



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Apizaco

“Desarrollo de un Sistema IoT para Alarma de Emergencia”

Ingeniería mecatrónica:

Presenta: Timothy Russell Bednaz Conde

No. Control: 20370734

Correos electrónicos:

l20370734@apizaco.tecnm.mx

Asesor interno:

Dr. Vicente Flores Lara

Asesor externo:

Ing. Luis Alejandro Diaz Rodríguez

Institución: Centro de Bachillerato Tecnológico

Industrial y de Servicios No. 61

Febrero 2025-Julio 2025



Tzompantepec, Tlaxcala, 28/agosto/2025

Oficio No. MM-491/2025

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación Integral.

ISRAEL JORGE SÁNCHEZ SÁNCHEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para Titulación integral:

Alumno (a):	TIMOTHY RUSSELL BEDNAZ CONDE
Carrera:	INGENIERÍA MECATRÓNICA
No. De Control:	20370734
Nombre del Proyecto:	"DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT PARA ALARMAS DE EMERGENCIA".
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

JORGE AGUILAR VÁZQUEZ
JEFE DEL DEPTO. DE METAL-MECÁNICA
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
**DEPARTAMENTO DE
METAL MECÁNICA**

VICENTE FLORES LARA
ASESOR

c.p.- Archivo.
JAV*petry.



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel.
[241] 4172010 Ext. 124, e-mail: mecanica@apizaco.tecnm.mx
tecnm.mx | apizaco.tecnm.mx





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, 17/septiembre/2025

TIMOTHY RUSSELL BEDNAZ CONDE
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
CON NÚMERO DE CONTROL 20370734.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT PARA ALARMA DE EMERGENCIA**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **2 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

CECILIA YARELY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



ccp. Archivo
CYAL/Gsc*



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241) 4172010
Ext. 304, e-mail: dep_titulacion@apizaco.tecnm.mx | apizaco.tecnm.mx



Agradecimientos

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que, de una u otra forma, han sido parte fundamental en esta etapa de mi formación académica y personal.

En primer lugar, agradezco con todo mi corazón a mis padres, María Isabel Conde Vega y Timothy Bedbaz, por ser mi base, mi guía y mi mayor motivación. Su amor incondicional, apoyo constante y ejemplo de vida me han impulsado a superarme cada día.

Agradezco también a la universidad, por brindarme los conocimientos, las herramientas y las experiencias que han enriquecido mi formación profesional.

Un reconocimiento especial al personal del CBTis No 61 donde realicé mis prácticas profesionales. Su disposición, acompañamiento y enseñanzas han sido clave para aplicar lo aprendido en un entorno real y seguir creciendo en mi carrera.

A mis amigos y amigas, gracias por su compañía, risas, consejos y apoyo incondicional. Han sido un pilar emocional y una fuente de inspiración invaluable a lo largo de este camino.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, con un gesto, una palabra o una enseñanza, han dejado huella en esta etapa. Cada experiencia compartida ha contribuido a que hoy pueda cerrar este ciclo con orgullo y gratitud.

Resumen

El presente proyecto tiene como finalidad el diseño e implementación de un sistema IoT para alarma de emergencia, aplicado a instituciones educativas como herramienta de respuesta ante eventos críticos. El sistema fue concebido con el propósito de ofrecer una solución de bajo costo, confiable y eficiente que permita alertar a los responsables del plantel cuando se detecten situaciones como incendios, simulacros o amenazas internas.

El proyecto se basa en la utilización del microcontrolador ESP32 como unidad de procesamiento central, el cual se encarga de recibir las señales de un sensor de activación manual (botón de pánico o sensor de emergencia) y ejecutar dos acciones simultáneas: enviar una alerta a través del protocolo de comunicación LoRa y registrar el evento en una memoria microSD. LoRa (Long Range) fue elegido por su capacidad de transmitir datos a largas distancias sin depender de infraestructura celular o de internet, ideal para zonas escolares donde la conectividad puede ser limitada.

Durante el desarrollo del proyecto se realizaron diversas etapas: investigación técnica, pruebas de componentes críticos, integración del hardware y software, diseño de la tarjeta de circuito impreso (PCB), ensamblado final y validación en campo. El sistema fue sometido a pruebas de alcance con LoRa, obteniendo una cobertura efectiva de hasta 800 metros con línea de vista, además de pruebas de almacenamiento persistente en memoria externa. Se diseñó una carcasa protectora y se documentó el procedimiento para su uso e instalación.

El resultado es un sistema operativo, funcional y de fácil mantenimiento, adaptable a distintas configuraciones escolares. La experiencia adquirida durante el desarrollo fortaleció competencias en electrónica, programación embebida, diseño de PCB y comunicación inalámbrica. Se concluye que el sistema puede ser replicado y mejorado en futuras versiones para incluir más nodos, sensores o integración con plataformas en la nube.

Indice

Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	1
Resumen	5
INDICE.....	6
Capitulo 1 Generalidades del proyecto.....	8
1.1 INTRODUCCIÓN.....	8
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	9
1.2.1 Historial:	9
1.2.2 Dirección:	10
1.2.3 Misión:.....	11
1.2.4 Visión:	11
1.3 PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN.....	11
1.3.1 Problemática	11
1.3.2 Objetivo del proyecto	12
1.3.3 <i>Objetivos específicos</i>	12
1.3.4 Nombre del proyecto	13
1.4 Delimitación	13
1.5 Justificación	13
1.6 Capítulo 2 MARCO TEÓRICO	14
1.6 .1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	14
1.6.2 <i>Internet de las Cosas (IoT)</i>	14
1.6.3 Microcontrolador ESP32	16
1.6.4 Principales Lenguajes de Programación para ESP32	20
1.6.5 Comunicación LoRa.....	21
1.6.6 <i>Sistemas de almacenamiento externo (microSD)</i>	29
1.6.7 PCB (Placa de Circuito Impreso)	32
1.6.8 Normativas aplicables.....	40
1.7 CAPITULO 3 DESARROLLO DEL PROYECTO	42
1.7.1 Planeación inicial.....	42

1.7.2 Selección de componentes.....	45
1.7.3 Desarrollo del circuito y conexiones	49
1.7.4 Desarrollo del software.....	52
1.7.5 Diseño e implementación de la PCB	56
1.7.6 Diseño e impresión de la carcasa 3D.....	60
1.7.7 Pruebas y validación en campo	63
1.8 DTI (Esquemático del circuito Esp32-Lora IOT).....	66
1.9 Capítulo 4: Resultados.....	66
1.9.1 Actividad: Documentación de resultados	66
1.9.2 Validación técnica	67
1.9.3 Documentación del sistema	68
1.9.4 Alineación con los objetivos del proyecto.....	68
1.10 Capítulo 5: Conclusiones, recomendaciones y experiencia profesional adquirida	69
1.10.1 Conclusiones.....	69
1.10.2 Recomendaciones	70
1.10.3 Experiencia profesional adquirida	70
1.11 Referencias bibliográficas	71

Capítulo 1 Generalidades del proyecto

1.1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la seguridad en instituciones educativas ha cobrado una gran relevancia, no solo por motivos preventivos ante incidentes, sino también por la necesidad de responder de forma rápida y efectiva ante emergencias. Muchos planteles aún dependen de sistemas básicos, como alarmas manuales o cadenas de comunicación humana, los cuales pueden fallar o demorarse en momentos críticos. Esta problemática motivó el desarrollo del presente proyecto, cuyo propósito principal es diseñar e implementar un sistema de alarma de emergencia utilizando tecnologías modernas, accesibles y confiables.

El sistema propuesto se basa en la integración de tecnologías del Internet de las Cosas (IoT), específicamente empleando un microcontrolador ESP32, módulos de comunicación LoRa (Long Range) y almacenamiento en tarjeta microSD. LoRa permite una comunicación inalámbrica de largo alcance y bajo consumo energético, lo que representa una ventaja significativa en espacios donde no se cuenta con conexión Wi-Fi o infraestructura de red estable. La elección de este protocolo de comunicación responde al contexto del CBTIS 61, donde se requiere una solución autónoma y adaptable al entorno.

El sistema funciona de forma sencilla pero eficiente: un sensor de emergencia puede ser activado manualmente por un usuario (por ejemplo, un docente o alumno). Al ser activado, el microcontrolador ejecuta un protocolo que incluye enviar un mensaje de alerta por medio de LoRa hacia un nodo receptor (como una oficina administrativa o un módulo de monitoreo), al mismo tiempo que guarda un registro del evento en una memoria microSD. Este registro incluye fecha, hora y detalles del suceso, lo cual permite llevar un control interno de cada incidente ocurrido.

Durante el desarrollo de la residencia profesional, se llevaron a cabo diferentes fases: selección de componentes, pruebas individuales, integración en protoboard, desarrollo del software, diseño de la PCB, ensamblado en carcasa y validación del funcionamiento del sistema en condiciones reales. También se documentaron las actividades realizadas, se elaboró un manual de usuario, y se planteó una propuesta de mejora continua del sistema para futuras versiones.

Este proyecto no solo busca ofrecer una solución práctica a un problema real, sino también fomentar el uso de la tecnología como herramienta para mejorar la seguridad institucional. El sistema es escalable, replicable y puede ser adaptado a distintos entornos, no sólo educativos, sino también industriales o comerciales. Además, la experiencia adquirida permitió reforzar habilidades en electrónica, programación embebida, diseño de hardware y documentación técnica, cumpliendo así con los objetivos formativos y profesionales de la residencia.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

El Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 61 (CBTIS 61) es una institución educativa pública ubicada en Huamantla, Tlaxcala. Forma parte del subsistema de la Dirección General de Educación Tecnológica Industrial (DGETI), perteneciente a la Secretaría de Educación Pública (SEP) en México.

1.2.1 Historial:

El **CBTis No. 61**, ubicado en **Huamantla, Tlaxcala**, fue fundado en el año **1974** con la finalidad de formar **Técnicos Bachilleres altamente capacitados** en áreas tecnológicas, científicas y administrativas. Desde su creación, ha evolucionado constantemente en términos de **infraestructura, matrícula, calidad docente y vinculación con el entorno social y productivo**, consolidándose como una institución clave en la educación media superior de la región.

La institución cuenta con **talleres equipados, laboratorios especializados y espacios académicos adecuados** que permiten brindar una formación integral, tanto teórica como práctica. Además, el CBTis 61 ha destacado por su participación en **ferias de innovación, concursos académicos, encuentros tecnológicos** y proyectos de **residencia y vinculación con el sector productivo**.

Las especialidades técnicas que actualmente se imparten en el plantel incluyen:

- Administración De Recursos Humanos
- Electrónica
- Logística
- Mantenimiento Automotriz
- Programación
- Puericultura

- Transformación De Plásticos

Estas carreras otorgan a los egresados el título de **Técnico Bachiller**, capacitándolos para **incorporarse al mundo laboral o continuar con estudios de nivel superior** en áreas relacionadas.

Durante el desarrollo de este proyecto de residencia profesional, el CBTis No. 61 proporcionó el **espacio físico, recursos materiales y apoyo académico**, bajo la supervisión del **asesor interno Dr. Vicente Flores Lara**. Las actividades se llevaron a cabo principalmente en el área de **Mecatrónica**, en donde se contó con el respaldo del personal docente y técnico del plantel.

1.2.2 Dirección:

El CBTis No. 61 se encuentra ubicado en:

Dirección:

Camino Real Huamantla - Xicohtécatl S/N, Col. Centro, C.P. 90500, Huamantla, Tlaxcala, México.

Este plantel cuenta con áreas de talleres, laboratorios, aulas, espacios deportivos, centro de cómputo, invernaderos y zonas de prácticas para las distintas especialidades técnicas que ofrece.

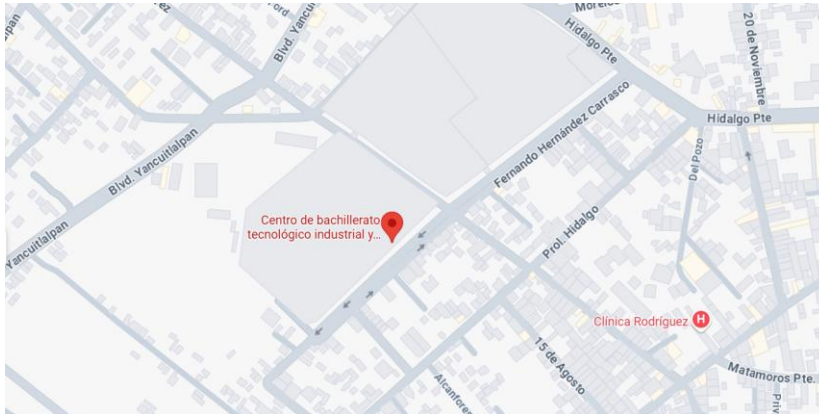


Ilustración 1 Ubicación fotográfica tomada desde Google maps

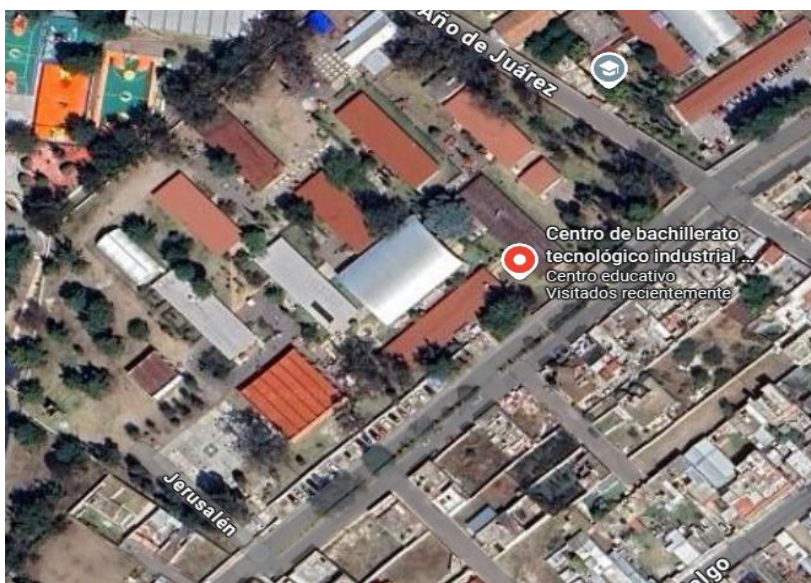


Ilustración 2 Ubicación fotográfica tomada desde Google maps via satelital

1.2.3 Misión:

Brindar una educación tecnológica integral de calidad en el nivel medio superior, basada en el desarrollo de competencias académicas, técnicas y valores humanos, que permita a los estudiantes incorporarse al sector productivo o continuar con estudios superiores.

1.2.4 Visión:

Ser una institución educativa reconocida por su excelencia académica, innovación tecnológica y formación ética, que forme egresados competitivos, comprometidos con su entorno y preparados para enfrentar los retos del mundo actual.

1.3 PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

1.3.1 Problemática

En muchas instituciones educativas del país, especialmente en zonas con recursos limitados, los sistemas de seguridad ante emergencias son insuficientes o dependen completamente de intervención humana. Las alertas suelen emitirse de forma verbal o con mecanismos poco confiables, lo cual incrementa el riesgo en situaciones críticas como incendios, amenazas externas o accidentes.

Además, en muchos casos no existe un sistema que registre los eventos ocurridos, lo que impide el análisis posterior y la mejora de los protocolos internos. Esta situación puede comprometer tanto la seguridad del personal y los estudiantes, como la capacidad de respuesta de la institución ante futuras emergencias.

La carencia de infraestructura tecnológica (Wi-Fi, redes de datos) en algunos planteles también representa un obstáculo para implementar soluciones modernas basadas en la nube o internet. Por ello, se requiere un sistema de alerta autónomo, funcional, económico y de fácil instalación, que no dependa de infraestructura externa y sea capaz de transmitir alertas y registrar eventos de manera confiable.

1.3.2 Objetivo del proyecto

Diseñar e implementar un sistema basado en tecnología IoT para la detección y transmisión de alertas de emergencia, utilizando sensores conectados a un microcontrolador ESP32, comunicación LoRa para el envío de mensajes a larga distancia y almacenamiento local en una tarjeta microSD, con el fin de facilitar una respuesta rápida y contar con evidencia documental de los eventos.

1.3.3 Objetivos específicos

1. Seleccionar e integrar los componentes electrónicos necesarios para el sistema: ESP32, sensor de emergencia, módulo LoRa, memoria microSD y fuente de alimentación.
2. Desarrollar el software embebido en el entorno de programación Arduino IDE para el control del sistema.
3. Realizar pruebas de funcionamiento individual de cada componente y pruebas integradas en campo dentro del CBTIS No. 61.
4. Diseñar una tarjeta PCB que integre los módulos electrónicos y permita un ensamblado más profesional y duradero.
5. Validar la comunicación LoRa en condiciones reales, comprobando el alcance y estabilidad del sistema.
6. Documentar el uso, funcionamiento y mantenimiento del sistema en un manual dirigido a usuarios técnicos y no técnicos.

1.3.4 Nombre del proyecto

Desarrollo de un Sistema IoT para Alarma de Emergencia

1.4 Delimitación

- **Lugar de desarrollo:** El proyecto se desarrolló en el área de Mecatrónica del CBTIS No. 61, ubicado en Huamantla, Tlaxcala.
- **Tipo de emergencia contemplada:** Activación manual mediante un botón o sensor que permita emitir una alerta inmediata.
- **Medio de comunicación:** Se utiliza tecnología LoRa por su alcance de hasta 800 metros en campo abierto y su bajo consumo energético, sin requerir infraestructura de internet.
- **Almacenamiento:** Los eventos son registrados en una tarjeta microSD. En una segunda etapa, se contempla la posibilidad de sincronización con una base de datos en la nube.
- **Aplicación:** Aunque se probó dentro del CBTIS 61, el sistema está diseñado para ser replicado en otras instituciones educativas, espacios rurales o sitios con infraestructura limitada.

1.5 Justificación

La seguridad escolar es un aspecto fundamental en el funcionamiento de cualquier institución educativa, ya que de ella depende la integridad física y emocional de estudiantes, docentes y personal administrativo. Sin embargo, muchas escuelas, particularmente en contextos públicos o rurales, carecen de sistemas modernos y eficientes para emitir alertas en caso de emergencia. En estos lugares, los procedimientos suelen depender de métodos tradicionales como avisos verbales, timbres manuales o la intervención directa del personal, lo que representa un riesgo ante situaciones donde cada segundo cuenta.

En este sentido, el desarrollo de un sistema de alarma de emergencia basado en tecnología IoT representa una solución viable, escalable y de bajo costo para cubrir esta necesidad. A diferencia de los sistemas convencionales que requieren infraestructura de red (Wi-Fi, datos móviles o cableado estructurado), el sistema propuesto utiliza tecnología **LoRa**, que permite la comunicación de largo alcance sin depender de

conexión a internet. Esto lo convierte en una herramienta ideal para instituciones con recursos limitados o ubicadas en zonas con poca cobertura.

Adicionalmente, el sistema incorpora un módulo de almacenamiento en **memoria microSD**, lo que permite generar un respaldo físico de los eventos de emergencia activados. Esto no solo facilita el seguimiento y análisis posterior, sino que también aporta evidencia objetiva para la mejora de protocolos de seguridad interna.

El uso de un **ESP32** como microcontrolador central garantiza una plataforma flexible, de bajo consumo y compatible con múltiples sensores y módulos de expansión, permitiendo futuras mejoras como integración con aplicaciones móviles, sincronización en la nube o expansión a múltiples nodos de alerta distribuidos en un mismo plantel.

Desde el punto de vista académico, el proyecto fortalece el aprendizaje práctico en áreas clave como la electrónica, programación embebida, comunicación inalámbrica y diseño de sistemas. A nivel institucional, representa un paso hacia la modernización de los sistemas de seguridad, fomentando una cultura de prevención y respuesta oportuna.

Finalmente, este proyecto responde a un compromiso social: ofrecer soluciones tecnológicas reales a problemas que enfrentan cotidianamente las escuelas mexicanas, utilizando recursos accesibles, conocimientos adquiridos en la carrera y el acompañamiento de asesores que impulsan la innovación con impacto positivo.

1.6 Capítulo 2 MARCO TEÓRICO

1.6 .1FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.6.2 Internet de las Cosas (IoT)

¿Qué es el IoT?

El Internet de las cosas (IoT por sus siglas en Inglés) se refiere a una red de dispositivos físicos, vehículos y otros objetos físicos que están integrados con sensores, software y conectividad de red integrados, lo que les permite recopilar y compartir datos.

Los dispositivos IoT, también conocidos como "objetos inteligentes", pueden variar desde simples dispositivos domésticos inteligentes., como termostatos inteligentes, hasta dispositivos portátiles, como relojes inteligentes y ropa con RFID, hasta complejas maquinaria industrial y sistemas de transporte. Los tecnólogos incluso están imaginando “ciudades inteligentes” enteras basadas en tecnologías IoT.

El IoT permite que estos dispositivos inteligentes se comuniquen entre sí y con otros dispositivos habilitados para Internet. Al igual que los teléfonos inteligentes y las puertas de enlace, se crea una amplia red de dispositivos interconectados que pueden intercambiar datos y realizar diversas tareas de forma autónoma. Esto puede incluir:

- Control de las condiciones medioambientales en las explotaciones
- Gestión de patrones de tráfico con coches inteligentes y otros dispositivos automotrices inteligentes
- Control de máquinas y procesos en fábricas
- Seguimiento de las existencias y los envíos en los almacenes

Las aplicaciones potenciales de IoT son vastas y variadas, y su impacto ya se está sintiendo en una amplia gama de industrias, incluyendo la manufactura, el transporte, la atención médica y la agricultura. A medida que el número de dispositivos conectados a Internet sigue creciendo, es probable que el IoT desempeñe un papel cada vez más importante en la configuración de nuestro mundo. Transformar la forma en que vivimos, trabajamos e interactuamos entre nosotros.

En un contexto empresarial, los dispositivos IoT se utilizan para supervisar una amplia gama de parámetros como temperatura, humedad, calidad del aire, consumo de energía y rendimiento de la máquina. Estos datos se pueden analizar en tiempo real para identificar patrones, tendencias y anomalías que pueden ayudar a las empresas a optimizar sus operaciones y mejorar sus resultados.

¿Por qué es importante el IoT?

El IoT es importante para los negocios por varias razones. Estos son los principales beneficios del IoT:

- Mayor eficiencia
- Toma de decisiones basada en datos
- Ahorro de costos
- Mejorar la experiencia del cliente
- Mayor eficiencia

Mediante el uso de dispositivos IoT para automatizar y optimizar procesos, las empresas pueden mejorar la eficiencia y la productividad. Por ejemplo, los sensores de IoT se pueden utilizar para supervisar el rendimiento del equipo e incluso detectar o resolver

posibles problemas antes de causar tiempo de inactividad, reducir los costos de mantenimiento y mejorar el tiempo de actividad.

Toma de decisiones basada en datos

Los dispositivos IoT generan grandes cantidades de datos que se pueden utilizar para tomar decisiones comerciales mejor informadas y nuevos modelos de negocio. Al analizar estos datos, las empresas pueden obtener información sobre el comportamiento del cliente, las tendencias del mercado y el rendimiento operativo, lo que les permite tomar decisiones más informadas sobre la estrategia, el desarrollo de productos y la asignación de recursos.

Ahorro de costos

Al reducir los procesos manuales y automatizar las tareas repetitivas, IoT puede ayudar a las empresas a reducir costos y mejorar la rentabilidad. Por ejemplo, los dispositivos IoT se pueden utilizar para supervisar el uso de energía y optimizar el consumo, reduciendo los costos de energía y mejorando la sustentabilidad.

Mejorar la experiencia del cliente

Mediante el uso de la tecnología de IoT para recopilar datos sobre el comportamiento del cliente, las empresas pueden crear experiencias más personalizadas y atractivas para sus clientes. Por ejemplo, los minoristas pueden usar sensores de IoT para rastrear los movimientos de los clientes en las tiendas y ofrecer ofertas personalizadas basadas en su comportamiento.

1.6.3 Microcontrolador ESP32

El **ESP32** es un microcontrolador creado por Espressif Systems. Este dispositivo es el sucesor del **ESP8266**. Tiene WiFi y Bluetooth y funciona con bajo consumo. Esto lo hace perfecto para proyectos que usan baterías. Además, es más rápido que un Arduino. Tiene pines sensibles al tacto y un sensor de efecto Hall.

Los kits de aprendizaje **ESP32** ofrecen una oportunidad para practicar con este dispositivo. Vienen con varios sensores y módulos. Estas herramientas ayudan mucho en la educación STEM. Motivan la imaginación y enseñan a resolver problemas. Así, preparan a los niños para un futuro lleno de tecnología.

Conclusiones Clave

- El **ESP32** es un microcontrolador potente con capacidades WiFi y Bluetooth integradas.
- Ofrece un funcionamiento de bajo consumo, ideal para proyectos de **IoT**.
- Incorpora funciones avanzadas como pines sensibles al tacto y un sensor de efecto Hall.
- Los kits de aprendizaje **ESP32** son herramientas importantes en la educación STEM.
- Favorece la imaginación y la resolución de problemas en los niños, preparándolos para un futuro tecnológico.

¿Qué es el ESP32?

El **ESP32** es un chip creado por Espressif Systems. Se usa para conectar dispositivos a internet sin cables. Es potente y perfecto para todos, ya sean expertos o principiantes.

Historia y evolución

Antes del **ESP32**, estaba el ESP8266, muy famoso en el mundo de los microcontroladores para **IoT**. El **ESP32** llegó después, mejorando muchas cosas. Por ejemplo, tiene dos núcleos en vez de uno y mejores formas de comunicarse.

Atributos y características principales

Lo mejor del *ESP32* es que usa muy poca energía. Se pueden usar varios lenguajes de programación con él. Viene con funciones especiales como pines que responden al toque y sensores ya integrados.

Comparativa con otros microcontroladores

Cuando comparamos el ESP8266 con el ESP32, vemos que el ESP32 es superior. Ofrece más potencia y mejor comunicación, gastando menos energía. Esto hace que sea la mejor opción para proyectos más complejos.

Características Técnicas del ESP32

El ESP32 destaca en el mundo de **IoT** como un microcontrolador poderoso y flexible. Por eso, se usa tan a menudo en proyectos innovadores. Aquí, exploraremos sus capacidades, conectividad y eficiencia energética.

Aplicaciones Comunes del ESP32 en Proyectos IoT

El ESP32 es clave para muchísimas aplicaciones IoT. Destaca por su conexión inalámbrica y ahorro de energía. Se usa en proyectos que sacan partido de su tecnología avanzada.

Sistemas de Monitoreo Remoto

Para el monitoreo remoto, el ESP32 es una opción de bajo costo muy efectiva. Se conecta por Wi-Fi y Bluetooth, permitiendo enviar datos en tiempo real desde lejos. Esto es vital en monitoreo IoT, donde se necesita precisión y menor consumo energético, como en monitoreo ambiental y control de equipos industriales.

Automatización del Hogar

El ESP32 renueva la automatización del hogar. Sirve para manejar desde termostatos hasta sistemas de seguridad via apps móviles. Aporta comodidad, ahorro energético y seguridad a nuestros hogares.

Proyectos de Domótica

La programación flexible del ESP32 es ideal para la domótica. Permite a aficionados y profesionales crear soluciones a medida. Estos sistemas aprovechan la capacidad del ESP32 para realizar tareas complejas y comunicarse con otros aparatos IoT, mejorando el control y la eficiencia en casa.

Las aplicaciones del ESP32 en IoT son variadas y siguen aumentando. Cubren desde proyectos sencillos hasta sistemas avanzados que mejoran la vida diaria y los negocios.

Especificaciones de hardware:

El *hardware ESP32* lleva un poderoso *microprocesador de 32 bits Xtensa® LX6*. Este varía hasta los 600 DMIPS, acompañado de otros coprocesadores para mejorar su rendimiento. Entre sus características sobresalientes, podemos encontrar:

1. Procesador dual-core que alcanza 240 MHz.
2. 32 GPIOs versátiles, con soporte para ADC, DAC y acciones táctiles.
3. Varias opciones de comunicación como SPI, I2C, UART.
4. Dispone de 520 KB SRAM y 4 MB de flash externa.

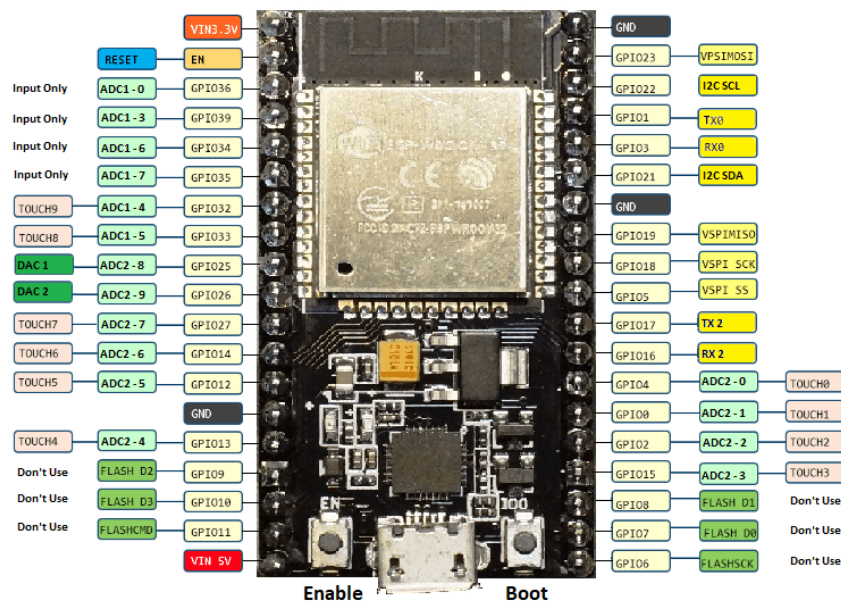


Ilustración 3 Características y pines del Esp32

Conectividad Wi-Fi y Bluetooth

El fuerte del *ESP32* está en su conectividad, habilitando *Wi-Fi y Bluetooth IoT*. Ofrece Wi-Fi HT40 y Bluetooth 4.2/BLE, perfecto para redes inalámbricas modernas. Así, asegura conexiones sólidas y rápidas, ideal para la Internet de las cosas.

Capacidades de bajo consumo

El bajo consumo es vital en el ESP32. Con varios modos de suspensión, como el sueño profundo, destaca en eficiencia. La *gestión energética* permite usarlo en dispositivos a batería, extendiendo su durabilidad y rendimiento.

Características	Descripción
Microprocesador	32 bits Xtensa® LX6, hasta 600 DMIPS
Coprocesadores	Ultra Low Power (ULP) para modos de bajo consumo
Wi-Fi	Sí (HT40)
Bluetooth	Sí (4.2/BLE)
Memoria	520 KB SRAM, 4 MB flash externa

1.6.4 Principales Lenguajes de Programación para ESP32

El ESP32 es famoso por su versatilidad en programación. Se puede usar C/C++ con *ESP-IDF*, *IDE de Arduino*, y *MicroPython*. Cada uno tiene sus beneficios y particularidades. Son perfectos para crear software en microcontroladores.

C/C++ y el Framework ESP-IDF

ESP-IDF es el sistema oficial de Espressif para C/C++. Ofrece acceso directo a las funcionalidades del ESP32. Esto permite un manejo completo del hardware, siendo ideal para quienes quieren explotar todas las funciones del dispositivo.

Uso del IDE de Arduino

El *IDE de Arduino* es muy elegido para usar con ESP32. Lo prefieren los novatos y aficionados por su facilidad de uso. Su comunidad extensa brinda ayuda y ejemplos. Hace posible crear proyectos rápidamente, incluso sin saber mucho de programación.

MicroPython y sus ventajas

MicroPython es ideal para un desarrollo rápido y eficaz en microcontroladores. Es sencillo de aprender gracias a Python. Su *Interactive REPL* es una de sus mejores cualidades. Permite testear comandos en el dispositivo, facilitando mucho el aprendizaje y la solución de problemas en el código.

Comparando, los lenguajes de programación para ESP32 varían en facilidad y flexibilidad. Cada uno tiene sus fortalezas y debilidades:

Lenguaje	Entorno	Ventajas
C/C++	ESP-IDF	Acceso completo al hardware
C++	Arduino IDE	Fácil de usar, buen soporte comunitario
Python	MicroPython	Simplicidad, <i>Interactive REPL</i>

1.6.5 Comunicación LoRa

¿Qué es la tecnología Lora?

LoRa, Corto para largo alcance, es una tecnología inalámbrica de radiofrecuencia que permite, Comunicación de baja potencia entre dispositivos. Es exactamente lo que sugiere su nombre, y el largo alcance significa crear conexiones inalámbricas que viajan mucho más allá de las tecnologías tradicionales como wifi o bluetooth.



Ilustración 4 Modulo lora

"Lora es la capa física o la modulación inalámbrica utilizada para crear el enlace de comunicación de largo alcance ... Lora se basa en la modulación de espectro de diferencial Chirp ... Lora es la primera implementación de bajo costo para el uso comercial". Una descripción técnica de Lora y Lorawan TM de Lora Alliance

Basado en la definición anterior, Está claro que Lora no es un protocolo de comunicación sino una técnica de modulación, una forma de codificar datos en las ondas de radio para que los dispositivos puedan hablar entre sí de manera eficiente. Cuando se combina con la pila de protocolo de Lorawan, Podemos construir una red de comunicación de largo alcance completa para dispositivos IoT.

La mayoría de la tecnología inalámbrica sigue esta compensación: más rango = más potencia. Pero Lora rompe este patrón. En comparación con la modulación tradicional de Ask y FSK, Lora se basa en Chirp Spread Spectrum (CSS) modulación, que puede aumentar en gran medida el rango de comunicación, Por lo tanto, puede lograr un rango de transmisión de varios kilómetros con un consumo de energía extremadamente bajo.

La historia de Lora

Para entender a Lora en el contexto correcto, Es necesario que veamos rápidamente la historia de la comunicación de Lora.

Las bases de lo que es moderna Lora fue hoy desarrollado por Nicolas Sornin y Olivier Sella de Francia en 2009, quien más tarde comenzó la compañía ciclo con François Sforza en 2010. Inicialmente, Se dirigieron a la industria de medición para el gas., agua, y electricidad. En 2012, CycleO fue adquirido por Semtech.

No fue hasta febrero 2015 que la Lora Alliance, una alianza sin fines de lucro, se formó para estandarizar y promover a Lorawan (una vez llamado loramac) - Un protocolo de comunicación construido sobre la modulación de Lora.

A finales de 2010, Hubo muchos despliegues de Lora y Lorawan, Y esto condujo a una popularidad generalizada de la tecnología, especialmente en Europa y algunas historias de éxito tempranas notables.

A principios de la década de 2020, el campo de LPWAN (Redes de baja potencia de área ancha) había obtenido una cantidad sustancial de interés global, Hasta el punto de que había varias tecnologías competidoras como NB-IoT y Sigfox compitiendo por el dominio del mercado.

De acuerdo con la Alianza LoRa 2024 Informe de fin de año, Hay mas que 350 millones de nodos finales y 6.9 Millones de puertas de entrada con Lora ICS que se han desplegado en todo el mundo. La Alianza Lora es ahora una de las alianzas más grandes de IoT a nivel mundial. También comenzamos a ver que los dispositivos Lora y Lorawan se volvieran cada vez más comunes.. Se espera que el mercado de Lora y Lorawan IoT crezca desde \$8.0 mil millones en 2024 a \$32.7 mil millones por 2029.

¿Cómo funciona Lora?

Una arquitectura de red de Lorawan consiste en nodos Lora, Puertas de enlace de Lora, el servidor de red y el servidor de aplicaciones. En una arquitectura de Lorawan, Los nodos suelen estar en una topología de estrella con puertas de enlace que forman un puente transparente. La comunicación a los nodos finales es generalmente bidireccional, lo que significa que la puerta de enlace puede recopilar datos de los nodos finales, pero también puede enviar comandos a los nodos finales.

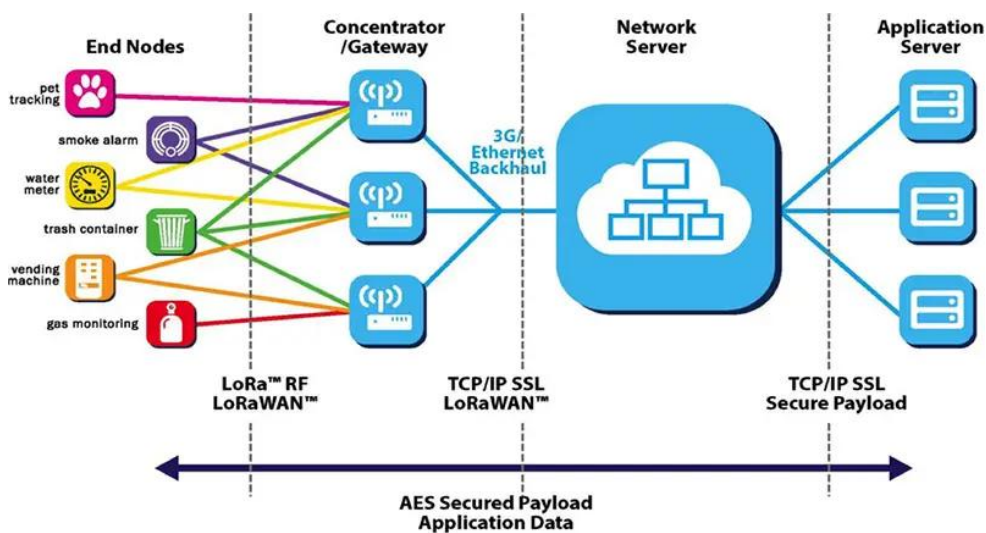


Ilustración 5 Seguridad en redes LorRaWan

Nodos LoRa: Los nodos finales son los elementos de la red Lora donde se realiza el control o la detección. Normalmente están a prueba de baterías y se encuentran remotamente. Los nodos finales envían datos a cada puerta de enlace en su vecindad y transmiten datos en periódico no 24×7 .

LoRa gateway: La puerta de enlace recibe los datos de los nodos Lora End y luego los canaliza a un servidor de red. Una puerta de enlace de Lora generalmente consiste en un módulo de radio Lora, un microprocesador, y un medio de conectividad a Internet.

La puerta de enlace convierte los datos recibidos de los nodos LORA en formato TCP/IP a través de la red de Backhaul (Ethernet, 3GRAMO, 4GRAMO, Wifi, etc.) y lo envía al servidor de red. Lora Gateway admite multicanal, transceptores multimodulación, e incluso la demodulación simultánea de señales en el mismo canal. No almacenan ningún dato y actúan solo como reenvelientes de paquetes para el servidor de red. Una puerta de enlace puede conectar muchos dispositivos terminales. Un SX1301 con 8 Los canales pueden manejar sobre 1.5 Millones de paquetes por día, apoyando alrededor 62,500 dispositivos que envían un paquete por hora.

Servidor de red: El servidor de red administra la red. Filma paquetes duplicados causados por múltiples puertas de enlace que reciben los mismos datos, realiza controles de seguridad, administra el tráfico y el enrutamiento de la puerta de enlace, controlar la tasa adaptativa, y reenvía mensajes al servidor de aplicaciones.

Servidor de aplicaciones: El servidor de aplicaciones procesa datos del servidor de red, Analiza datos del sensor, admite funciones como visualización de estado y alertas en tiempo real, y opcionalmente puede enviar respuestas al nodo final.

Beneficios y desventajas de la tecnología Lora

Comprender las características de Lora es clave para determinar sus posibles aplicaciones. Echemos un vistazo más profundo a los pros y contras de Lora para ayudarlo a considerar dónde se adapta mejor.

Beneficios de Lora:

De largo alcance: Conecta dispositivos hasta 15-20 km en entornos rurales y 2-5 km en áreas urbanas. Permite cobertura a escala de ciudad, y se consigue una buena penetración en los edificios.

Baja potencia y larga vida útil: Diseñado para un uso de baja potencia con una duración prolongada de la batería hasta 10 años. Por ejemplo, MOKOSmart Sensor de estacionamiento LW009 Lorawan puede operar hasta 5 años.

Alta capacidad: Una sola puerta de enlace de Lora puede manejar millones de mensajes de miles de nodos finales.

Bajo costo: Inversión de infraestructura inicial baja, banda de frecuencia ISM gratis, y sensores de nodo extremo de bajo costo.

Estándar abierto: Lorawan es mantenido por la alianza Lora. Impulsa la implementación rápida y la interoperabilidad del dispositivo.

Desventajas de Lora:

Baja velocidad de transmisión: Lora tiene un ancho de banda relativamente estrecho y su capacidad para transmitir a largas distancias tiene costo de tasas de datos más bajas, haciéndolo adecuado para redes de sensores, no aplicaciones de datos altos.

Carga útil limitada: Lora admite solo pequeños paquetes de datos, con una máxima capacidad de datos de aproximadamente 242 bytes por transmisión. Esto lo hace menos adecuado para casos de uso que necesitan grandes transferencias de datos.

Aplicaciones de la tecnología LoRa

La tecnología inalámbrica de Lora se usa ampliamente en una variedad de aplicaciones. Las capacidades de largo alcance y de baja potencia significan que los nodos finales se pueden implementar en una amplia variedad de lugares, edificios internos o en áreas remotas, para transmitir paquetes con información importante a la puerta de enlace. Aquí hay algunas aplicaciones LoRa comunes:

Applications of LoRa technology



Ilustración 6 Aplicaciones de la tecnología lora.

Ciudades inteligentes: Medición inteligente, monitoreo ambiental, estacionamiento inteligente, alumbrado público, gestión de residuos y más.

Cadena de suministro y logística: Seguimiento y monitoreo de activos, monitoreo de la cadena de frío, Gestión de flotas.

Agricultura: Monitoreo del suelo, control de riego, seguimiento de ganado.

IoT industrial: Monitoreo de equipos, mantenimiento predictivo, automatización.

Monitoreo de infraestructura: Monitorear vías ferroviarias, puentes, y túneles para cualquier cambio físico.

Utilidades: Grid inteligente, medición de gas/agua, detección de fugas, generación de energía distribuida.

Casas y edificios inteligentes: HVAC y control de iluminación, gestión energética, monitoreo de ocupación de habitaciones.

LoRa y LoRaWAN: ¿Cuál es la diferencia??

LoRa describe la capa física inferior, las capas superiores de redes estaban ausentes. LoRaWAN es uno de los numerosos protocolos que se desarrollaron para describir las capas superiores de la red.. LoRaWAN es un control de acceso a medios basado en la nube (MAC) protocolo de capa, pero actúa principalmente como un protocolo de capa de

red para gestionar la comunicación entre dispositivos de nodo final y puertas de enlace LPWAN, como protocolo de dirección, mantenido por la Alianza LoRa. Versión de especificación LoRaWAN 1.0 fue lanzado en junio 2015.

LoRaWAN Define la arquitectura del sistema y el protocolo de comunicación para la red., mientras que la capa física LoRa permite el enlace de comunicación de largo alcance.

Entonces, en resumen:

LoRa = modulación de capa física

LoRaWAN = protocolo y arquitectura de comunicación

Juntos proporcionan una solución completa que incluye conectividad de largo alcance y una arquitectura de comunicación de red flexible...

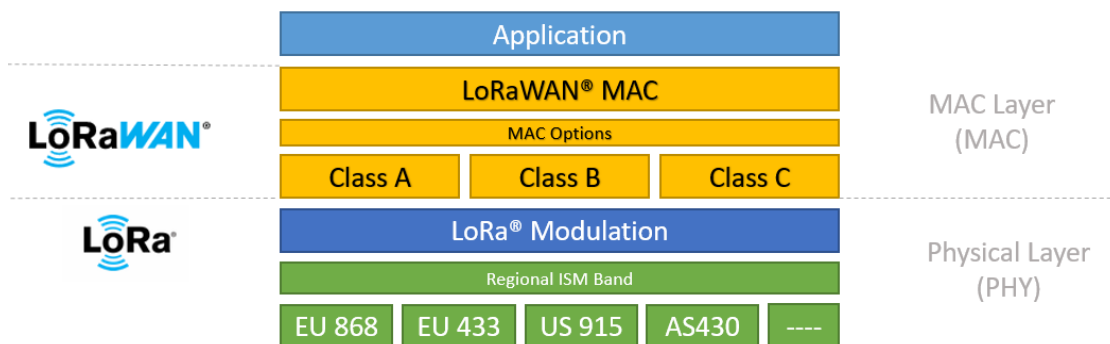


Ilustración 7 LoRa y LoRaWan

Lora vs otras tecnologías inalámbricas

Hay algunas diferencias entre el Lora y otras tecnologías de IoT como NB-IoT, Sigfox y LTE-M. Algunos de los importantes son:

Lora opera en bandas ISM sin licencia en lugar de usar espectro con licencia como redes celulares.

Lora usa un CSS único (Chirp Spread Spectrum) Técnica de modulación en comparación con los esquemas de modulación que usan otros protocolos.

Lora tiene protocolos de seguridad menos robustos que otros como NB-IoT.

Lora tiene capacidades de larga distancia más robustas que otras como Wifi o Bluetooth.

Lora se usa principalmente para largo alcance, Aplicaciones de baja potencia, como el monitoreo ambiental y la agricultura inteligente, Mientras que otros protocolos como LTE-M son más adecuados para aplicaciones como la telemática de vehículos y las aplicaciones móviles de IoT.

LoRa	NB-IoT	LTE-M	sigfox	
Rango	15-20 km (rural), 2-5 km (urbano)	1-10 km	1-11 km	10 Km (Urban) , 40 km (rural)
Banda de frecuencia	Bandas ISM sin licencia	Bandas celulares con licencia	Bandas celulares con licencia	Bandas ISM sin licencia
Velocidad de datos	0.3 – 50 kbps	200 kbps	200-1000 kbps	100 bps
Propiedad de la red	Público o privado	Operadores de telecomunicaciones	Operadores de telecomunicaciones	Operadores de Sigfox
Tarifas de suscripción	Gratis o de bajo costo	Tarifas celulares más altas	Tarifas celulares más altas	Se requiere suscripción
Eficiencia energética	Muy alto	Muy alto	Medio	Muy alto
Bidireccional	si	si	si	Limitado (Restricciones estrictas del enlace

descendente)

Penetración en interiores	Bueno	Excelente	Bueno	Bueno
Casos de uso ideales	Ciudades inteligentes, agricultura, seguimiento de activos	Medidores de servicios públicos, monitoreo industrial	Usables, telemática, aplicaciones móviles	Sensores simples, monitoreo básico

1.6.6 Sistemas de almacenamiento externo (microSD)

Tarjeta SD

¿Qué es una tarjeta SD?

Una tarjeta SD es un tipo de tarjeta de memoria flash que se utiliza para almacenar datos. Las iniciales SD significan «Secure Digital», que hace referencia a las medidas de seguridad incorporadas en la tarjeta para proteger los datos almacenados en ella. Estas tarjetas se presentan en diferentes tamaños y capacidades, desde microSD hasta SDHC y SDXC, con capacidades que van desde unos pocos megabytes hasta varios terabytes.

¿Para qué se utiliza una tarjeta SD?

Las tarjetas SD se utilizan en una amplia variedad de dispositivos electrónicos. Uno de los usos más comunes es en cámaras digitales, donde se utilizan para almacenar fotos y videos. También se utilizan en teléfonos inteligentes, tabletas y computadoras portátiles para expandir la capacidad de almacenamiento. Las tarjetas SD también son comunes en dispositivos de audio, como reproductores de música y grabadoras de audio, y en consolas de juegos portátiles.

Tipos de tarjetas SD

Existen varios tipos de tarjetas SD, cada uno con diferentes capacidades y velocidades de lectura/escritura. Los tipos más comunes de tarjetas SD son:

SD – La tarjeta SD original, con una capacidad máxima de 2GB.

SDHC – Tarjeta de alta capacidad, con una capacidad máxima de 32GB.

SDXC – Tarjeta de capacidad extendida, con una capacidad máxima de 2TB.

microSD – Tarjeta SD en miniatura utilizada en dispositivos más pequeños, como teléfonos inteligentes.

UHS-I – Tarjeta SD ultra rápida con velocidades de lectura/escritura de hasta 104 MB/s.

UHS-II – Tarjeta SD aún más rápida con velocidades de lectura/escritura de hasta 312 MB/s.

Formato y compatibilidad

Las tarjetas SD se formatean en un sistema de archivos específico para su dispositivo. La mayoría de las cámaras digitales utilizan el formato FAT32, mientras que los dispositivos Android y Windows utilizan el formato exFAT. Las tarjetas SD son compatibles con una amplia variedad de dispositivos electrónicos, pero es importante verificar la compatibilidad antes de comprar una tarjeta, especialmente si se trata de un dispositivo más antiguo.

Modulo SD

El uso de almacenamiento externo en sistemas embebidos se ha vuelto una práctica común para guardar datos importantes, como registros de sensores, eventos de activación, configuraciones o archivos de texto. Una de las soluciones más económicas y versátiles es el uso de **módulos de memoria microSD**, los cuales permiten que microcontroladores como el **ESP32** almacenen información de manera persistente.

¿Qué es una memoria microSD?

Una **microSD (Secure Digital)** es una tarjeta de memoria flash no volátil que ofrece capacidades de almacenamiento que van desde los 128 MB hasta más de 128 GB. Su tamaño compacto, bajo consumo energético y compatibilidad con múltiples sistemas la convierten en una excelente opción para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT), como el presente proyecto.

¿Cómo funciona un módulo microSD?

Los módulos microSD utilizados en electrónica permiten que un microcontrolador se comunique con la tarjeta mediante el protocolo **SPI (Serial Peripheral Interface)**. Este módulo actúa como un puente entre la tarjeta microSD y el controlador, permitiendo enviar comandos y datos.

Los módulos generalmente tienen:

- Una ranura para insertar la tarjeta microSD.
- Un convertidor de nivel lógico (5V a 3.3V), ya que las tarjetas SD trabajan con 3.3V.
- Pines de comunicación SPI: MOSI, MISO, SCK, CS.

Pines típicos en un módulo SD:

Pin	Función
VCC	Alimentación (3.3V o 5V)
GND	Tierra
MISO	Master In Slave Out (datos del SD al ESP32)
MOSI	Master Out Slave In (datos del ESP32 al SD)
SCK	Reloj del SPI
CS	Chip Select (habilita la tarjeta)

Funcionamiento en el ESP32

En tu proyecto, el **ESP32** gestiona la lectura del sensor y, al detectar una emergencia, genera un mensaje en formato de texto que es **escrito en la tarjeta microSD**. Para esto, se utilizan funciones de la librería `SD.h` en Arduino IDE, como `SD.open()`, `file.println()` y `file.close()`.

Esto permite que cada evento quede registrado con:

- Fecha (puede ser fija o tomada desde un RTC en futuras versiones)
- Hora simulada
- Descripción del evento (ej. “Emergencia detectada – Nodo A”)

Ventajas de usar microSD en proyectos IoT

- Almacenamiento local sin necesidad de conexión a internet.
- Registro físico y persistente de eventos críticos.
- Capacidad de extraer fácilmente los datos para análisis posterior.
- Compatible con cualquier lector de tarjetas SD en computadoras.

Aplicación en el proyecto

El uso de este módulo en el sistema de alarma permite almacenar cada activación del botón de emergencia. Así se genera un respaldo útil para comprobar la frecuencia de eventos, simular activaciones o incluso realizar auditorías de seguridad. Esta función complementa la transmisión LoRa, haciendo que el sistema funcione incluso si la señal inalámbrica falla.

1.6.7 PCB (Placa de Circuito Impreso)

PCB son las siglas de Placa de Circuito Impreso, pero utilizamos las siglas en inglés (Printed Circuit Board) para no confundirla por ejemplo con las ranuras PCI de nuestro PC.

Pues una PCB básicamente es un soporte físico en donde se instalan componentes electrónicos y eléctricos y se interconectan entre ellos. Estos componentes pueden ser, chips, condensadores, diodos, resistencias, conectores, etc. Si echas un vistazo a un ordenador por dentro, verás que hay múltiples placas planas con un montón de componentes pegados a ella, se trata de una placa base y está compuesta por una PCB y los componentes que hemos citado

Para conectar cada elemento en una PCB utilizamos una serie de pistas conductoras de cobre extremadamente finas y que general un carril, conductor, como si de un cable se tratase. En los circuitos más sencillos, solamente tenemos pistas conductoras en una cara o las dos visibles de la PCB, pero en otros más completos tenemos pistas eléctricas e incluso componentes apilados en múltiples capas de ellas.

El soporte principal para estas pistas y componentes es una combinación de fibra de vidrio reforzada con materiales cerámicos, resinas, plástico y otros elementos no conductores. Aunque actualmente se están utilizando componentes como celuloide y pistas de pintura conductora para fabricar PCB flexibles.

La primera placa de circuito integrado se construyó en 1936 a mano por el ingeniero Paul Eisler para ser utilizada por una radio. A partir de ahí los procesos se automatizaron para su fabricación a gran escala, primero en radios, y luego en todo tipo de componentes.

¿Qué hay dentro de una PCB?

Los circuitos impresos están compuestos por una serie de capas conductoras, al menos los más complejos. Cada una de estas capas conductoras está separada mediante un material aislante que se llama sustrato. Para conectar pistas de distintas capas se utilizan orificios llamados vías que pueden atravesar completamente la PCB o solamente llegar hasta una determinada profundidad.

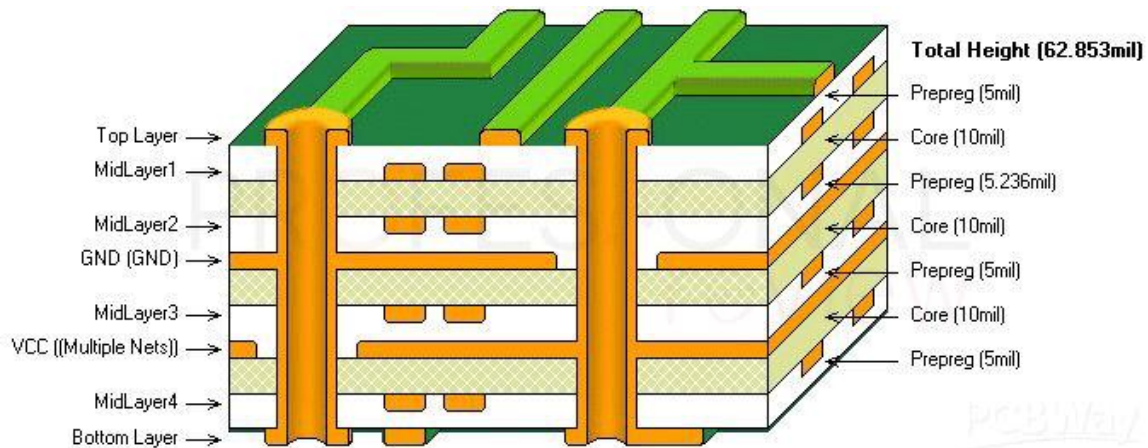


Ilustración 8 Partes internas de una pcb.

El sustrato puede ser de distintas composiciones, pero siempre de materiales no conductores para que cada una de las pistas eléctricas lleven su propia señal y voltaje. El más utilizado actualmente se llama Pértinax que básicamente es un papel cubierto de resina, muy fácil de manejar y de mecanizar. Pero en los equipos de altas prestaciones se utiliza un compuesto llamado FR-4 es que un material de fibra de vidrio cubierto de resina resistente al fuego.

Los componentes electrónicos por su parte, irán casi siempre en la zona externa de las PCB, e instalados en ambas caras, para aprovechar al máximo la extensión de ellas. Antes de crear las pistas eléctricas, las distintas capas de la PCB solamente están formadas por el sustrato y unas láminas muy fina de cobre u otro material conductor, y será mediante una máquina similar a una impresora como se crearán éstas y a través de un proceso bastante largo y complejo.

Proceso de creación de la PCB

Ya sabemos de qué están formadas las placas de circuitos integrados, pero sería muy interesante saber cómo se fabrican. Es más, nosotros mismos podremos crear un circuito integrado básico comprando una de estas placas, pero por supuesto el proceso será bastante distinto al que se utiliza en la realidad

Diseño de la PCB mediante software

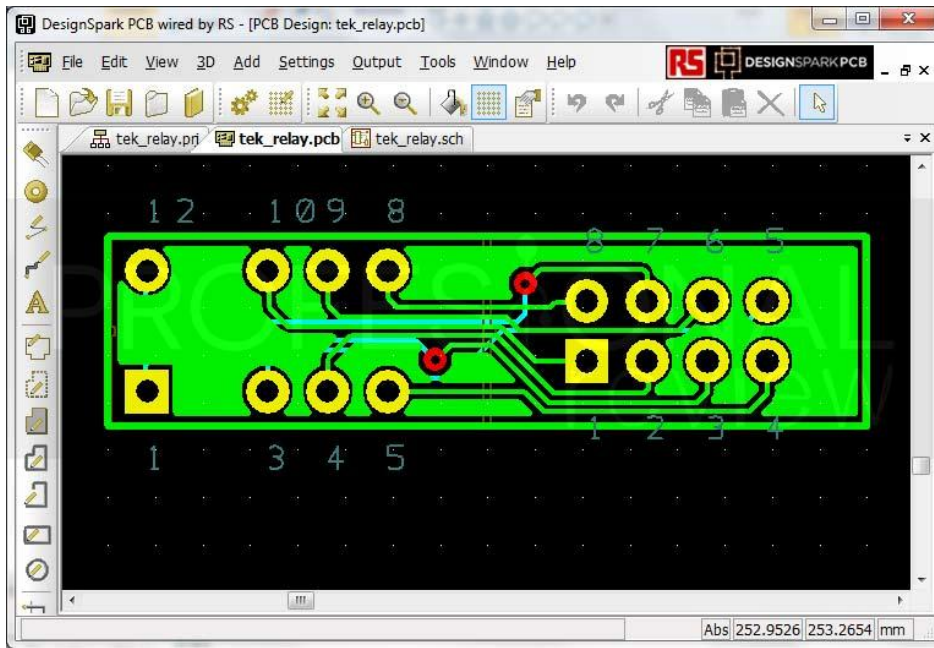


Ilustración 9. Software para desarrollo de pcb's

Todo comienza con el diseño de la PCB, trazando las pistas eléctricas necesarias para conectar los componentes, así como enumerar cuántas capas van a ser necesarias para poder generar todas las conexiones que van a ser necesarias para los componentes.

Este proceso se realiza mediante software de ordenador CAM como por ejemplo TinyCAD o DesignSpark PCB, muy usado en las carreras de ingeniería. No solamente se diseñan las pistas eléctricas, sino que también se crean las distintas etiquetas para enumerar componentes instalados e identificar cada conector.

Se documentarán todos los pasos necesarios del proceso de elaboración para que el fabricante sepa exactamente qué debe hacer cuando se le envíe el proyecto.

Serigrafiado y trazado fotográfico



Ilustración 10. Máquina de serigrafiado.

Una vez diseñada, ahora pasamos directamente al fabricante el proyecto y será donde comience la creación física de una PCB. El proceso siguiente se llama trazado fotográfico, mediante el cual una máquina similar a una impresora (fotoplotter) traza mediante láser un gráfico con las máscaras de conexiones de los elementos electrónicos.

Para ello se utiliza una fina lámina de metal conductor de unas 7 milésimas de pulgada. Estas máscaras servirán luego para determinar dónde van pegados los componentes electrónicos. En los procesos más avanzados, este proceso se hace directamente en la PCB con una impresora que graba con este metal las máscaras de conexión.

Impresión de capas internas

Lo siguiente que se hace es la **impresión en la PCB de las distintas pistas eléctricas internas**, con un compuesto especial. Se trata de “**pintar**” un **negativo de las pistas eléctricas** sobre la lámina para crear un patrón conductor con un **material fotosensible o de película seca**. Pues bien, esta película que se ha creado, se expone a un láser o luz ultravioleta para retirar el material sobrante y así se creará un negativo del circuito final.

Este proceso se realiza si la PCB dispone de capas internas con pistas conductoras. Además, **este proceso luego se repetirá en las capas exteriores de la PCB** para crear las pistas de cobre finales y acorde al diseño del circuito.

Inspección y verificación (AOI)

Una vez realizadas las distintas capas de pistas conductoras una máquina se encargará de inspeccionar que todas son correctas y funcionan bien. Esto se hace de forma automatizada comparando el diseño original con la impresión física, para buscar cortocircuitos o pistas partidas.

Película de óxido y laminación

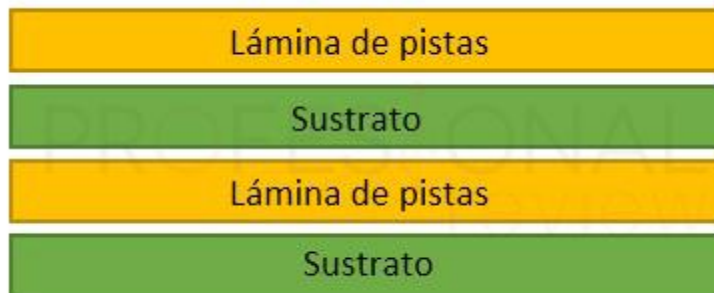


Ilustración 11. películas entre capas de la pcb

A cada una de las láminas impresas con las pistas conductoras se le realiza un tratamiento de óxido para mejorar las capacidades y durabilidad de las pistas de cobre de cada capa.

Gracias al proceso, se evitará la delaminación de las distintas capas y pistas conductoras en PCB especialmente sensibles o con gran cantidad de componentes como las de los ordenadores.

Lo siguiente que se debe hacer es construir la PCB definitiva, para ello se irán uniendo cada una de las capas de circuito mediante láminas de fibra de vidrio con resina epoxi, Pértinax o cualquier otro método que se utilice. Todo ello irá perfectamente pegado mediante una prensa hidráulica y es así como obtendremos la placa de circuito integrado.

Perforación de orificios

En la totalidad de ocasiones vamos a necesitar realizar una serie de orificios a las PCB mediante taladrado para poder unir las distintas capas y pistas de cobre. También necesitaremos perforaciones completas para poder sujetar elementos electrónicos o distintos conectores o ranuras de expansión.

El proceso de perforación **debe ser de una enorme precisión**, para conservar la integridad de la PCB, por lo que se utilizan cabezales de **carburo tungsteno** le material más duro que existe.

Metalizado de los orificios

Para que estos orificios puedan establecer comunicación con las distintas pistas internas, será necesario un proceso de chapado con una fina película de cobre para proporcionar la conductividad necesaria. Estos chapados serán de entre 40 y 60 millonésimas de pulgada.

La PCB ya está preparada para trazar las pistas de cobre sobre las caras exteriores de ella.

Película exterior de pistas y galvanoplastia

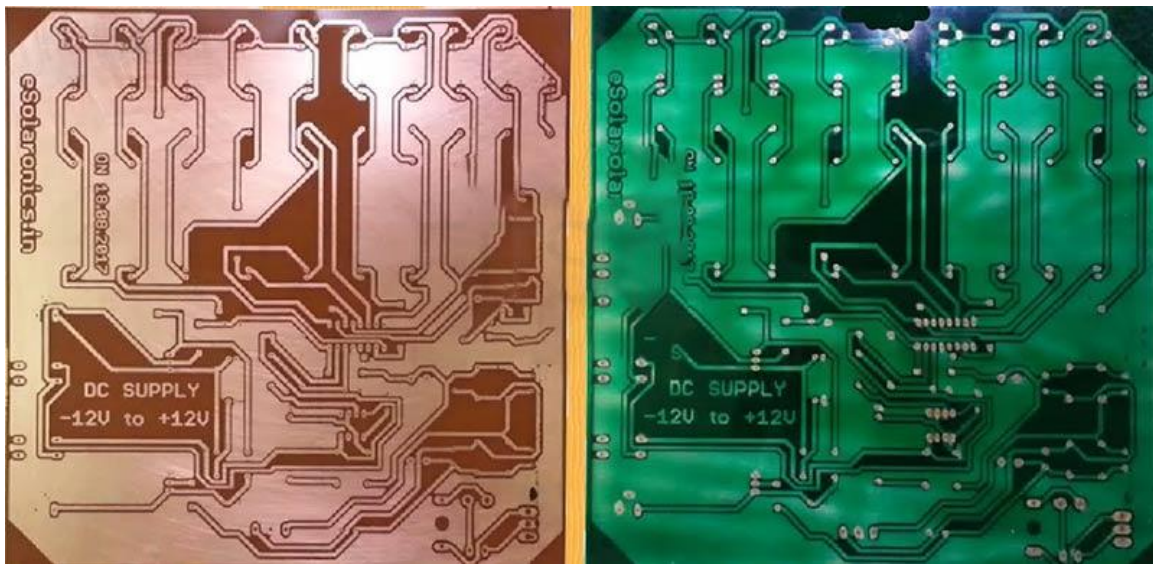


Ilustración 12. Película protectora de las pistas

Ahora pasamos a crear las pistas conductoras del exterior, y para ello vamos a seguir el mismo procedimiento que para crear las pistas internas. Primero creamos la película seca en forma de negativo del circuito final. Luego, mediante un láser, se crean los espacios en donde el cobre se va a depositar para crear las pistas conductoras.

Y a continuación la PCB se someterá a un proceso de galvanoplastia, que consiste en pegar el cobre en las zonas libres de lámina seca y así formar las pistas eléctricas de la PCB. La PCB se coloca en un baño de cobre y éste se adherirá mediante electrólisis a los patrones conductores para crear pistas de un grosor de tan solo 0,001 pulgadas.

Luego se le añadirá otra capa de estaño encima de la de cobre para proteger éste ataque químico cuando se vayamos al proceso SES o “strip-etch-strip”

Strip etch strip

Este es penúltimo paso, se va a eliminar el cobre sobrante de la PCB, el sobrante será el que no hemos bañado de estaño. De esta forma solamente quedará el cobre protegido con estaño.

Posteriormente debemos de retirar también el estaño mediante un tratamiento químico para finalmente dejar solo las pistas de cobre que finalmente van a ser las que van a conectar componentes y trasportar la electricidad.

Ahora otro proceso de AOI verificará que todo está correcto para finalmente grabar la máscara y la leyenda.

Mascara de soldadura y leyenda

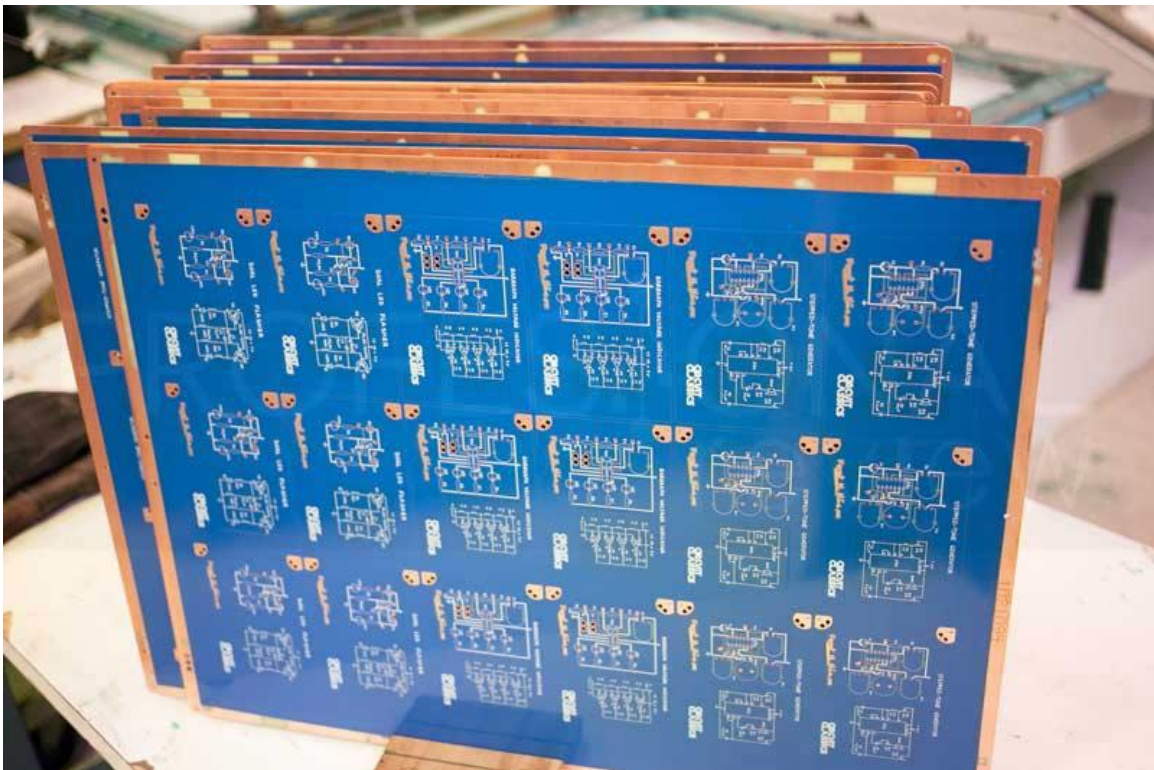


Ilustración 13. Pcb con mascara de soldadura

Finalmente, a la placa de circuito electrónico se le aplicará una **máscara de soldadura** para que posteriormente sea posible soldar los componentes a las pistas correcta y justamente en el sitio donde deben ir.

Luego también se imprime la leyenda compuesta la información que el diseñador haya querido proporcionar en la PCB, como nombre de conectores, código de elementos, etc. Además, también se efectuará el **diseño final** de la PCB con los colores que el fabricante quiera darle, tal y como vemos en las placas base gaming, etc.

Soldadura de componentes y pruebas finales



Ilustración 14. Placa madre de computadora.

La PCB está lista y solamente quedará añadir los componentes mediante brazos robots de alta precisión, y las correspondientes ranuras. De esta forma la placa esta lista para ser probada eléctricamente y comprobar que funciona correctamente.

También añadiremos las máscaras de conexiones para soldar estos elementos correctamente.

1.6.8 Normativas aplicables

Dentro del desarrollo de sistemas electrónicos, especialmente cuando se pretende implementar en entornos reales como instituciones educativas, es importante considerar no solo la funcionalidad, sino también el cumplimiento de normativas técnicas, de seguridad eléctrica y de uso del espectro radioeléctrico. Estas normas aseguran que el diseño no represente un riesgo, y que sea compatible con estándares de calidad. En este proyecto se consideraron diversas normativas y buenas prácticas relevantes, agrupadas de acuerdo con los principales subsistemas involucrados.

Diseño de la tarjeta PCB

Para el diseño de la Placa de Circuito Impreso (PCB) que integra todos los módulos del sistema, se tomaron como referencia estándares internacionales del IPC (Institute for Printed Circuits), ampliamente utilizados en la industria electrónica. Entre los más importantes se encuentran:

- IPC-2221: Estándar general para el diseño de PCBs, que define parámetros clave como separación entre pistas, tamaños de vías, y distribución de componentes.
- IPC-7351: Utilizado para definir correctamente las huellas o footprints de componentes SMD, asegurando que su tamaño y forma sean compatibles con el diseño real.
- IPC-A-600: Define los criterios de aceptación visual y estructural de las PCBs terminadas, útil para verificar calidad del producto final.

Estas normas ayudaron a garantizar que el diseño electrónico del sistema fuera robusto, ordenado y funcional para su implementación práctica.

Comunicación inalámbrica LoRa

El sistema de alarma utiliza tecnología LoRa (Long Range) para enviar mensajes de emergencia de forma inalámbrica. Esta tecnología opera en la banda ISM de 915 MHz, que en México es de uso libre, siempre que se respeten ciertos lineamientos establecidos por el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT).

La norma aplicable en este caso es:

- NOM-208-SCFI-2016: Regula el uso de equipos que emplean bandas de frecuencia autorizadas sin requerir licencia, estableciendo límites de potencia de transmisión y condiciones técnicas de operación.

Cumplir con esta normativa garantiza que el sistema pueda operar legalmente en espacios escolares y urbanos sin interferir con otros equipos o servicios.

Seguridad eléctrica

Como el prototipo está destinado a instalarse en un entorno escolar, también se consideraron aspectos de seguridad eléctrica, tanto en el diseño como en el montaje del sistema.

Se tomaron como referencia las siguientes normas mexicanas:

- NOM-001-SEDE-2012: Establece los lineamientos mínimos de seguridad para instalaciones eléctricas en baja tensión.
- NOM-003-SCFI-2014: Relativa a aparatos eléctricos conectados a sistemas de baja tensión, incluyendo materiales, aislamiento y protecciones.
- NOM-019-SCFI-1998: Trata sobre la seguridad de equipos electrónicos en oficinas y escuelas, asegurando que el uso del equipo no represente un riesgo al usuario.

Manejo del almacenamiento microSD

El sistema registra cada activación de emergencia en una memoria microSD, utilizando funciones de escritura y gestión de archivos mediante SPI. Aunque no existe una norma específica para el uso de tarjetas microSD en sistemas embebidos, se aplicaron buenas prácticas de integridad de datos, como:

- Utilizar el formato FAT16/FAT32 compatible con sistemas operativos comunes.
- Manejar adecuadamente la apertura, escritura y cierre de archivos para evitar corrupción de datos.
- Verificar espacio disponible y nombre de archivos antes de escribir nueva información.

Estas acciones permiten que el sistema guarde registros de forma confiable, incluso si no hay red disponible.

En conjunto, estas normativas y buenas prácticas permiten que el proyecto no solo sea funcional, sino que tenga un enfoque realista, seguro y escalable, capaz de ser utilizado en entornos reales y con posibilidad de crecimiento hacia versiones más avanzadas.

1.7 CAPITULO 3 DESARROLLO DEL PROYECTO

1.7.1 Planeación inicial

Introducción a la planeación

Antes de iniciar con el desarrollo técnico del sistema, fue necesario realizar una planeación detallada que permitiera visualizar los recursos, procesos y etapas clave del proyecto. Esta etapa inicial es fundamental, ya que define la ruta de trabajo y ayuda a prevenir errores, retrasos o pérdidas de material.

La idea surgió a partir de una necesidad real en entornos escolares: contar con un sistema de alarma de emergencia que pueda funcionar de manera **autónoma, sin necesidad de conexión a internet**, y que sea **económico, fácil de instalar y confiable**. A partir de esto, se comenzó con la recopilación de ideas, análisis de proyectos similares y la búsqueda de componentes adecuados.

Requerimientos funcionales del sistema

Con base en el contexto del CBTIS No. 61 y los objetivos del proyecto, se definieron los siguientes **requerimientos clave** para el sistema:

- Que sea **autónomo**, es decir, que funcione sin depender de Wi-Fi o red celular.
- Que pueda **enviar una alerta** de emergencia mediante **comunicación inalámbrica LoRa**.
- Que cada evento sea **registrado en una memoria microSD**, como respaldo físico.
- Que tenga una **carcasa protectora** fabricada por impresión 3D.
- Que sea **fácil de instalar** en un muro o poste con taquetes o cinchos plásticos.
- Que esté alimentado por una fuente de 5V o 3.3V, con posibilidad de usar batería.

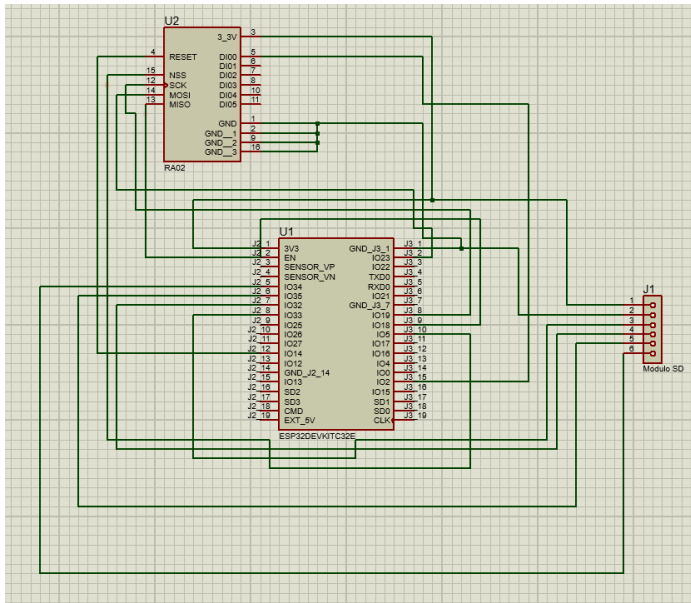


Ilustración 15. Esquema el prototipo

Identificación y selección de materiales

Una parte esencial de la planeación fue seleccionar los componentes adecuados que fueran compatibles entre sí, accesibles económicamente, fáciles de conseguir y que ofrecieran estabilidad en el funcionamiento.

Los materiales seleccionados incluyeron:

- **Microcontrolador ESP32:** unidad central del sistema.
- **Módulo LoRa (SX1278):** para comunicación inalámbrica.
- **Módulo microSD:** para almacenamiento de eventos.
- **Sensor de emergencia tipo pulsador:** para activar el sistema.
- **LED y resistencia:** para indicar visualmente la activación.
- **Reguladores AMS1117 de 5V y 3.3V:** para estabilizar voltaje.
- **Protoboard y jumpers:** usados durante las pruebas iniciales.
- **Software Arduino IDE y Proteus:** para programar y diseñar la PCB.
- **Filamento PLA y una impresora 3D:** para fabricar la carcasa.

Análisis de riesgos iniciales

Durante esta etapa también se consideraron algunos **problemas potenciales**, tales como:

- Interferencias entre módulos LoRa y microSD, ya que ambos usan SPI.
- Fallos por suministro eléctrico inestable en las pruebas.
- Posible pérdida de datos si no se cerraba correctamente el archivo .txt en la microSD.
- Dificultades mecánicas al diseñar la carcasa (dimensiones, entradas, ventilación).
- Interrupciones en la recepción LoRa por obstáculos físicos en el entorno.

Se planificaron soluciones y medidas de prueba para cada posible inconveniente, lo que ayudó a reducir los errores durante el desarrollo.

Organización de actividades

Una vez definida la idea y seleccionados los materiales, se procedió a organizar las tareas por semanas, con base en el **cronograma de actividades**. Este cronograma fue útil para distribuir la carga de trabajo y reportar avances mensuales, como se muestra en los documentos de bitácora y reportes.

Las etapas fueron:

1. Investigación teórica y revisión de normas.
2. Pruebas individuales de módulos.
3. Desarrollo del código.
4. Diseño de PCB.
5. Diseño e impresión de la carcasa.
6. Ensamblado final.
7. Pruebas y validación.
8. Redacción de documentación.

1.7.2 Selección de componentes

La elección adecuada de componentes es una de las fases más importantes en el desarrollo de un sistema electrónico. Seleccionar piezas compatibles, duraderas, económicas y que cumplan con los objetivos del proyecto es fundamental para asegurar un funcionamiento estable y confiable. En este caso, se buscó integrar un sistema sencillo, pero robusto, que permitiera generar una alerta remota en situaciones de emergencia dentro de un entorno escolar.

A continuación, se describen los principales componentes seleccionados para este proyecto, sus características técnicas y el motivo por el cual se eligieron.

Microcontrolador ESP32

El **ESP32** fue elegido como el núcleo del sistema debido a sus múltiples ventajas:

- Procesador de 32 bits con doble núcleo (hasta 240 MHz).
- 520 KB de RAM y soporte para SPI, I2C, UART y PWM.
- Capacidad de conexión Wi-Fi y Bluetooth (aunque no se usaron en esta versión).
- Consumo energético relativamente bajo.
- Precio accesible y alta disponibilidad en el mercado.

Este microcontrolador permitió integrar tanto el módulo LoRa como el módulo microSD, gracias a que dispone de suficientes pines digitales y soporte para múltiples dispositivos SPI.

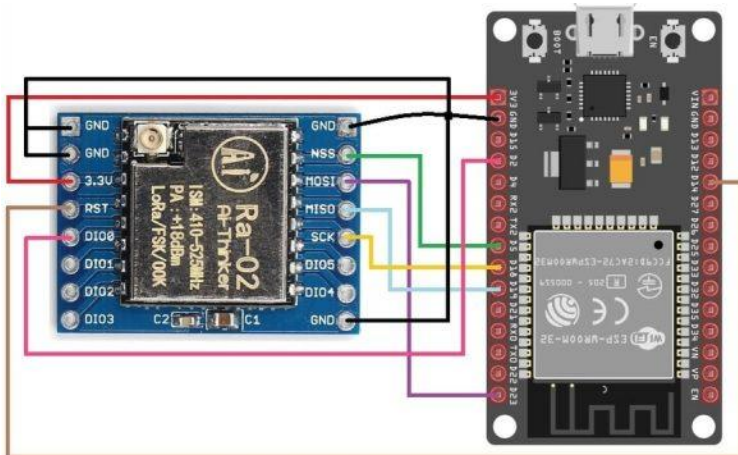


Ilustración 16. Conexión del esp32 y modulo LoRa

Módulo LoRa SX1278

Para la comunicación inalámbrica, se optó por el módulo **LoRa SX1278**, que trabaja a 915 MHz, frecuencia permitida en México bajo la NOM-208-SCFI-2016. Las principales razones de esta elección fueron:

- Alcance de hasta 800 metros en línea de vista (comprobado en pruebas).
- Excelente penetración en entornos urbanos y escolares.
- Bajo consumo energético en transmisión y espera.
- Compatibilidad con librerías como RadioHead y LoRa.h en Arduino IDE.

Este módulo es ideal para enviar datos simples (como alertas) en distancias considerables sin necesidad de internet o redes celulares.

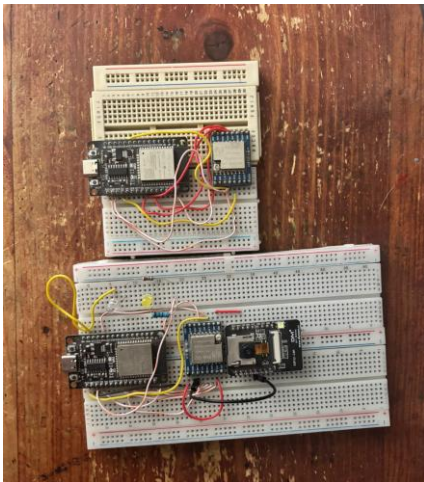


Ilustración 17. Módulo LoRa y Esp32 montados en protoboard

Sensor de activación de emergencia

En lugar de utilizar un botón pulsador convencional, se optó por integrar un sensor de activación más versátil y adaptable para distintos entornos, como salones de clases, laboratorios o espacios públicos.

Entre las opciones evaluadas están:

- Sensor de contacto magnético (tipo puerta/ventana): Detecta la apertura de una puerta o caja. Ideal para sistemas discretos o automáticos.
- Sensor de movimiento PIR: Detecta presencia humana. Puede adaptarse a zonas donde se requiera activar la alarma por ingreso no autorizado o actividad inusual fuera de horario.
- Interruptor de tipo palanca o mecánico oculto: Activado al jalar una cuerda o abrir una caja, útil en situaciones más discretas.

Para este prototipo se utilizó un sensor magnético de apertura (similar al usado en alarmas de seguridad domésticas). Este tipo de sensor es sencillo, económico y confiable, y permite activar el sistema al separar las dos partes del imán.

Ventajas:

- Activación rápida y sin necesidad de presionar nada.
- Se puede ocultar o instalar discretamente.
- Fácil de instalar en puertas, cajas o mecanismos personalizados.
- Resistente y de bajo mantenimiento.

Módulo microSD

Para el almacenamiento de eventos, se seleccionó un **módulo lector de tarjetas microSD** con interfaz SPI. Este componente se conecta fácilmente al ESP32 y permite:

- Registrar eventos en archivos .txt.
- Almacenar datos incluso si el sistema pierde energía.
- Consultar la información desde cualquier computadora con lector SD.
- Borrar o copiar registros fácilmente para análisis posterior.

Se utilizó formato FAT32 en la tarjeta y se emplearon funciones básicas de lectura y escritura para evitar errores y garantizar compatibilidad.

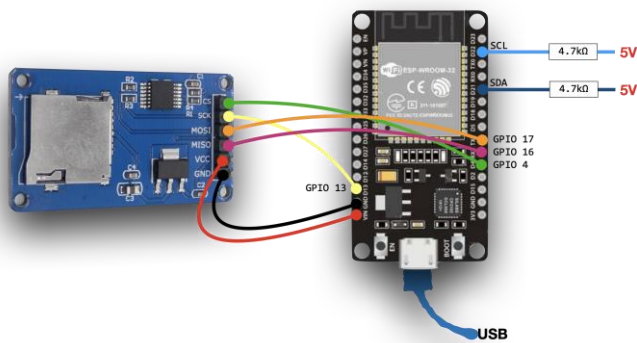


Ilustración 18. Conexión del Modulo SD a Esp32

Reguladores de voltaje AMS1117

Como el sistema utiliza módulos que trabajan con diferentes niveles de voltaje, fue necesario implementar **reguladores AMS1117** para bajar el voltaje de entrada (de una fuente o batería de 9V o 12V) a:

- **5V** para el módulo SD y otros periféricos.
- **3.3V** para el ESP32 y el LoRa (si se requiere en ciertas versiones).

Estos reguladores permiten una operación más estable y protegen a los componentes de sobrevoltajes accidentales.

Indicador LED

Para brindar una retroalimentación visual al usuario, se integró un **LED rojo** que se enciende brevemente cuando se activa el sistema. Esto sirve para confirmar que la señal fue enviada y el evento fue registrado correctamente.

El LED está conectado en serie con una resistencia de 330 ohms y a uno de los pines digitales del ESP32 configurado como salida.

Materiales complementarios

Otros materiales esenciales para el desarrollo fueron:

- Protoboard y cables tipo jumper para pruebas.
- Impresora 3D y filamento PLA para la carcasa.

- Soldadura, cautín, multímetro y herramientas básicas de ensamblado.
- Computadora con Arduino IDE y software de diseño de PCB (EasyEDA).

Conclusión de la selección

Todos los componentes fueron elegidos cuidadosamente para cumplir con los objetivos del proyecto, asegurar compatibilidad entre ellos, y mantener un bajo costo de implementación. Además, se priorizó el uso de componentes ampliamente documentados y con soporte en la comunidad, para facilitar la programación, el montaje y el mantenimiento del sistema.

1.7.3 Desarrollo del circuito y conexiones

Una vez seleccionados los componentes del sistema, se procedió al diseño y ensamblaje del circuito electrónico que integra todos los módulos. El objetivo fue crear un sistema funcional y compacto que pudiera detectar situaciones de emergencia y transmitir alertas de forma autónoma, registrando los eventos en memoria externa.

El sistema fue estructurado en forma modular, donde cada componente cumple una función específica:

- El **ESP32** actúa como microcontrolador principal.
- El **sensor PIR** detecta presencia humana.
- El **módulo LoRa** transmite datos inalámbricamente.
- El **módulo microSD** guarda los eventos registrados.
- Un **LED** proporciona retroalimentación visual al usuario.
- Los **reguladores de voltaje** estabilizan la alimentación de los módulos.

Sensor de movimiento PIR

Se utilizó un sensor PIR (Passive Infrared) para detectar movimiento. Este componente genera una señal digital en alto (HIGH) cuando detecta variaciones en la radiación

infrarroja que emite el cuerpo humano. Este tipo de sensor es ideal para este proyecto porque:

- No requiere contacto físico.
- Tiene buen rango de detección (5 a 7 metros).
- Es de bajo consumo.
- Permite activación automática sin intervención directa del usuario.

Conexiones:

PIR	ESP32
VCC	5V
GND	GND
OUT	GPIO13

Conexión del ESP32 con LoRa y microSD

Ambos módulos utilizan el protocolo **SPI**, por lo que comparten líneas de comunicación (MISO, MOSI, SCK) pero cada uno tiene su propio pin de **Chip Select (CS)** para evitar conflictos.

Conexiones SPI:

ESP32	LoRa SX1278	microSD
GPIO18	SCK	SCK
GPIO23	MOSI	MOSI
GPIO19	MISO	MISO
GPIO5	CS (LoRa)	—
GPIO4	—	CS (SD)

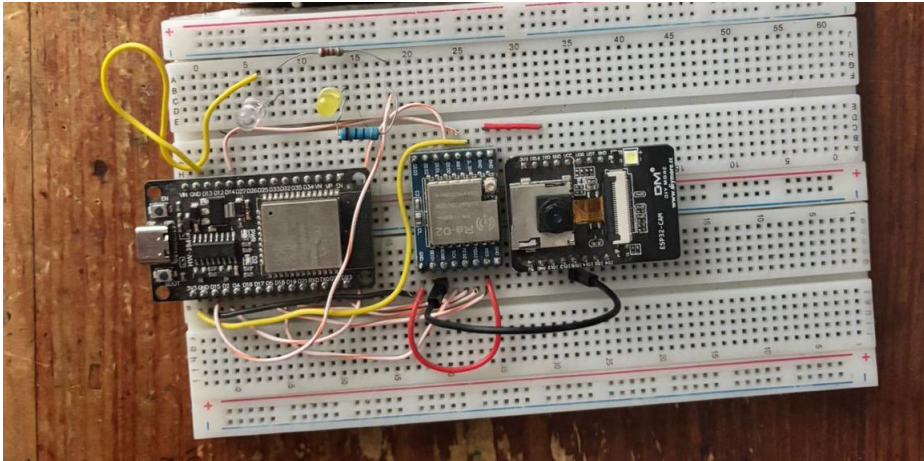


Ilustración 19. Conexiones del esp32 y LoRa

LED indicador

El sistema cuenta con un LED conectado al **GPIO2** del ESP32, el cual se enciende brevemente cuando se activa el sistema. Esto proporciona una retroalimentación visual rápida al usuario para indicar que la detección fue procesada exitosamente.

Reguladores de voltaje

Se emplearon **reguladores AMS1117** para garantizar una alimentación estable:

- Uno para reducir a **5V** (usado por el sensor PIR y el módulo microSD).
- Uno para reducir a **3.3V** (para el ESP32 y LoRa, si se requiere).

Estos componentes permiten usar una fuente de entrada mayor (como una batería de 9V o una fuente conmutada), sin dañar los módulos.

Validación del circuito

Durante las pruebas funcionales se verificó:

- La activación confiable del sensor PIR.
- La escritura de datos en la tarjeta microSD sin errores.
- La correcta transmisión de mensajes por LoRa.

- El encendido del LED al detectar movimiento.
- La estabilidad del sistema durante activaciones repetidas.

1.7.4 Desarrollo del software

El desarrollo del software del sistema de alarma de emergencia se realizó en el entorno de programación **Arduino IDE**, utilizando el lenguaje de programación **C++ para microcontroladores**. Este software tiene la función de coordinar la operación de todos los módulos del sistema: leer el sensor de movimiento PIR, activar una alerta, transmitir el mensaje mediante LoRa, registrar el evento en una tarjeta microSD y proporcionar una señal visual a través de un LED.

El programa fue diseñado para ser **eficiente, confiable y fácil de mantener**, utilizando estructuras condicionales simples y evitando ciclos complejos que pudieran interferir con el tiempo de respuesta. Se emplearon bibliotecas externas compatibles con el ESP32 para facilitar la gestión de LoRa y la tarjeta SD.

Estructura general del programa

El código fuente se organizó en tres bloques principales:

1. **Inicialización de hardware:** configuración de pines, SPI y librerías.
2. **Bucle principal (loop):** lectura continua del sensor PIR y gestión de activaciones.
3. **Funciones auxiliares:** encargadas de transmitir la alerta, registrar el evento y encender el LED.

1. Inicialización de hardware

En la función `setup()`, se definen los pines que se utilizarán para cada módulo. También se inicializa la comunicación SPI, necesaria tanto para el módulo **LoRa** como para la **memoria microSD**.

Ejemplo de configuración inicial:

```
void setup() {
```

```

Serial.begin(115200);

pinMode(pinPIR, INPUT);
pinMode(pinLED, OUTPUT);

// Inicialización del LoRa
if (!LoRa.begin(915E6)) {
    Serial.println("Fallo al iniciar LoRa");
    while (1);
}

// Inicialización de la microSD
if (!SD.begin(pinCS_SD)) {
    Serial.println("Fallo al iniciar tarjeta SD");
}
}

```

2. Lectura del sensor PIR

En el bucle principal `loop()`, el ESP32 revisa constantemente si el sensor PIR ha detectado movimiento. Si la salida del sensor es **HIGH**, se interpreta como una emergencia y se activa el sistema.

```

void loop() {
    if (digitalRead(pinPIR) == HIGH) {
        activarAlerta();

        delay(3000); // Espera para evitar múltiples registros seguidos
    }
}

```

```
}  
}
```

Se agregó una pausa de 3 segundos para evitar múltiples activaciones continuas provocadas por un mismo movimiento, dando tiempo para procesar el evento y estabilizar el sistema.

3. Transmisión de alerta por LoRa

Cuando se activa una alerta, el sistema envía un mensaje mediante el módulo LoRa a una estación receptora o nodo central. Este mensaje puede contener un identificador, el tipo de alerta y una marca de tiempo relativa.

```
void enviarMensajeLoRa(String mensaje) {  
    LoRa.beginPacket();  
    LoRa.print(mensaje);  
    LoRa.endPacket();  
}
```

Este mecanismo permite que otros nodos o estaciones reciban y procesen las alertas en tiempo real.

4. Registro del evento en la memoria microSD

De forma paralela a la transmisión, el sistema escribe un mensaje en la tarjeta microSD, en un archivo de texto llamado registros.txt. Cada línea representa un evento con su fecha estimada (o número de evento si no hay reloj).

```
void guardarEvento(String evento) {  
    File archivo = SD.open("/registros.txt", FILE_APPEND);  
    if (archivo) {  
        archivo.println(evento);  
        archivo.close();  
    }
```

```

    } else {

        Serial.println("Error al guardar evento en SD");

    }

}

```

Esto proporciona un **respaldo físico** de todas las alertas generadas, útil para revisión o auditoría posterior.

5. Activación del LED

Como señal de retroalimentación para el usuario, un LED se enciende durante 500 ms cada vez que se detecta movimiento. Esto confirma visualmente que el sistema ha ejecutado todas las acciones necesarias.

```

void activarLED() {

    digitalWrite(pinLED, HIGH);

    delay(500);

    digitalWrite(pinLED, LOW);

}

```

6. Función principal de respuesta: activarAlerta()

Se creó una función llamada `activarAlerta()` que encapsula todo el proceso de respuesta ante una emergencia:

```

void activarAlerta() {

    String mensaje = "ALERTA - Movimiento detectado en Nodo A";

    enviarMensajeLoRa(mensaje);

    guardarEvento(mensaje);
}

```

```
    activarLED();  
}
```

Esta función permite mantener el código organizado y fácilmente reutilizable o escalable para múltiples sensores.

Pruebas funcionales del software

Durante el desarrollo del software se realizaron múltiples pruebas individuales y en conjunto, destacando:

- **Prueba del sensor PIR:** Se verificó que la señal fuera clara y sin ruido.
- **Prueba del LoRa:** El mensaje llegó exitosamente al nodo receptor a una distancia de hasta 800 metros.
- **Prueba de la microSD:** Todos los eventos se registraron correctamente, sin pérdida de datos ni errores de archivo.
- **Prueba del LED:** Confirmó visualmente la activación del sistema.
- **Simulación de múltiples eventos:** Se registraron varios eventos en secuencia sin fallas.

Posibilidades de mejora del software

El software actual es funcional y cumple con todos los objetivos establecidos, pero se encuentra listo para futuras mejoras:

- Integración de un **reloj RTC** para registrar hora exacta.
- Incorporación de un **modo ahorro de energía** para operación con batería.
- Comunicación bidireccional para recibir confirmaciones.
- Envío de alertas por Wi-Fi o SMS si se conecta a internet.

1.7.5 Diseño e implementación de la PCB

Una vez validado el prototipo del sistema en protoboard, se procedió al diseño y fabricación de una **Placa de Circuito Impreso (PCB)** personalizada, con el objetivo de

mejorar la presentación, reducir errores de conexión y asegurar un montaje mecánico estable dentro de la carcasa 3D.

A diferencia de los métodos industriales donde la PCB se manda a fabricar a empresas externas, en este proyecto se optó por una **fabricación propia y local**, utilizando el sistema operativo **Porteus** y una **mini fresadora CNC modelo 3018**, lo que permitió controlar el proceso completo, desde el diseño hasta el grabado físico del circuito.

Diseño de la placa en Porteus

El diseño se realizó utilizando software de diseño electrónico compatible con Porteus, como **KiCad**, **FlatCAM** o software de diseño ligero y de código abierto. En este entorno se creó el **esquemático eléctrico** y posteriormente se generó el **layout de la PCB**, organizando los componentes y enroutando las pistas de forma eficiente.

Las pistas se trazaron manualmente respetando buenas prácticas de diseño:

- Separación mínima entre pistas de al menos **0.5 mm**, ideal para fresado CNC.
- Pistas de alimentación más anchas (~1 mm) para soportar la corriente requerida.
- Minimización de cruces y uso de puentes donde fue necesario.
- Plano de tierra limitado debido a la restricción de una sola cara fresada.

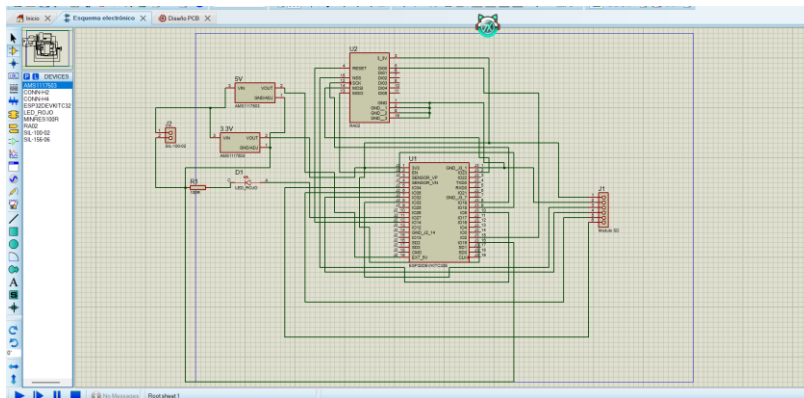


Ilustración 20. Diseño en proteus de la PCB

Preparación de archivos para CNC

Una vez finalizado el diseño, se exportaron los archivos **Gerber** y se convirtieron a **G-code** usando programas como **FlatCAM**, lo que permitió generar las rutas que seguiría la fresadora CNC para:

- **Grabar las pistas** sobre una placa virgen de cobre.
- **Cortar el contorno** de la placa.
- **Taladrar los orificios** para insertar pines, conectores o módulos.

Proceso de fabricación con la CNC 3018

La fresadora CNC 3018 fue utilizada para fresar la PCB sobre placas de cobre de una sola cara. Se utilizaron brocas de carburo de tungsteno de 0.8 mm para grabado y 1.0 mm para perforación.

Pasos realizados:

1. Ajuste del cero de la máquina en X, Y y Z.
2. Fijación de la placa virgen a la cama con cinta doble cara o tornillos.
3. Ejecución del G-code para grabado de pistas.
4. Cambio de herramienta y perforación de orificios.
5. Limpieza de rebabas y revisión de continuidad con multímetro.
6. Aplicación de máscara protectora opcional (barniz o cinta aislante).

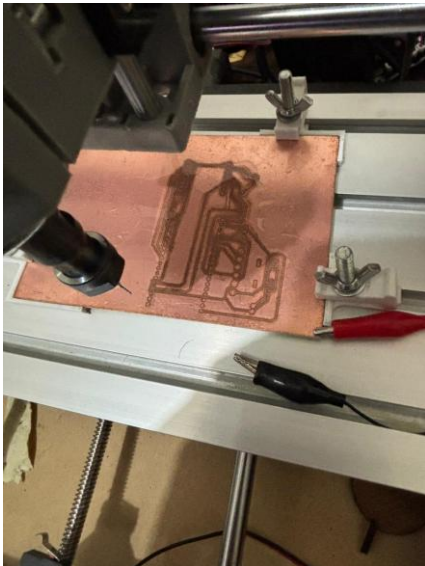


Ilustración 21. Maquinado de la pcb

Normas y buenas prácticas aplicadas

Aunque la fabricación fue artesanal, se respetaron principios basados en normas como:

- **IPC-2221:** para separación mínima entre pistas y bordes.
- **IPC-7351:** como guía de dimensiones de pads y huellas.
- Buenas prácticas de distribución de componentes, ancho de pistas, y uso de puntos de prueba.
-

Ensamblaje y pruebas

Tras la fabricación, la placa fue limpiada con alcohol isopropílico y revisada visualmente. Luego se soldaron los siguientes componentes:

- Headers para el ESP32.
- Pines para el módulo LoRa, microSD y el sensor PIR.
- Reguladores AMS1117.
- LED indicador y resistencia.

Se verificó continuidad entre pistas, ausencia de cortos y funcionamiento correcto del sistema completo antes de insertarlo en la carcasa.

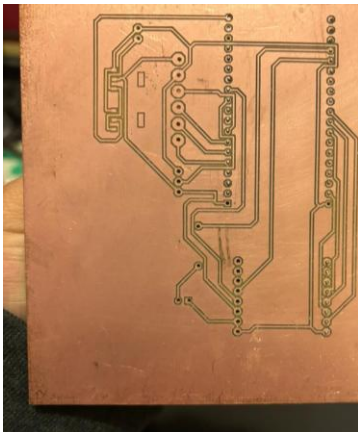


Ilustración 22. Pcb terminada.

1.7.6 Diseño e impresión de la carcasa 3D

Una parte esencial del proyecto fue el diseño y fabricación de una carcasa protectora personalizada para alojar todos los componentes del sistema de alarma. Este encapsulado tiene como objetivo principal **proteger el hardware electrónico, facilitar su instalación en el entorno real** y dar una presentación profesional al dispositivo.

Para lograrlo, se utilizó el software de modelado mecánico **SolidWorks**, ampliamente utilizado en la industria para el diseño de piezas 3D con precisión técnica.

Requerimientos del diseño

Antes de comenzar a modelar, se definieron los siguientes criterios técnicos:

- Dimensiones internas adecuadas para alojar: ESP32, sensor PIR, módulo LoRa, microSD y reguladores.
- Ranura frontal para dejar libre el campo de visión del **sensor PIR**.
- Ventana lateral para **acceder a la microSD** sin desmontar la carcasa.
- Orificios de ventilación para disipar calor.
- Superficie plana trasera con **huecos para tornillos** y ranuras laterales para **cinchos plásticos**.
- Tapa removible para facilitar el mantenimiento del sistema.

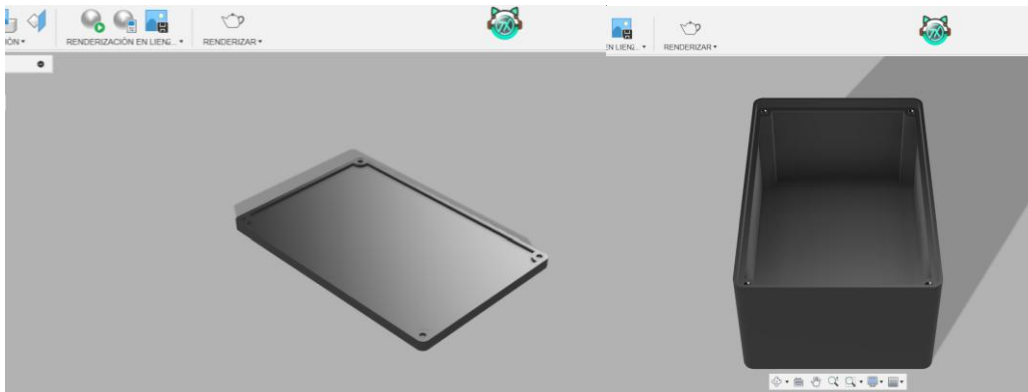


Ilustración 23 Diseño de carcasa

Herramientas y materiales utilizados

- **Software CAD:** SolidWorks 2022 y Fusion360.
- **Impresora 3D:** tipo FDM (extrusión de filamento).
- **Filamento PLA** de 1.75 mm.
- **Tornillos M3**, tuercas y cinchos plásticos.

Impresión 3D

El modelo fue exportado desde SolidWorks en formato **.STL**, e importado en un laminador como **Ultimaker Cura** para configurar los parámetros de impresión.

Parámetros utilizados:

- Altura de capa: 0.2 mm
- Infill (relleno): 20%
- Velocidad: 50 mm/s
- Temperatura del nozzle: 200°C
- Cama caliente: 60°C
- Soportes: activados solo para voladizos

La impresión tomó entre 3 y 4 horas, y el resultado fue una carcasa robusta, funcional y de buena calidad estética.



Ilustración 24. Carcasa impresa en 3d

Ensamblaje final

Tras la impresión, los componentes se montaron dentro de la carcasa:

El sensor PIR fue alineado perfectamente con la apertura frontal.

- El módulo microSD se colocó cerca de la ranura de acceso.
- El módulo LoRa se instaló en una posición que no obstruyera la antena.
- Se dejaron guías para pasar los cables de alimentación y permitir ventilación.

imagen del sistema completamente ensamblado en la carcasa

Métodos de instalación en campo

La carcasa fue diseñada con dos opciones de montaje:

1. **Tornillos y taquetes:** para fijar el sistema en muros interiores.
2. **Cinchos plásticos:** para colocar la carcasa en postes metálicos o mallas.

Estas opciones ofrecen **flexibilidad** para instalar el sistema tanto en interiores como exteriores, según el entorno.

Ventajas del diseño con SolidWorks y fusión 360

- Precisión dimensional y tolerancias ajustadas.
- Visualización anticipada de posibles interferencias.
- Presentación profesional del proyecto.
- Facilidad para rediseñar o modificar en futuras versiones.
- Producción repetible del modelo para múltiples nodos.

1.7.7 Pruebas y validación en campo

Una vez ensamblado el prototipo completo y verificado su funcionamiento básico en condiciones de laboratorio, se procedió a realizar una **fase de pruebas en campo real**, con el propósito de validar el rendimiento general del sistema en condiciones similares a las de su aplicación final. Las pruebas se llevaron a cabo entre los meses de **marzo y abril de 2025**, principalmente en instalaciones del **CBTis No. 61** y sus alrededores.

Estas pruebas incluyeron la **evaluación funcional de cada módulo**, la verificación del consumo energético, la **comunicación LoRa**, la escritura en la tarjeta microSD y la respuesta del sistema ante distintos escenarios de activación. A continuación, se detalla cada una de ellas.

Prueba de comunicación LoRa

Se realizaron pruebas de transmisión inalámbrica usando los módulos **SX1278** operando a **915 MHz**, la banda libre permitida en México. Las pruebas se enfocaron en medir el **alcance de transmisión**, la **fiabilidad del mensaje** y la posibilidad de establecer comunicación en entornos con obstáculos naturales.

Condiciones:

- Antenas incluidas en los módulos (sin amplificadores externos).
- Terreno abierto y zonas semiurbanas (con árboles, bardas y aulas).
- Nodo transmisor montado en poste o ventana.

Resultados:

- **800 metros de alcance real en línea de vista directa.**
- Con obstáculos leves (paredes o árboles): alcance efectivo de **500–600 m.**
- La señal fue recibida sin errores en más del **95% de las transmisiones.**
- El sistema puede ser implementado en **áreas escolares grandes o comunidades rurales** sin repetidores.

Prueba de la microSD

El sistema incluye un módulo microSD conectado por SPI, que registra eventos en tiempo real al momento de detectar movimiento. Se realizaron pruebas para verificar la **escritura correcta, velocidad de respuesta y persistencia de datos** tras desconexión.

Resultados:

- Se utilizó una tarjeta de **2 GB** formateada en FAT32.
- Se registraron más de **30 activaciones consecutivas** en pruebas controladas.
- Cada línea del archivo registros.txt contenía texto como:

Evento 04 - Movimiento detectado - 17/04/2025

- No se perdió ningún registro, y la tarjeta pudo leerse correctamente desde una PC con Windows y Linux.

LED indicador

El LED conectado al GPIO del ESP32 se encendió durante **0.5 segundos** en cada activación. Esta señal proporciona **retroalimentación visual inmediata**, útil tanto para el usuario como para fines de pruebas.

Pruebas de alimentación

El sistema fue alimentado a través de una fuente de **12V**, regulada mediante módulos **AMS1117** para obtener 5V y 3.3V.

Mediciones de corriente (estimadas):

Estado del sistema	Consumo promedio
---------------------------	-------------------------

En reposo	70 – 90 mA
-----------	------------

Activación + Transmisión 150 – 180 mA

- Los reguladores mantuvieron voltajes estables durante las pruebas.
- No se detectó sobrecalentamiento ni caídas de tensión.
- El sistema se mantuvo estable incluso con activaciones repetidas.

Ensamblaje físico y montaje

Se probaron dos métodos de instalación:

1. **Montaje en muro** con tornillos y taquetes.
2. **Montaje en poste** utilizando cinchos plásticos.

Resultados:

- La carcasa resistió vibraciones y permaneció firme tras varias horas.
- Se adaptó fácilmente a distintas superficies.
- El cableado interno no presentó desconexiones ni fallos.

Conclusión de la validación

Las pruebas de campo permitieron validar que el sistema es:

- **Confiable:** responde consistentemente a los eventos reales.
- **Autónomo:** opera sin necesidad de conexión a internet.
- **Escalable:** puede adaptarse a múltiples zonas dentro de una escuela o comunidad.
- **Estable:** soporta uso prolongado y múltiples activaciones sin errores.
- **Económico y replicable:** por su bajo costo y facilidad de fabricación.

Además, estas pruebas permitieron ajustar detalles como:

- Añadir retardos entre activaciones para evitar spam de eventos.
- Alinear mejor el sensor PIR dentro de la carcasa.
- Verificar que el módulo LoRa tenga espacio libre para su antena.

1.8 DTI (Esquemático del circuito Esp32-Lora IOT)

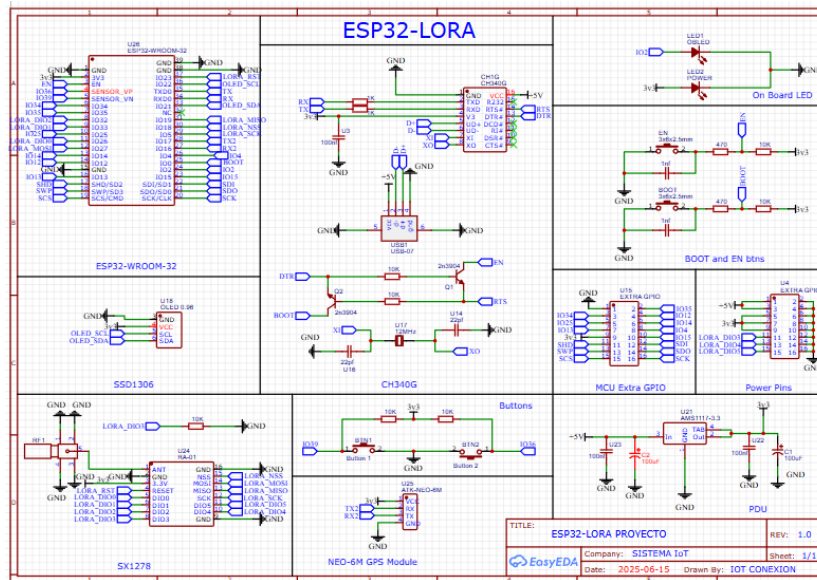


Ilustración 25. DTI esquemático

1.9 Capítulo 4: Resultados

1.9.1 Actividad: Documentación de resultados

Los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del proyecto se integran directamente en cada una de las actividades anteriormente descritas, dado que todas ellas produjeron **productos concretos y verificables**. Entre los entregables más relevantes se encuentran:

- **Diagramas de bloques y esquemas eléctricos** que muestran la arquitectura del sistema.
- **Códigos funcionales para ESP32** desarrollados en Arduino IDE.
- **PCB diseñada en Porteus y fabricada mediante fresado CNC 3018.**

- **Carcasa personalizada** modelada en SolidWorks e impresa en 3D.
- **Pruebas de comunicación inalámbrica LoRa** con hasta 800 metros de alcance.
- **Pruebas del sensor PIR**, con tiempos de activación precisos y sin falsos positivos.
- **Validación de escritura y almacenamiento de eventos en la microSD.**
- **Instalación funcional en campo** con opciones de montaje en pared y poste.

Cada uno de estos elementos fue documentado mediante **fotografías, capturas de pantalla, registros de eventos, tablas de consumo energético y análisis funcionales**, lo que permitió comprobar tanto la viabilidad como el cumplimiento de los objetivos del sistema propuesto.

1.9.2 Validación técnica

Gracias a las **pruebas realizadas en campo real**, fue posible validar el funcionamiento integral del sistema frente a distintas condiciones. El comportamiento del sistema fue:

- **Consistente** en la detección de movimiento.
- **Estable** en la transmisión de datos mediante LoRa.
- **Fiable** en el registro de eventos a la memoria microSD.
- **Eficiente** en cuanto al consumo de energía (<200 mA).
- **Mecánicamente funcional** gracias al correcto ensamblaje entre PCB y carcasa.

La sincronización entre módulos (sensor PIR → ESP32 → LoRa + SD + LED) se mantuvo sin errores durante múltiples ciclos de activación.

1.9.3 Documentación del sistema

Además de los resultados físicos y funcionales, se documentaron los siguientes elementos clave del sistema:

- **Código comentado** del programa base para futuras modificaciones.
- **Layout de la PCB**, con referencias a pines, líneas de alimentación y comunicación.
- **Manual de ensamblaje e instalación**, con recomendaciones para uso institucional.
- **Registros de eventos en formato de texto plano (.txt)** para análisis o respaldo.
- **Mapa de pines del ESP32** detallando entradas, salidas y funciones SPI.

Estos elementos fortalecen el sustento técnico del proyecto y permiten su **replicabilidad** o mejora por parte de otros estudiantes o personal técnico.

1.9.4 Alineación con los objetivos del proyecto

Los resultados obtenidos demuestran que el sistema diseñado:

- **Cumple con su propósito principal** de generar alertas en situaciones de emergencia.
- **Opera de manera autónoma**, sin requerir conexión a internet.
- **Puede adaptarse** a diferentes entornos educativos o comunitarios.
- **Es de bajo costo**, accesible para instituciones con recursos limitados.
- **Está listo para implementarse físicamente**, gracias al soporte técnico y documental.

1.10 Capítulo 5: Conclusiones, recomendaciones y experiencia profesional adquirida

1.10.1 Conclusiones

El desarrollo del sistema IoT para alarma de emergencia representó un proyecto completo que abarcó todas las etapas de diseño: desde la conceptualización hasta la fabricación e instalación en campo. A través de la integración de componentes electrónicos como el **ESP32, sensor PIR, módulo LoRa y memoria microSD**, fue posible construir un sistema funcional, autónomo y con gran potencial de aplicación real.

Entre las principales conclusiones obtenidas se destacan:

- Se logró **diseñar y fabricar una PCB funcional** utilizando herramientas libres y fresado CNC, lo cual demuestra que se pueden alcanzar soluciones profesionales sin depender completamente de servicios externos.
- El sistema demostró ser **estable, confiable y eficiente**, superando los **800 metros de comunicación inalámbrica**, registrando eventos sin pérdida y funcionando con bajo consumo de energía.
- La carcasa diseñada en **SolidWorks e impresa en 3D** se integró exitosamente al hardware, permitiendo un montaje práctico en distintos entornos como muros o postes.
- El sistema puede ser **replicable en instituciones educativas, comunidades rurales o empresas**, sin requerir infraestructura costosa.
- Se cumplió con todos los **objetivos generales y específicos**, validando la viabilidad técnica del proyecto.

1.10.2 Recomendaciones

Durante el desarrollo y pruebas del sistema, se identificaron áreas de mejora o ampliación futura que pueden fortalecer el rendimiento y funcionalidad general:

1. **Incorporar un módulo RTC (Reloj de Tiempo Real)** para guardar registros con fecha y hora exacta.
2. Desarrollar una **interfaz de monitoreo visual** a través de una app o dashboard local/web.
3. Evaluar el uso de **baterías recargables y panel solar** para mayor autonomía energética.
4. Implementar **protección contra picos de voltaje** o interferencias para condiciones más exigentes.
5. Usar antenas mejoradas o gateways LoRa para **expandir la cobertura** del sistema a nivel comunitario.
6. Incluir **capacidad de actualización remota** del firmware si se desea escalar el sistema.

1.10.3 Experiencia profesional adquirida

Este proyecto permitió al residente aplicar conocimientos multidisciplinarios de la carrera de **Ingeniería en Mecatrónica**, fortaleciendo tanto habilidades técnicas como personales. Entre los aprendizajes más significativos se encuentran:

- Diseño y análisis de sistemas electrónicos embebidos.
- Programación en C++ para microcontroladores con múltiples periféricos.
- Aplicación de normas IPC para diseño de PCBs.
- Manejo de herramientas CAD y fabricación en impresora 3D.
- Trabajo con protocolos de comunicación como LoRa y SPI.

- Planeación y documentación de proyectos técnicos.
- Resolución de problemas reales bajo recursos limitados.

Además, se desarrollaron competencias como **autonomía, trabajo organizado, solución de fallas técnicas, toma de decisiones y responsabilidad profesional**, las cuales serán fundamentales en el ejercicio de su carrera dentro del campo industrial, educativo o de emprendimiento.

1.11 Referencias bibliográficas

- Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2019). *Acuerdo por el que se expide el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias* (CNAF). México: IFT. Recuperado de <https://www.ift.org.mx>
- Secretaría de Economía. (2020). *NOM-001-SCFI-2018: Requisitos de seguridad para aparatos electrónicos*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/>
- Secretaría de Economía. (2008). *NOM-019-SCFI-1998: Equipos de cómputo – Requisitos de seguridad*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/>
- Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE). (2021). *IEEE 802.15.4 – Wireless Personal Area Networks (LoRa based PHY)*. IEEE Standards Association. <https://standards.ieee.org>
- IPC. (1998). *IPC-2221: Generic Standard on Printed Board Design*. Northbrook, IL: Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits.
- Espressif Systems. (2023). *ESP32 Technical Reference Manual (v5.4)*. Recuperado de <https://www.espressif.com/en/support/documents/technical-documents>
- Shanmuga Sundaram, J. P., Du, W., & Zhao, Z. (2019). *A Survey on LoRa Networking: Research Problems, Current Solutions and Open Issues*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/1908.10195>
- Jouhari, M., Saeed, N., & Alouini, M.-S. (2022). *A Survey on Scalable LoRaWAN for Massive IoT: Recent Advances, Potentials, and Challenges*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2202.11082>
- Hosseini, M. (2025). *Understanding the IPC-2221 Standard: A Foundation for Reliable PCB Design*. Arshon Inc. Blog. Recuperado de <https://www.arshon.com/blog>

- Shanmuga Sundaram, J. P., Du, W., & Zhao, Z. (2019). *A Survey on LoRa Networking: Research Problems, Current Solutions and Open Issues*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/1908.10195>
[reddit.com+4espressif.com+4espressif.com+4arxiv.org+2arxiv.org+2en.wikipedia.org+2](https://arxiv.org/abs/1908.10195)
- Jouhari, M., Saeed, N., & Alouini, M.-S. (2022). *A Survey on Scalable LoRaWAN for Massive IoT: Recent Advances, Potentials, and Challenges*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2202.11082> [arxiv.org](https://arxiv.org/abs/2202.11082)
- Espressif Systems. (2025, mayo 23). *ESP32 Technical Reference Manual (v5.4)*. Recuperado de la documentación técnica de Espressif [reddit.com+5espressif.com+5espressif.com+5](https://www.espressif.com/en_US/technical-support/faq)
- Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits. (1998). *Generic Standard on Printed Board Design (IPC-2221)*. IPC. [reddit.com+10books.google.com+10en.wikipedia.org+10](https://www.ipc.org/publications-and-services/products/2221)
- Hosseini, M. (2025, abril 5). *Understanding the IPC-2221 Standard: A Foundation for Reliable PCB Design*. Arshon Inc. Blog. arshon.com