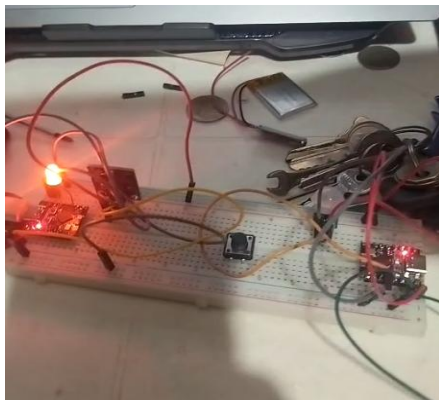
Nota. se muestra el cambio de luz del led

Posteriormente, se llevó a cabo un segundo ensayo enfocado en la gestión de energía. Para ello se integró una batería recargable y un módulo TP4056, encargados de alimentar el sistema de manera estable y segura. En la **Figura 16** se evidencia la prueba del sistema de carga, confirmando que los componentes recibían la energía necesaria y que la conexión básica del circuito funcionaba adecuadamente.

Figura 16*Prueba de Carga de Batería en Sistema*

Nota. Prueba de Carga de Batería en Sistema

Con estos avances, se procedió a integrar los elementos en un montaje más completo sobre protoboard. En el **Figura 17** se aprecia el sistema en funcionamiento con los dos microcontroladores ESP32-C3 Mini, validando tanto la comunicación como la correcta respuesta del sensor PIR y la alimentación de los módulos. Esta prueba permitió obtener un prototipo inicial funcional, aunque limitado en capacidad.

Figura 17*Pruebas Básicas completa con todos los Componentes*

Nota. instalación básica con los componentes que desarrollan el sistema

Como parte del proceso de documentación y mejora, se diseñó un primer bosquejo de instalación para el módulo emisor. La **Figura 18** muestra el prototipo en su caja de ensamble, mientras que la **Figura 19** presenta la disposición interna de los componentes electrónicos. Este avance permitió al tutor realizar observaciones sobre aspectos de organización y posibles mejoras en el diseño físico del sistema.

Figura 18

Prototipo en la Caja Emisor



Nota. Prototipo en la Caja Emisor

Figura 19

Prototipo Parte Interna



Nota. Prototipo Parte Interna con sus conexiones eléctricas

Mejora del Proyecto

A partir de las recomendaciones realizadas por los tutores Alexander y Martín (director del proyecto), líderes del semillero de investigación, se sugirió escalar el proyecto hacia un diseño más robusto. Aunque la primera versión cumplía con la función básica de detección y transmisión de señales, se consideró necesario implementar microcontroladores de mayor capacidad que permitieran integrar nuevas funcionalidades.

Con este propósito, se adoptó una nueva arquitectura basada en el **ESP32-CAM**, responsable de la captura y almacenamiento de imágenes, y en el **ESP32-S3 con pantalla LCD**, integrado en la manilla inteligente para la visualización de alertas y notificaciones al usuario. Esta actualización se convirtió en la base del proyecto actual, manteniendo la esencia de la propuesta inicial, pero con un mayor potencial técnico.

Figura 20

Implementación en Primera Parte de la Mejora Donde se Incorpora la Pantalla



Nota. pantalla del prototipo para instalacion

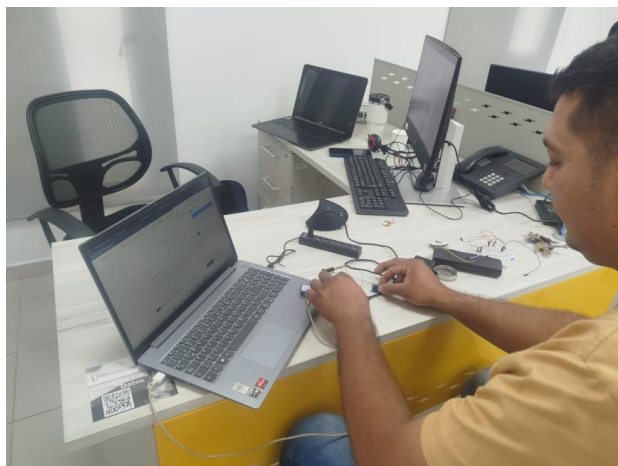
En la **Figura 20** se observan los procesadores ESP32-CAM y ESP32-S3 utilizados en esta nueva fase. En esta etapa se logró establecer comunicación básica entre los módulos y

habilitar la visualización en pantalla. Sin embargo, surgieron dificultades relacionadas con la programación, especialmente en la implementación del protocolo ESP-NOW, lo que incrementó la complejidad del software y abrió la necesidad de optimizar el código para garantizar una transmisión de datos estable.

A partir de la integración de los nuevos módulos surgieron dificultades importantes relacionadas con la programación. En esta etapa, los sistemas de comunicación no se adaptaban de manera adecuada, lo que ocasionó innumerables fallas en el código y obligó a realizar constantes ajustes. Estas limitaciones generaron retrasos en el avance del proyecto y motivaron la búsqueda de asesoría adicional en la universidad, como se aprecia en la **Figura 20**, donde se registra una de las sesiones de apoyo académico.

Figura 21

Ayuda en la Universidad



Nota. Ayuda en la Universidad UNAD por Parte de los Tutores

Después de varios intentos y de fallas recurrentes en la transmisión de datos, se tomó la decisión de solicitar acompañamiento especializado con el tutor **Juan Carlos Vesga**, quien

sugirió implementar un esquema de comunicación basado en el modo Access Point (AP). Esta recomendación representó un cambio importante en el diseño, ya que permitió replantear la forma en que los dispositivos establecían la conexión.

Explicación del sistema Access Point

El Access Point (AP), o punto de acceso, es un modo de operación en el que un dispositivo con capacidad de red inalámbrica (en este caso, el ESP32-CAM o el ESP32-S3) actúa como un servidor que crea su propia red WiFi local. De esta manera, otros dispositivos pueden conectarse directamente a él, sin necesidad de un enrutador o una red externa. En términos prácticos, el microcontrolador genera una red inalámbrica propia con un nombre (SSID) y una contraseña, lo que facilita que el celular u otro módulo se enlacen de forma sencilla.

La adopción de este sistema solucionó varios de los inconvenientes presentados con ESP-NOW, ya que permitió una comunicación más estable y flexible entre los microcontroladores y los dispositivos móviles. Además, el modo AP ofreció ventajas como el manejo imágenes almacenadas en la tarjeta microSD del ESP32-CAM

Este ajuste en la arquitectura de comunicación marcó un punto de inflexión en el desarrollo del prototipo, ya que abrió nuevas posibilidades de escalabilidad y mejoró la confiabilidad del sistema.

Con la implementación del protocolo Access Point surgieron nuevos retos en el desempeño del sistema. Durante las pruebas, las imágenes capturadas por el módulo ESP32-CAM y transmitidas hacia los dispositivos conectados presentaron fallas de calidad, evidenciadas en pixelación y distorsiones visuales, como se observa en la Figure 21

Figura 22*Falla en Píxel*

Nota. Falla en Píxel y Sincronización de Ubicación

Este inconveniente generó retrasos en el proceso de validación y provocó momentos de frustración en el desarrollo, ya que limitaba la correcta interpretación de las evidencias capturadas. No obstante, estas dificultades también permitieron identificar la necesidad de optimizar el código, ajustar parámetros de resolución y explorar alternativas de compresión que contribuyeran a mejorar la calidad de la transmisión sin comprometer la funcionalidad del sistema.

Después de varios intentos y meses de pruebas errores se logra un funcionamiento más estable tal como se demuestra en la **Figura 23**

Figura 23

Presentación de las Mejoras

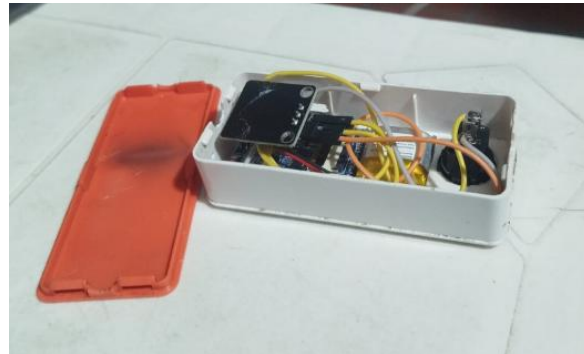


Nota. Presentación de las Mejoras en la Pantalla Donde el Funcionamiento es más Fluido y Visual.

Con los resultados obtenidos en las etapas previas de prueba y validación, el equipo de desarrollo procedió a realizar las modificaciones pertinentes en el diseño inicial del sistema. Estos ajustes permitieron corregir inconsistencias, optimizar la disposición de los componentes electrónicos y mejorar la estabilidad general del funcionamiento. Una vez implementados los cambios estructurales y funcionales, se dio inicio al proceso de ensamble físico del prototipo, consolidando los diferentes módulos —sensor de detección, unidad de procesamiento, sistema de alimentación y dispositivo receptor— en una configuración integrada y operativa. Este avance marcó una transición importante del proyecto, pasando de un montaje experimental en protoboard a un prototipo ensamblado y funcional, capaz de realizar las tareas de detección, comunicación y alerta de manera más estable y representativa del sistema final propuesto. Dando como resultado lo expuesto en las **Figuras 24 y 25**

Figura 24

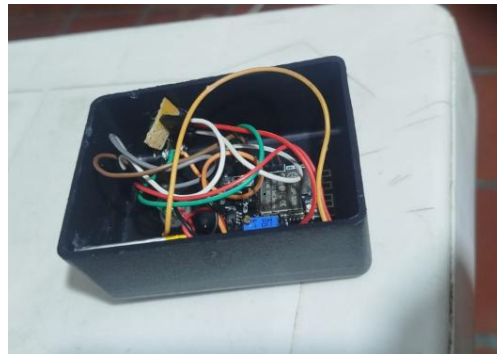
Prestación del Prototipo Emisor



Nota. dispositivo que se le instalara la Manilla la cual mostrara la imagen

Figura 25

Prestación del Prototipo Emisor



Nota. Prestación del Prototipo Emisor en él se Encuentra todo el Sistema el cual Recibirá la Foto y la Detección del Movimiento

Figura 26*prototipo listo*

Nota. prototipo listo

Con la integración completa de los componentes, la verificación de las conexiones internas y la confirmación del funcionamiento estable de cada uno de los subsistemas, el prototipo alcanzó un nivel de madurez suficiente para avanzar a la fase de validación. El ensamble final permitió obtener una estructura compacta, funcional y coherente con los requerimientos planteados en el diseño. De esta manera, el equipo de trabajo cerró satisfactoriamente la etapa de construcción física del sistema, dejando el prototipo plenamente operativo y listo para ser sometido a las pruebas experimentales que permitirán evaluar su desempeño en condiciones controladas y, posteriormente, en escenarios reales de aplicación

Pruebas de Funcionamiento

Se realizan pruebas de funcionamiento en diferentes áreas: una a nivel de taller, en una zona de alto ajetreo para evaluar su desempeño en condiciones exigentes, y otra en oficina para comprobar su funcionamiento y comportamiento en un entorno controlado.

Además, se recopilarán las opiniones de las personas que utilicen el dispositivo, las cuales serán analizadas posteriormente.

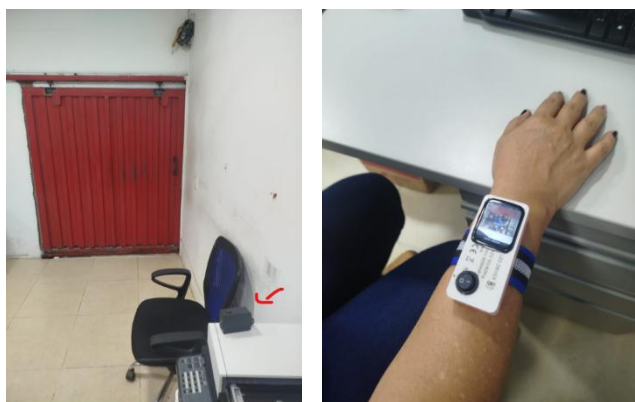
Primera prueba Oficina

Para el desarrollo de esta prueba se contó con la colaboración de la señora Mary, encargada de un almacén en la empresa Transivic S.A.S. El dispositivo se instaló orientado hacia un portón en el cual no se tiene visibilidad de las personas o actividades que ocurren detrás de la puerta.

Es importante destacar que, en la bodega, el hacinamiento debido a la gran cantidad de materiales genera pasillos estrechos y con muy poca visibilidad.

Figura 27

Instalación del SPAP-001



Nota. Instalación del SPAP-001 Para Pruebas en Oficina

Figura 28

Desarrollo de la Prueba



Nota. Desarrollo de la Prueba y Funcionamiento “Elaboración Propia (2025)”

Como se observa en la figura 27, el dispositivo detecta a la persona que está ingresando y envía una notificación a la señorita Mary, quien es alertada de que alguien intenta entrar al lugar, mostrándole además quién es. Esto confirma que el sistema funciona correctamente.

Opinión de la señorita Mary:

“Veo que el dispositivo es práctico, ya que no necesito estar revisando constantemente las pantallas de vigilancia para saber lo que ocurre en el almacén. Me gusta cómo funciona, aunque me gustaría que fuera más pequeño.”

Con esta opinión podemos notar que al dispositivo se le podrían aplicar mejoras en su diseño, especialmente en cuanto a su tamaño.

Segunda Prueba Taller

Para el desarrollo de esta prueba se decidió buscar un sitio más congestionado, donde los riesgos mecánicos fueran más considerables. En esta ocasión se contó con la colaboración del señor Daniel, auxiliar de mantenimiento en la empresa Transivic S.A.S.

El dispositivo se instaló nuevamente en un punto fijo, pero con la posibilidad de moverlo según los requerimientos del usuario. Según figura 28

Figura 29

Ubicación en Taller



Nota. Ubicación en Taller.

Como se observa en la **Figura 29** el dispositivo se mezcla con el entorno, lo cual tendría una opción como sistema de seguridad

Figura 30

Prueba con el Dispositivo en Taller



Nota. Prueba con el Dispositivo en Taller.

Opinión del Señor Daniel:

“Me gusta el dispositivo, aunque considero que cuando detecta muchas personas al mismo tiempo puede resultar un poco incómodo recibir tanta información de manera continua. También me gustaría que la imagen que muestra fuese un poco más grande para visualizar mejor lo que está ocurriendo.

Sin embargo, en general cumple con lo que se necesita, ya que no resulta incómodo de llevar y el hecho de que funcione sin conexión a internet lo hace bastante práctico para nuestro trabajo diario.”

Opinion del señor daniel : me gusta aunque siento que cuando pasa o detecta muchas personas se vuelve incomodo tanta informacion tambien me gustaria que la imagen fuera un poco mas grande pero en general cumple con lo que se necesita ya que no es incomodo de de llevar y el hecho de que funcione sin internet lo hace practico

Conclusion de las pruebas de campo

Según lo observado durante las pruebas de campo y considerando las opiniones de los colaboradores, se concluye que el dispositivo presenta un funcionamiento adecuado y cumple con su propósito de detectar proximidad y generar alertas oportunas. Los usuarios mostraron una buena aceptación del sistema, resaltando su practicidad y su capacidad de operar sin conexión a internet. No obstante, se identificaron aspectos que requieren mejoras para optimizar su desempeño en entornos laborales reales.

Desde el Enfoque Técnico, los Resultados Fueron los Siguietes:

Tiempo de Respuesta

El sistema registró un tiempo de respuesta aproximado de 30 segundos entre la detección del movimiento, la captura de la imagen y la notificación enviada al usuario. Aunque este tiempo es funcional para una primera versión del prototipo, se recomienda optimizar los procesos de captura y transmisión para mejorar la inmediatez de la alerta.

Alcance del Sensor

El sensor PIR demostró un alcance efectivo de entre 6 y 8 metros, variando según las condiciones del entorno, la temperatura, la presencia de objetos que obstruyen la línea de detección o interferencias propias del lugar. En espacios amplios se comportó de manera estable, mientras que en áreas con obstáculos se presentó una ligera reducción del rango. Esto sugiere la posibilidad de incorporar sensores adicionales o ajustes de calibración.

Estabilidad en la Conexión

Durante las primeras pruebas, el uso de ESP-NOW presentó inestabilidad en la comunicación. Tras migrar al modo Access Point en la ESP32-CAM, la conexión se volvió más estable y consistente. Aun así, se recomienda seguir optimizando el protocolo para garantizar un rendimiento uniforme en ambientes con múltiples señales inalámbricas o interferencias.

Gestión de Notificaciones

En escenarios con alto tránsito de personas, la cantidad de alertas resultó excesiva. Se recomienda integrar algoritmos de filtrado o agrupación de eventos que eviten la saturación del usuario y permitan priorizar detecciones relevantes.

Visualización de Imágenes

Los usuarios expresaron la necesidad de contar con imágenes de mayor tamaño o mejor resolución. Esto sugiere mejorar la interfaz gráfica del dispositivo receptor o utilizar una pantalla con mayor densidad de píxeles.

Ergonomía y Diseño Físico

Se identificó el interés por un dispositivo más compacto y cómodo. Se sugiere optimizar el diseño industrial, reducir el tamaño de los componentes o mejorar el sistema de sujeción.

Autonomía y Operación Offline

El funcionamiento sin conexión a internet fue uno de los puntos más valorados por los usuarios. Aun así, podría evaluarse un modo híbrido que permita sincronización opcional para registro histórico o análisis de datos.

Códigos de la Programación

Receptor SPAP-001

Este programa implementa un sistema de monitoreo de seguridad basado en un microcontrolador ESP32, que se comunica con una cámara ESP32-CAM a través de Wifi y muestra información en una pantalla LCD ST7789. El código está estructurado para ofrecer una interfaz gráfica moderna y clara, facilitando la visualización del estado del sistema y las alertas de movimiento.

El Sistema Realiza las Siguietes Funciones Principales:

Conexión Wifi: El ESP32 se conecta automáticamente a la red Wifi proporcionada por la cámara ESP32-CAM utilizando las credenciales configuradas en el código.

Interfaz gráfica: Utiliza la librería Arduino_GFX para mostrar paneles, iconos y mensajes en la pantalla LCD, adaptando los colores y estilos según el estado del sistema (conectado, alerta, error, etc.).

Consulta de movimiento: A intervalos regulares, el sistema consulta el estado del sensor PIR de la cámara mediante una petición HTTP, determinando si se ha detectado movimiento.

Alerta visual y vibración: Si se detecta movimiento y la cámara ha capturado una nueva foto, el sistema muestra una animación de alerta en la pantalla y activa un vibrador conectado al ESP32 para reforzar la notificación.

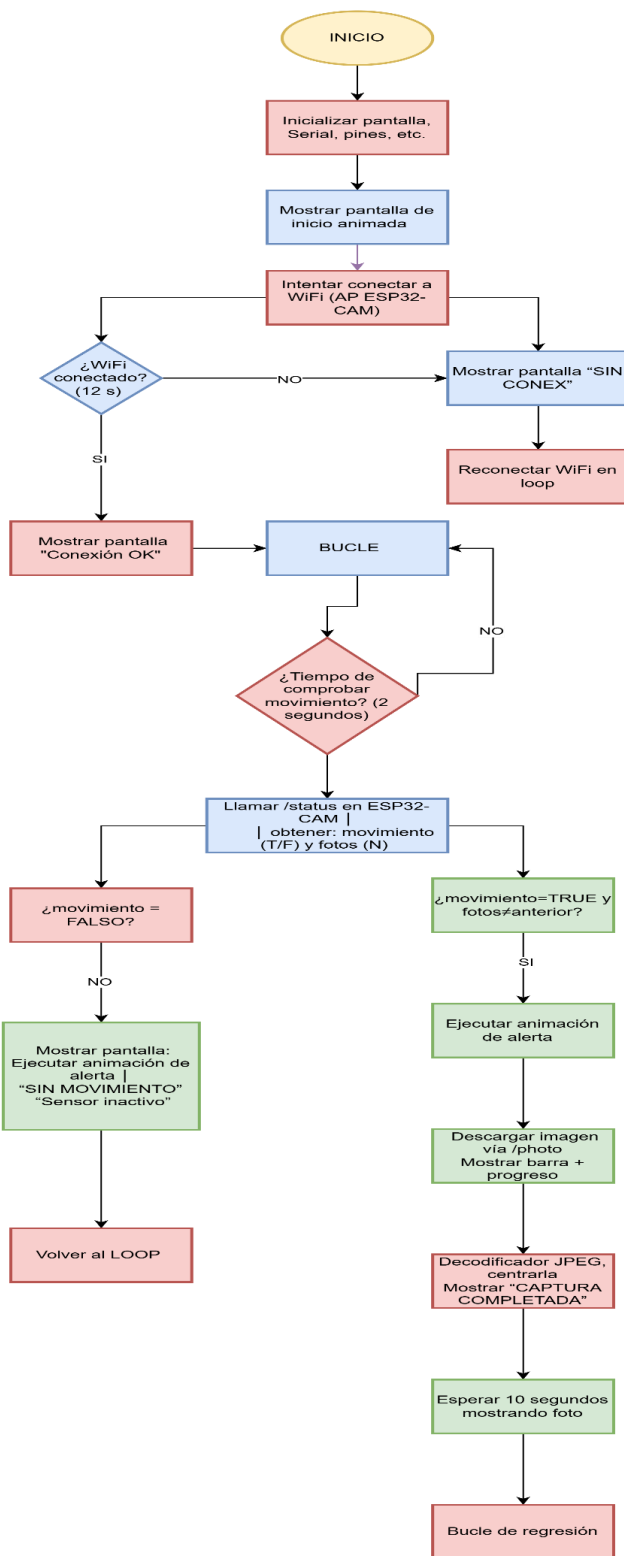
Descarga y visualización de imágenes: Cuando se detecta movimiento, el sistema descarga la última imagen capturada por la cámara y la muestra centrada en la pantalla LCD.

Pantallas de estado: Si no se detecta movimiento, se muestra una pantalla de espera indicando que el sistema está en reposo. Si no hay conexión Wifi, se muestra una pantalla de reconexión.

Manejo de errores: Ante cualquier error de comunicación o descarga, el sistema muestra mensajes de error claros en la pantalla para facilitar el diagnóstico.

Figura 31

Diagrama de Flujo



Nota: Diagrama de flujo que Demuestra el Funcionamiento del Código

El programa comienza incluyendo las librerías esenciales que permiten al sistema operar con la pantalla, la conexión Wifi y la cámara. Entre ellas destacan Arduino_GFX_Library para el manejo del display, Wifi y HTTPClient para la comunicación con la ESP32-CAM, JPEGDEC para decodificar imágenes JPEG y ArduinoJson para procesar las respuestas JSON del sensor PIR. Estas librerías son la base del sistema, tal como se aprecia en el inicio del código:

```
#include "Arduino_GFX_Library.h"

#include <WiFi.h>

#include <HTTPClient.h>

#include <JPEGDEC.h>

#include <ArduinoJson.h>

#include "Arduino_GFX_Library.h"
```

Luego se configura el display ST7789, definiendo la resolución y el bus SPI. Se crean objetos globales bus y gfx que permiten dibujar gráficos avanzados. La pantalla funciona como interfaz del sistema, mostrando alertas, estados de conexión e imágenes capturadas. Esto se observa en:

```
Arduino_DataBus *bus = new Arduino_ESP32SPI(LCD_DC, LCD_CS, LCD_SCK,
LCD_MOSI);

Arduino_GFX *gfx = new Arduino_ST7789(bus, LCD_RST, 0, true, LCD_WIDTH,
LCD_HEIGHT);
```

Para enriquecer la presentación visual, se define una paleta de colores personalizada que permite generar pantallas modernas y claras. El sistema incorpora múltiples funciones gráficas, como `dibujarPanelModerno()` o `mostrarTextoCentrado()`, usadas para construir las interfaces. Por ejemplo:

```
void dibujarPanelModerno(int x, int y, int ancho, int alto, uint16_t colorFondo, uint16_t
colorAcento, bool sombra) {
    gfx->fillRoundRect(x, y, ancho, alto, 12, colorFondo);
    gfx->drawRoundRect(x, y, ancho, alto, 12, colorAcento);
}
```

La comunicación con la cámara se realiza a través de dos endpoints: uno para obtener el estado del sensor PIR y otro para descargar la imagen. Para ello se implementa la función clave `checkMovimiento()`, que consulta `/status` y obtiene un JSON con el estado de movimiento y el contador de fotos. Este mecanismo evita mostrar imágenes repetidas y activas alertas sólo cuando hay actividad nueva:

```
MovimientoStatus checkMovimiento() {
    HTTPClient http;
    http.begin(camStatusURL);
    int httpCode = http.GET();
    String payload = http.getString();
    StaticJsonDocument<300> doc;
    deserializeJson(doc, payload);
}
```

```

status.movimiento = doc["movimiento"];

status.fotos = doc["fotos"];

return status;}

```

Cuando se detecta movimiento, el sistema ejecuta una animación moderna y luego descarga la imagen JPEG desde /photo. La función `fetchAndShowImage()` se encarga de descargar, almacenar en memoria y decodificar la imagen mediante JPEGDEC, incluyendo cálculo de escalado y centrado en pantalla. El fragmento principal es:

```

jpeg.openRAM(buf, idx, jpegDrawCallback);

jpeg.decode(0, 0, scale);

jpeg.close();

```

El callback `jpegDrawCallback()` dibuja cada pixel decodificado en la pantalla, permitiendo mostrar la fotografía capturada por la ESP32-CAM:

```

int jpegDrawCallback(JPEGDRAW *pDraw) {

    gfx->drawPixel(drawX, drawY, ((uint16_t*)pDraw->pPixels)[...]);

    return 1}

```

En el `setup()` se inicializa la pantalla, la comunicación WiFi y se muestra la animación de inicio. El dispositivo se conecta al punto de acceso creado por la ESP32-CAM y muestra el estado en pantalla:

```

WiFi.begin(ssid, password);

mostrarEstadoConexion(true, WiFi.RSSI());

```

Finalmente, el `loop()` controla todo el flujo del sistema. Cada dos segundos consulta el estado del sensor PIR. Si detecta movimiento nuevo, muestra una alerta y luego la foto; si no, muestra una pantalla de espera. Este es el núcleo del comportamiento del sistema:

```
if (status.movimiento && status.fotos != ultimoFotoCounter) {  
    efectoAlertaModerno();  
    fetchAndShowImage();  
} else {  
    mostrarPantallaEsperaSinMovimiento();  
}
```

Emisor SPAP-001

Este programa configura un ESP32-CAM como un sistema de vigilancia autónomo que detecta movimiento mediante un sensor PIR y ofrece una interfaz web para visualizar imágenes y el estado del sistema. El ESP32-CAM se inicializa como un punto de acceso Wifi, permitiendo que otros dispositivos se conecten directamente a él.

El sistema Realiza las Sigüientes Funciones Principales:

Inicialización de la cámara: El ESP32-CAM configura los pines y parámetros necesarios para capturar imágenes en formato JPEG con una resolución predeterminada.

Gestión del sensor PIR: El microcontrolador monitorea continuamente el estado del sensor PIR. Cuando detecta un nuevo movimiento y ha pasado un intervalo mínimo desde la última captura, toma una nueva fotografía.

Servidor web integrado: El ESP32-CAM ejecuta un servidor web que responde a varias rutas:

La ruta principal (/) muestra una página web con la última foto capturada, el estado actual del sensor PIR y el contador de fotos tomadas.

La ruta /photo permite descargar la última imagen capturada en formato JPEG.

Las rutas /status y /test entregan información del sistema en formato JSON, incluyendo el estado del sensor, el número de fotos tomadas, el tiempo de actividad y la memoria libre.

Control de memoria: El sistema gestiona eficientemente el uso de memoria liberando el buffer de la imagen anterior antes de capturar una nueva.

Notificación de movimiento: Cuando se detecta movimiento, el sistema actualiza el estado y lo refleja tanto en la interfaz web como en las respuestas JSON.

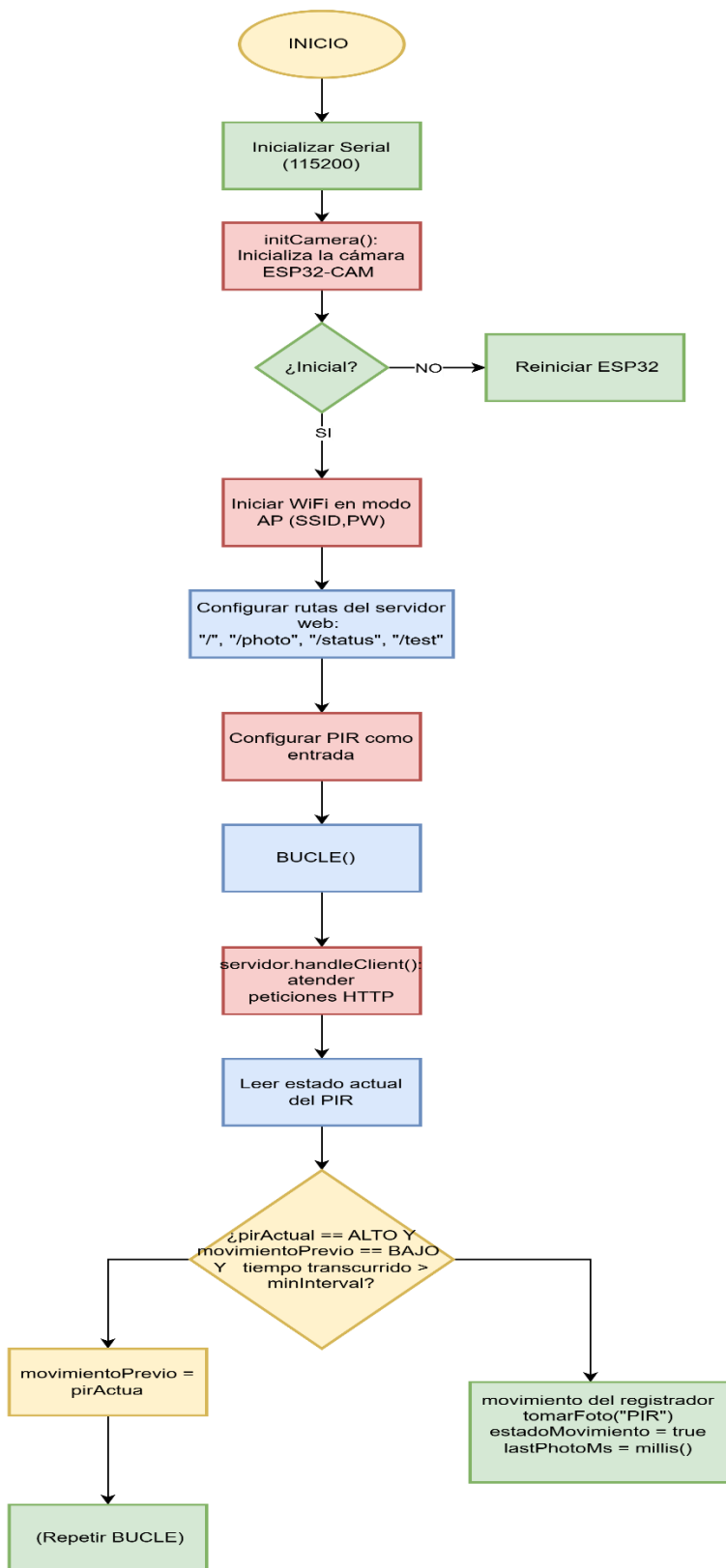


Figura 32 Diagrama que Explica el Funcionamiento del Código Emisor

```
if (!initCamera()) {  
    delay(5000);  
    esp_restart();}  
WiFi.softAP(ssid, password);  
server.begin();
```

La secuencia empieza preparando el hardware. Primero se inicializa la cámara OV2640; si algo falla, el ESP32 se reinicia para evitar quedarse bloqueado. Después, el dispositivo crea su propia red WiFi como punto de acceso, lo que permite conectarse sin router. Finalmente, se inicia el servidor web que responderá las peticiones del usuario. Esta etapa coloca al ESP32 listo para tomar fotos y servir las por la red.

```
server.on("/", handleRoot);  
server.on("/photo", handleImage);  
server.on("/status", handleStatus);
```

Una vez funcionando el WiFi, el servidor web adquiere sus rutas principales. Cada URL ejecuta una función diferente: la página principal, la imagen JPEG y el estado general del sistema. Esta parte define cómo interactuarán los usuarios con la cámara, permitiendo que cualquier navegador pueda cargar la foto o consultar si hubo movimiento. Aquí se construye la interfaz para acceder al funcionamiento interno.

```
server.handleClient();
```

Dentro del loop(), el ESP32 escucha constantemente si hay un navegador conectado solicitando la interfaz web o la foto. Gracias a esta instrucción, la cámara puede entregar la imagen almacenada en memoria cuando un usuario entra a /photo o mostrar la página principal desde /. Esta línea sirve como “puente” continuo entre el dispositivo y el usuario final.

```
bool pirActual = digitalRead(PIR_PIN);

if (pirActual && !movimientoPrevio && millis() - lastPhotoMs > minIntervalMs) {

    tomarFoto("PIR");

    estadoMovimiento = true;

    lastPhotoMs = millis();}
```

Mientras atiende usuarios, el sistema revisa constantemente el sensor PIR. Detecta un “nuevo” movimiento comparando el estado actual con el previo y verificando que haya pasado un intervalo mínimo. Si se cumplen todas las condiciones, el ESP32 toma una nueva fotografía y actualiza el estado de movimiento. Este paso es el corazón del flujo del programa: cuando alguien pasa frente al sensor, se dispara la foto que luego estará disponible en la web.

```
server.send_P(200, "image/jpeg", (const char*)currentFb->buf, currentFb->len);
```

Cuando el usuario accede a /photo, esta parte envía la imagen almacenada en currentFb. La foto que fue tomada por el PIR (o manualmente) se transmite directamente en formato JPEG. Después de enviarla, el sistema marca que ya no hay movimiento pendiente. Este cierre de secuencia completa el ciclo: detectar → capturar → almacenar → entregar.

Conclusiones

El desarrollo del Sistema Personal de Alerta de Proximidad (SPAP) permitió comprobar que la integración de sensores PIR, microcontroladores ESP32 y comunicación inalámbrica mediante protocolo Wifi constituye una solución efectiva para la prevención de accidentes laborales en entornos industriales con riesgo de colisiones o interferencias visuales.

El sistema demostró un funcionamiento estable y confiable durante las pruebas experimentales, detectando el movimiento de personas u objetos cercanos y generando alertas inmediatas en la manilla inteligente a través de retroalimentación háptica y visual, lo cual mejora la conciencia situacional del trabajador.

La comunicación entre el módulo ESP32-CAM (emisor) y la manilla ESP32-S3 (receptor), configurados en modo Access Point, garantizó una transmisión inalámbrica eficiente sin depender de redes externas, aumentando la autonomía y flexibilidad del sistema en espacios de trabajo con baja conectividad.

Desde el punto de vista económico y social, el SPAP ofrece una alternativa de bajo costo y fácil implementación para pequeñas y medianas empresas, contribuyendo a reducir costos por accidentes laborales, tiempos de inactividad y pérdidas materiales, al tiempo que mejora las condiciones de seguridad y bienestar del personal operativo.

El proyecto evidencia que la tecnología IoT aplicada a la seguridad industrial puede representar un avance significativo en la protección del recurso humano, promoviendo entornos laborales más seguros y eficientes. Como trabajo futuro, se recomienda incorporar algoritmos de inteligencia artificial para reconocimiento de patrones de riesgo y optimizar la gestión energética del dispositivo portátil.

Referencias Bibliográficas

Ali, N., Jaafar, A., & Mohamad, N. (2025). ESP32-based IoT framework for fall detection and caregiver notification. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*.

<https://rsisinternational.org/journals/ijriss/articles/esp32-based-iot-framework-for-fall-detection-and-caregiver-notification/>

Arduino. (2024). *Arduino documentation*.

<https://docs.arduino.cc/>

Arduino. (2024). *ESP32-CAM web server examples*. <https://www.arduino.cc>

Chen, Z., Wang, L., Zhang, H., & Liu, Y. (2025). Enhanced PEC-YOLO for detecting improper safety gear wearing in industrial environments. *arXiv*.

<https://arxiv.org/abs/2501.13981>

Dynamo Electronics. (2025). *Módulo cargador TP4056 para baterías de litio – Manual técnico*.

<https://www.dynamoelectronics.com/tienda/modulo-cargador-bateria-litio-con-proteccion-tp4056>

Eiffert, S., Kong, L., Zhu, S., & Sukthankar, R. (2021). Toolbox Spotter: A computer vision system for real-world situational awareness in heavy industries. *arXiv*.

<https://arxiv.org/abs/2105.10842>

Espressif Systems. (2024). *ESP32 series datasheet and technical reference manual*.

<https://www.espressif.com>

Espressif Systems. (2024). *ESP32 technical reference manual*.

<https://www.espressif.com/en/support/documents/technical-documents>

Espressif Systems. (2024). *ESP32-CAM datasheet*.

<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>

Ferretrónica. (2025). *Batería recargable de polímero de litio 3.7V – Catálogo técnico*.

<https://www.ferretronica.com/products/bateria-recargable-en-polimero-de-litio-3-7v-1000ma>

Fraga-Lamas, P., Fernández-Caramés, T. M., Blanco-Novoa, Ó., & Vilar-Montesinos, M.

(2022). Mist and edge computing cyber-physical human-centered systems for Industry 5.0: A cost-effective IoT solution. *arXiv*.

<https://arxiv.org/abs/2212.06294>

González, J., & López, A. (2023). Aplicaciones del Internet de las cosas para la seguridad industrial. *Revista Electrónica de Ingeniería*, 12(3), 45–59.

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660.

<https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>

Hasib, A., Akib, A., Das, N., & Giri, A. (2026). Dual-modality IoT framework for integrated access control and environmental safety monitoring. *arXiv*.

<https://arxiv.org/abs/2601.20366>

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use*.

<https://www.iso.org/standard/63787.html>

ISO. (2018). *ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use*. International Organization for Standardization.

- Kim, Y., & Choi, Y. (2022). Smart helmet-based proximity warning system to improve occupational safety on the road using image sensor and artificial intelligence. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 16312. <https://doi.org/10.3390/ijerph192316312>
- Kumar, R., Singh, P., & Mehta, S. (2022). IoT-based worker safety system for mining applications. *IEEE Access*, 10(4), 2564–2571.
- Lee, H., & Park, J. (2024). Smart wearable alert system for industrial safety using PIR sensors and WiFi communication. *Sensors and Systems Journal*, 14(2), 97–108.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Naylamp Mechatronics. (2025). *Módulo ESP32-CAM con cámara OV2640 – Ficha técnica*. <https://naylampmechatronics.com>
- Rajkumar, M., Kumar, A., & Subiya, V. (2025). IoT-based worker safety system with real-time health monitoring and emergency rescue using RSSI. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2025.71112>
- Supriyanto, H., Rokhim, I., & Eliezer, V. (2024). Smart helmet for monitoring construction workers using IoT-based ESP32 and LoRa. *Indonesian Journal of Computer Science*, 13(4). <https://doi.org/10.33022/ijcs.v13i4.4162>
- Uddin, R., Hwang, T., & Koo, I. (2024). Worker presence monitoring in complex workplaces using BLE beacon-assisted multi-hop IoT networks powered by ESP-NOW. *Electronics*,

13(21), 4201.

<https://doi.org/10.3390/electronics13214201>