



# **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE ESCUINAPA**

**Reporte de Estadía para obtener el Título de Técnico Superior Universitario  
en Mecatrónica Área de automatización**

**Periodo 2023 – 2025**

**“Propuesta de un sistema inteligente anti:-incendios con Arduino  
para precalentadores regenerativos en la central termoeléctrica  
José Aceves Pozos”**

**Realizado en la Empresa  
Central Termoeléctrica José Aceves Pozos**

**Presentado Por:  
Daniel Alejandro Trillo Lapizco**

**Asesor Académico: Ing. Pedro Ernesto Luna González  
Asesor Industrial: CHRISTIAN GUADALUPE GUERRERO GUERRERO**

**Mazatlán Sinaloa a 22 de marzo del 2025**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi mamá y papá quienes son el motor de mi vida, a mi familia y a mis amigos y personas que alguna vez se preocuparon por mi salud y bienestar y a todos los profesores que he tenido durante toda mi formación académica.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco profundamente a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este proyecto de estadía y, por ende, de este informe.

En primer lugar, expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Tecnológica de Escuinapa, por brindarme la oportunidad de desarrollar mis conocimientos en un entorno profesional y por el apoyo académico constante durante mi formación.

De manera especial, extiendo mi gratitud a la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos, donde realicé mi estadía. Agradezco la confianza depositada en mí para llevar a cabo el proyecto “Propuesta de un sistema inteligente antiincendios con Arduino para precalentadores regenerativos en la central termoeléctrica José Aceves Pozos” y la invaluable experiencia práctica obtenida.

Mi más profundo agradecimiento a mi asesor empresarial Christian Guerrero, por su guía, paciencia, valiosa retroalimentación y tiempo dedicado, lo cual fue fundamental para el desarrollo exitoso de este trabajo. Asimismo, agradezco al equipo del departamento de Instrumentación y programación por su disposición a compartir conocimientos y por el ambiente colaborativo que facilitó mi aprendizaje.

Finalmente, agradezco a mi asesor académico Pedro Ernesto Luna Gonzalez por su orientación, seguimiento y apoyo durante todo el proceso de la estadía y en la elaboración de este documento.

A todos ellos, gracias por contribuir significativamente a mi desarrollo profesional y personal.

## **RESUMEN**

Este proyecto de estadías propone el diseño y desarrollo de un sistema inteligente antiincendios basado en la plataforma Arduino, enfocado en la protección de los precalentadores regenerativos de la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos. El objetivo principal es mejorar significativamente la seguridad operativa y la eficiencia preventiva ante posibles conatos de incendio en equipos críticos que, por su naturaleza, presentan riesgos inherentes asociados a altas temperaturas y acumulación de residuos, como se ha observado en estudios previos dentro de la misma central.

La metodología a seguir contempla una fase inicial de investigación profunda para identificar los riesgos específicos en los precalentadores, mediante la revisión de reportes técnicos y, si es posible, entrevistas con el personal operativo de la central. Posteriormente, se realizará la selección y justificación de sensores adecuados que sean compatibles con el microcontrolador Arduino, garantizando una detección temprana y precisa.

El diseño del sistema incluirá la arquitectura de hardware y el desarrollo de la lógica de programación en Arduino. Este software será capaz de procesar las señales de los sensores para identificar condiciones de riesgo de incendio y, de forma autónoma, activar alarmas visuales y sonoras.

La validación del sistema se realizará mediante la simulación de condiciones de incendio en un entorno controlado, permitiendo verificar la efectividad de la detección y la respuesta automática del prototipo. Los resultados esperados incluyen un prototipo funcional que demuestre la viabilidad técnica de la solución propuesta, un análisis de su potencial impacto en la reducción de pérdidas económicas y riesgos operativos, y la contribución a la continuidad del servicio eléctrico en la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos.

Palabras Clave: Arduino, Sistema Antiincendios, Precalentadores Regenerativos, Seguridad Industrial, Termoeléctrica, Detección Temprana.

## **ABSTRACT**

This internship project proposes the design and development of an intelligent fire protection system based on the Arduino platform, focused on the protection of the regenerative preheaters at the José Aceves Pozos Thermoelectric Plant. The main objective is to significantly improve operational safety and preventative efficiency against potential fires in critical equipment that, by their nature, present inherent risks associated with high temperatures and waste accumulation, as observed in previous studies within the plant itself.

The methodology to be followed includes an initial phase of in-depth research to identify specific risks in the preheaters, through the review of technical reports and, if possible, interviews with the plant's operating personnel. Subsequently, the selection and justification of suitable sensors (e.g., IR flame sensor, DHT22 for temperature and humidity, and MQ-2 for flammable gas detection) that are compatible with the Arduino microcontroller will be carried out, ensuring early and accurate detection. The system design will include the hardware architecture (connection diagrams in CAD software) and the development of the programming logic in Arduino.

This software will be able to process sensor signals to identify fire risk conditions and autonomously activate visual and audible alarms. System validation will be carried out by simulating fire conditions in a controlled environment, allowing verification of the prototype's detection effectiveness and automatic response. Expected results include a functional prototype demonstrating the technical feasibility of the proposed solution, an analysis of its potential impact on reducing economic losses and operational risks, and its contribution to the continuity of electrical service at the José Aceves Pozos Thermoelectric Plant.

**Keywords:** Arduino, Fire Prevention System, Regenerative Preheaters, Industrial Safety, Thermoelectric, Early Detection.

## ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	vii
I. INTRODUCCIÓN	9
II. ANTECEDENTES	11
III. PROPUESTA DE PROYECTO	14
IV. FUNDAMENTOS	24
V. DESARROLLO	37
VI. RESULTADOS	66
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
VIII. BIBLIOGRAFÍA	71
IX. ANEXOS	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Triángulo de fuego.

Figura 2 ESP 32.

Figura 3 Detector de Humo MQ5.

Figura 4 Sensor de temperatura Dht 11.

Figura 5 Sensor IR de flama.

Figura 6 Buzzer.

Figura 7 Leds.

Figura 8 LCD con módulo I2C.

Figura 9 Red de comunicación Blink.

Figura 10 Central Termoeléctrica José Aceves pozos.

Figura 11 Proceso de Generación de energía.

Figura 12 Diagrama de dispositivos.

Figura 13 Diagrama de conexión.

Figura 14 Lista de conexiones.

Figura 15 Diagrama de flujo.

Figura 16 código de los parámetros.

Figura 17 Código de autenticación de blynk.

Figura 18 Captura de configuración de Blynk.

Figura 19 Panel de visualización de datos en Web.

Figura 20 Prototipo armado y funcional.

Figura 21 Pantalla LCD funcional.

Figura 22 Aplicación móvil funcional.

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de Componentes Sensores Seleccionados.

Tabla 2: Pruebas de detección

## ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

PAR's .- Precalentadores de aire regenera.

CFE .- Comisión Federal de la Electricidad.



## **1. INTRODUCCIÓN**

La seguridad operativa y la eficiencia energética son pilares fundamentales en el funcionamiento de cualquier infraestructura crítica, y las centrales termoeléctricas no son la excepción. El presente proyecto de estadías se desarrollará en la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos, una pieza clave en la infraestructura energética de México, operada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Esta entidad se dedica a la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, siendo su giro principal el suministro de electricidad para el servicio público nacional, garantizando la estabilidad y continuidad del suministro eléctrico a millones de usuarios.

La Central Termoeléctrica José Aceves Pozos, ubicada estratégicamente en Mazatlán, Sinaloa, cuenta con una capacidad instalada de 616 MW, distribuida en tres unidades turbogeneradoras: dos de 158 MW y una de 300 MW. El proceso de generación de energía en esta central se basa en la combustión de combustóleo y gas licuado para producir vapor a alta presión y temperatura, el cual impulsa las turbinas que, a su vez, activan los generadores para producir electricidad. Dentro de este complejo proceso, existen diversas áreas críticas como el generador de vapor (caldera), las turbinas de alta, intermedia y baja presión, el condensador principal, y los precalentadores regenerativos.

El área de enfoque de este proyecto son precisamente los precalentadores regenerativos, equipos esenciales en el ciclo térmico de la central. Su importancia radica en que recuperan el calor residual de los gases de escape para precalentar el aire de combustión, lo que se traduce en una mejora sustancial de la eficiencia del generador de vapor y una reducción en el consumo de combustible. Sin embargo, la operación continua de estos precalentadores los expone a condiciones extremas de temperatura y a la acumulación de depósitos, lo que puede provocar daños en sus sellos y canastas, resultando en fugas de aire-gases y una mala combustión. Estas

condiciones no solo afectan la eficiencia de la unidad, sino que también aumentan el riesgo inherente de ignición y propagación de incendios en un entorno altamente combustible.

Ante esta problemática, el objetivo general de este proyecto de estadías es proponer y diseñar un sistema inteligente antiincendios basado en la plataforma Arduino para la detección y mitigación temprana de conatos de incendio en los precalentadores regenerativos de la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos.

Para lograr este objetivo, se seguirá un enfoque estructurado. Inicialmente, se llevará a cabo una investigación exhaustiva para identificar los riesgos de incendio específicos y puntos críticos en los precalentadores. Posteriormente, se procederá a la selección y justificación de sensores adecuados para la detección de flama, temperatura y gases, garantizando su compatibilidad con el microcontrolador Arduino. El diseño abarcará tanto el esquema de conexión eléctrica del hardware utilizando software CAD como el desarrollo de la lógica de programación en Arduino, que permitirá al sistema procesar datos, activar alarmas visuales y sonoras, y simular la activación de mecanismos de respuesta. Se integrará un módulo de comunicación inalámbrica para el envío de alertas remotas al personal técnico, y se desarrollará una interfaz básica para la visualización en tiempo real de los parámetros. La viabilidad y eficacia del sistema se verificarán mediante simulaciones de condiciones de incendio en un entorno controlado.

Se espera que este proyecto de estadías no solo demuestre la viabilidad técnica de una solución innovadora para la seguridad industrial, sino que también proponga un sistema capaz de mejorar significativamente la capacidad de respuesta de la central ante emergencias, contribuyendo a la protección del personal y de la infraestructura crítica, y minimizando las interrupciones operativas y las pérdidas económicas asociadas a incendios

## **2. ANTECEDENTES**

El estudio de la eficiencia y la seguridad operativa en la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos ha sido una constante, dada la importancia de sus unidades generadoras en el suministro eléctrico nacional. Históricamente, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha implementado programas orientados a la mejora del desempeño y la competitividad de sus centrales. Dentro de este marco, se ha puesto énfasis en la "Mejora de la Eficiencia Térmica en las Unidades Generadoras", lo cual incluye la realización de diagnósticos energéticos antes y después de los mantenimientos mayores para evaluar el desempeño térmico e identificar las causas de desviación de eficiencia.

En este contexto, se han realizado análisis exhaustivos en la Unidad 2 donde estos diagnósticos han revelado problemas de ineficiencia en la generación de energía y desviaciones térmicas debido a la falta de mantenimiento de diversos equipos, impidiendo que la unidad desarrolle su máximo potencial. Particularmente, se han identificado afectaciones en el Régimen Térmico Bruto de la unidad debido a causas internas, entre las cuales destacan las fugas en los Precalentadores Regenerativos (PAR's) y el ensuciamiento del generador de vapor. Específicamente, se ha notado un taponamiento en los sellos de los PAR's y en los elementos de la caldera por ensuciamiento, así como la presencia de hollín en los filtros de caja de aire, lo que provoca una mala combustión. Estas condiciones no solo impactan la eficiencia (como se observa en las pérdidas de eficiencia del generador de vapor y el aumento de las fugas de aire en los PAR's ), sino que también incrementan significativamente el riesgo de eventos no deseados, como los incendios.

Si bien la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos ha implementado protocolos de seguridad y procedimientos para la detección y mitigación de riesgos operativos, la introducción de un sistema inteligente antiincendios basado en tecnologías emergentes como Arduino representa un enfoque innovador que va más allá de los diagnósticos post-mantenimiento para enfocarse en la prevención y detección temprana

automatizada. Hasta la fecha de este proyecto, no existen antecedentes directos de la implementación de un sistema de esta naturaleza, que combine la automatización de bajo costo y la capacidad de monitoreo inteligente, específicamente dirigido a los precalentadores regenerativos en esta central. Por lo tanto, este proyecto constituye una iniciativa pionera para abordar un punto crítico de riesgo desde una perspectiva tecnológica avanzada.

“En términos formales, Arduino es una plataforma de hardware libre -creada por David Cuartielles y Massimo Banzi- basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, y fue ideada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios, tanto para entusiastas como para expertos”. (Millahual, 2017, pág.28)

Por otra parte, en forma simplificada, podemos mencionar que Arduino es una plataforma de hardware de código abierto, que basa su funcionamiento en una placa con entradas y salidas (analógicas y digitales), con un entorno de desarrollo que incorpora todo lo que necesitamos para crear nuestros programas. (Millahual, 2017, pág.28)

“Mecánica, Electricidad, Electrónica, Sistemas, Neumática, Hidráulica e Instrumentación, han ayudado a mejorar la productividad y eficiencia de los procesos, es ahí donde a partir del desarrollo de la electrónica se hizo posible el desarrollo de controles automatizados digitales, tales como el PLC (Controles Lógicos Programables), el CNC (Control Numérico Computarizado) y las HMI (Interfaz Hombre Máquina).” (Secretaría de Educación Pública, 2017, pág.8) Sin embargo, con el advenimiento del Internet de las Cosas (IoT) y el creciente interés en la industria 4.0, la integración de plataformas como Arduino en sistemas de monitoreo de bajo costo y alta flexibilidad se ha vuelto una tendencia. Proyectos similares han demostrado la eficacia de soluciones basadas en microcontroladores para la detección de anomalías en entornos complejos. “Los sistemas de seguridad contra incendios basados en el IoT, que integran sensores, dispositivos y protocolos de comunicación de vanguardia, se perfilan como una luz de esperanza. Prometen una mayor eficiencia en la gestión de incendios, desde la detección hasta la evacuación, gracias al análisis de datos en

tiempo real.” (AlQahtani et al., 2025, 4)

Uno de los aspectos más importantes para seleccionar un detector de fuego y/o gas adecuado es realizar un minucioso estudio del área, dando lugar a una exacta ubicación del mismo dentro de la clasificación descrita en este trabajo. “Esta actividad trae como beneficio la optimización para la protección del área dando prioridad a la confiabilidad del equipo y la integridad del sistema, el mismo que está certificado con los más altos estándares de seguridad y calidad como Exida, TUV / IEC-61508. FMEDA”. (FREIRE LUNA, 2012, pág.240)

Estos estudios previos resaltan la viabilidad técnica de combinar múltiples tipos de sensores para una detección más robusta y fiable, puntos muy importantes para tomar en consideración al diseñar un sistema para un entorno crítico como el de una termoeléctrica.

La necesidad de un sistema proactivo en los precalentadores regenerativos se alinea con las recomendaciones internas de la CFE, que han identificado la importancia de la calibración de instrumentos y la rehabilitación de los PAR's debido a daños en canastas y sellos. “Cuando el control convencional presenta problemas, por no ser el proceso bien conocido, ser complejo, presentar importantes retardos y grandes perturbaciones e interacciones y ser marcadamente no lineal, la alternativa es el control avanzado”. (Prieto & Alonso, 2007, pág.67) La presente propuesta busca capitalizar estas tecnologías y antecedentes para desarrollar una solución que aborde directamente el riesgo de incendio, aportando información muy valiosa para la mejora continua de la seguridad y eficiencia de la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos.

### **3. PROPUESTA DE PROYECTO**

#### **3.1 Planteamiento del problema**

La Central Termoeléctrica José Aceves Pozos, como parte fundamental de la infraestructura energética de la CFE, opera con unidades turbogeneradoras de alta capacidad, siendo la Unidad 2 una de las de mayor relevancia operativa. Históricamente, la operación de estas unidades ha sido objeto de constantes monitoreos y diagnósticos energéticos, cuyo objetivo es mantener la eficiencia y la disponibilidad. Sin embargo, en la Unidad 2, se han manifestado diversos problemas que han causado ineficiencia en la generación de energía, impidiendo que la unidad desarrolle su máximo potencial. Estos problemas se atribuyen principalmente a la falta de mantenimiento oportuno en diversos equipos que componen la unidad generadora.

Dentro del complejo sistema de la central, los precalentadores regenerativos (PAR's) desempeñan un rol crucial en la mejora de la eficiencia térmica al recuperar el calor de los gases de escape para precalentar el aire de combustión. A pesar de su importancia, la operación de estos equipos conlleva riesgos inherentes que, si no se gestionan adecuadamente, pueden conducir a situaciones críticas. Específicamente, los diagnósticos energéticos y las evaluaciones internas han revelado que los PAR's de la Unidad 2 presentan daños en canastas y sellos debido al ensuciamiento del generador de vapor, así como la presencia de hollín en los filtros de caja de aire, lo que resulta en una mala combustión y una caída de presión en el flujo aire-gas.

La consecuencia directa de estos problemas técnicos es una serie de desviaciones en el comportamiento operativo de la unidad, que incluyen una pérdida significativa en la eficiencia del generador de vapor y un aumento alarmante en las fugas de aire en los PAR's. Estas condiciones de operación deterioradas no solo conllevan a un incremento en el consumo de combustible y un impacto económico considerable debido al costo

adicional de generación, sino que, lo más crítico, elevan sustancialmente el riesgo de incidentes mayores, como los incendios.

El problema central a resolver es la carencia de un sistema proactivo e inteligente para la detección temprana y mitigación automática de conatos de incendio en los precalentadores regenerativos de la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos. Actualmente, los mecanismos de monitoreo pueden depender en gran medida de inspecciones periódicas o de la detección de anomalías sólo cuando los problemas de eficiencia ya son evidentes y las condiciones de riesgo se han exacerbado. Esto implica un tiempo de respuesta potencialmente lento ante la aparición de un foco de incendio, lo que podría resultar en:

- Daños materiales severos: La propagación del fuego en equipos de alto valor y complejos, como los precalentadores, puede causar daños irreparables, requiriendo costosas reparaciones o reemplazos.
- Riesgos para la seguridad del personal: La exposición del personal a un incendio en una central termoeléctrica representa un grave peligro.
- Pérdidas económicas y operativas: Un incendio puede generar paradas no programadas de la unidad, interrumpiendo la generación de energía, lo que conlleva pérdidas económicas significativas por la falta de producción y los costos asociados a la emergencia y la recuperación.
- Impacto ambiental: Los incendios pueden liberar contaminantes adicionales al ambiente, afectando la imagen y el cumplimiento normativo de la empresa.

La situación actual evidencia la necesidad imperante de desarrollar un sistema que permita una vigilancia continua, una detección inmediata y una respuesta automatizada ante los primeros indicios de un incendio en los precalentadores regenerativos. Un sistema con estas características, que utilice tecnología moderna y de bajo costo como Arduino, justificaría su implementación por su capacidad para prevenir desastres, proteger activos críticos y salvaguardar la vida del personal, contribuyendo directamente a la fiabilidad y sostenibilidad de la operación de la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos.

## **3.2 Objetivos**

### **3.2.1 Objetivo general**

Proponer y diseñar un sistema inteligente anti-incendios basado en la plataforma Arduino para la detección temprana y mitigación automática de conatos de incendio en los precalentadores regenerativos de la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos, con el fin de mejorar la seguridad operativa y la protección de los activos críticos durante el periodo de estadía.

### **3.2.2 Objetivos específicos**

- Identificar los riesgos de incendio específicos en los precalentadores regenerativos mediante revisión de reportes técnicos y entrevistas con personal operativo de la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos.
- Seleccionar y justificar los sensores adecuados (ej. sensor de flama IR, DHT22, MQ-2) para la detección temprana de fuego, temperatura y gases, compatibles con la plataforma Arduino.
- Diseñar el esquema de conexión eléctrica y la arquitectura del hardware del sistema inteligente antiincendios.
- Programar el microcontrolador Arduino con un algoritmo que permita detectar condiciones de incendio y activar alarmas visuales, sonoras y simular mecanismos de respuesta.
- Incorporar un módulo de comunicación (ej. WiFi o Bluetooth) al sistema para el envío de alertas remotas al personal técnico.
- Simular condiciones de incendio en un entorno controlado (prototipo a escala o simulador) para verificar la respuesta automática y la eficiencia del sistema propuesto.
- Desarrollar una interfaz básica (LCD o consola serial) que permita visualizar en tiempo real los valores de los sensores y el estado del sistema.



### **3.3 Justificación**

La implementación de un sistema inteligente antiincendios en los precalentadores regenerativos de la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos se justifica plenamente por su imperante necesidad de mejorar la seguridad operativa y la protección de los activos críticos en un entorno industrial de alto riesgo. La Central, al ser una de las principales generadoras de electricidad para la CFE, no solo sostiene la actividad productiva de una vasta región, sino que su estabilidad y eficiencia inciden directamente en la calidad del servicio energético nacional.

Actualmente, las condiciones operativas de los precalentadores regenerativos presentan desafíos significativos. Estudios internos han revelado que estos equipos son susceptibles a problemas como el ensuciamiento de canastas y sellos, así como fugas de aire-gases, lo que conduce a una combustión deficiente y una pérdida considerable de eficiencia. Estas desviaciones, aunque monitoreadas a través de diagnósticos energéticos, representan un riesgo latente de incendio, dado el ambiente de altas temperaturas y la presencia de combustibles. Un conato de incendio en esta área puede escalar rápidamente, causando daños materiales severos, pérdidas económicas millonarias por la interrupción de la generación y, lo más importante, poner en peligro la integridad física del personal.

La realización de este proyecto de estadías, al proponer un sistema inteligente con Arduino, se alinea directamente con las razones y motivos por los cuales vale la pena invertir en soluciones preventivas. Permite una detección temprana y una respuesta automatizada que los sistemas convencionales podrían no ofrecer, minimizando la propagación del fuego y los daños asociados. Esto se traduce en una reducción significativa de los costos de reparación y mantenimiento correctivo, los cuales, como lo demuestran los diagnósticos previos de la Central, pueden ascender a cifras considerables (ej. un costo adicional de generación estimado en \$46.94 millones de pesos por año debido a ineficiencias antes del mantenimiento). Al prevenir un incidente mayor, el proyecto contribuye a la continua operación de la Central, garantizando la estabilidad del suministro eléctrico y la consecuente satisfacción de los usuarios.

Los beneficiarios directos de este proyecto son múltiples. En primer lugar, la Central

Termoeléctrica José Aceves Pozos (CFE) se verá favorecida por una mejora en la seguridad de sus instalaciones, la protección de su inversión en equipos críticos y la optimización de sus indicadores de eficiencia y disponibilidad. El personal operativo y de mantenimiento se beneficiará al trabajar en un entorno más seguro, con alertas más rápidas y una menor exposición a riesgos. Indirectamente, los consumidores de energía eléctrica también se benefician de una mayor fiabilidad en el suministro.

Esta propuesta de solución es factible de realizar en el tiempo y forma establecidos para una estadía. La plataforma Arduino es una tecnología de bajo costo y fácil acceso, con una amplia comunidad de soporte y librerías que facilitan el desarrollo de prototipos. Los sensores de flama, temperatura y gas son componentes estándar y económicos, adecuados para la simulación y demostración del concepto. La implementación de comunicación inalámbrica (WiFi o Bluetooth) es alcanzable con módulos disponibles comercialmente.

El proyecto es importante porque aborda una necesidad crítica en el contexto actual de la industria energética, donde la eficiencia y la seguridad son prioritarias. Representa un reto técnico al requerir la integración de hardware y software, el desarrollo de lógica de control, y la aplicación de principios de ingeniería para resolver un problema real y complejo. Finalmente, la solución es precisa porque se enfoca en la detección temprana de anomalías específicas en los precalentadores, lo que permite una intervención rápida y eficaz. Se espera que los resultados positivos incluyan la demostración de la capacidad del sistema para detectar condiciones de riesgo, activar alarmas y simular acciones de mitigación, sentando las bases para una futura implementación a gran escala que contribuya a la resiliencia operativa de la central.

### **3.4 Metodología.**

La implementación de un sistema inteligente antiincendios para los precalentadores regenerativos de la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos se abordará a través de la metodología de Cascada. Esta metodología, de naturaleza lineal y secuencial, es ideal para proyectos donde los requisitos están bien definidos desde el inicio y el

desarrollo avanza de una fase a la siguiente solo después de que la anterior ha sido completamente terminada y validada. Así, esta metodología permitirá la concepción, desarrollo y validación de la solución propuesta de manera estructurada, asegurando su viabilidad técnica y alineación con los objetivos específicos planteados.

### **Fase 1: Análisis de Requisitos (Semanas 1-2)**

Esta fase inicial es crucial para identificar los riesgos de incendio específicos en los precalentadores regenerativos, sentando las bases del sistema.

#### **Técnicas y Procedimientos:**

**Revisión de Reportes Técnicos:** Se realizará una revisión exhaustiva de documentos internos de la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos, como diagnósticos energéticos previos que detallen las ineficiencias y fallas en los precalentadores regenerativos, como el "Diagnóstico energético antes del mantenimiento de la U2 Central Termoeléctrica: José Aceves Pozos". Se buscará información sobre la incidencia de problemas como el ensuciamiento de canastas y sellos, fugas de aire-gases y mala combustión, que son precursores de riesgos de incendio. Se identificarán los puntos críticos de riesgo, las temperaturas de operación nominales y anómalas, y los tipos de residuos generados.

**Entrevistas con Personal Operativo:** Se buscará obtener información de primera mano del personal de la central, incluyendo ingenieros y técnicos que operan y mantienen los precalentadores regenerativos. El objetivo es comprender sus experiencias con situaciones de riesgo, los procedimientos de seguridad actuales y las necesidades insatisfechas en cuanto a sistemas de detección y alerta temprana. Esto permitirá validar la información documental y agregar una perspectiva práctica a la definición de riesgos.

**Herramientas y Recursos:** Acceso a la base de datos de reportes técnicos de la CFE, formatos de producción como el FNP-16 para datos operativos, literatura especializada en seguridad industrial y análisis de riesgos en termoeléctricas.

## **Fase 2: Diseño del Sistema (Hardware y Software) (Semanas 3-5)**

Una vez que los requisitos estén completamente definidos y validados, se procederá al diseño detallado del sistema inteligente. Este paso abarca la selección y justificación de los sensores adecuados y el diseño del esquema de conexión eléctrica y la arquitectura del hardware utilizando software CAD.

### **Técnicas y Procedimientos:**

**Selección y Justificación de Componentes Electrónicos:** Basado en los riesgos identificados en la Fase 1, se investigarán las opciones de sensores y actuadores disponibles en el mercado. Para la detección de fuego, se seleccionará un sensor de flama IR (ej. módulo KY-026) debido a su rápida respuesta a la radiación infrarroja emitida por las llamas. Para la detección de cambios de temperatura y humedad, se optará por el sensor **DHT22**, reconocido por su precisión y rango de medición, crucial para identificar sobrecalentamientos anómalos. Para la detección de gases combustibles y humo, se elegirá un **sensor MQ-2** por su sensibilidad a una amplia gama de gases inflamables (metano, propano, butano) y humo, que son indicativos de una combustión incompleta o inicio de incendio. Todos los sensores serán compatibles con la plataforma Arduino.

**Diseño del Esquema de Conexión Eléctrica y Arquitectura del Hardware:** Se elaborará un diagrama de bloques general del sistema, mostrando la interconexión entre el microcontrolador Arduino (se considerará el uso de un Arduino Uno o ESP32, dependiendo de las necesidades de conectividad), los sensores seleccionados, los actuadores (módulos de relé para simular la activación de contramedidas, LEDs para alarmas visuales y un buzzer/sirena para alarmas sonoras) y los módulos de comunicación. Posteriormente, se diseñarán los esquemas de conexión eléctrica detallados de cada componente con el Arduino.

**Diseño de la Lógica de Programación (Algoritmo):** Se desarrollarán diagramas de flujo y pseudocódigo que especifiquen la secuencia de operación del sistema, incluyendo la lectura de datos de los sensores, la lógica de decisión para la detección de condiciones de incendio (basada en umbrales y la combinación de lecturas de

múltiples sensores para evitar falsas alarmas), y las acciones a tomar (activación de alarmas, envío de alertas).

### **Herramientas y Recursos:**

**Software CAD:** Fritzing para el diseño esquemático y la visualización de la conexión de componentes.

**Software de Diagramación:** Draw.io o Lucidchart para los diagramas de bloques y flujo del algoritmo.

Hojas de datos (datasheets) de los sensores y módulos electrónicos seleccionados.

Catálogos de componentes electrónicos.

### **Fase 3: Implementación y Desarrollo del Prototipo (Semanas 6-8)**

Con el diseño completo y aprobado, se procederá a la construcción y programación del prototipo funcional. Esta fase se enfoca en programar el microcontrolador Arduino e incorporar el módulo de comunicación.

### **Técnicas y Procedimientos:**

**Ensamblaje del Hardware:** Se montarán físicamente los componentes seleccionados en una protoboard o placa de desarrollo, siguiendo los esquemas eléctricos diseñados en la fase anterior. Se asegurarán todas las conexiones y la correcta alimentación eléctrica del circuito.

**Programación del Microcontrolador Arduino:** Se escribirá el código fuente en el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino (utilizando lenguaje C/C++). El código implementará la lógica de control definida, gestionará la lectura de datos de los sensores (flama IR, DHT22, MQ-2), procesará esta información para detectar condiciones de incendio y activará los actuadores (LEDs y buzzer/sirena).

**Incorporación del Módulo de Comunicación:** Se integrará y programará un módulo de comunicación al Arduino. Este módulo permitirá el envío de datos de los sensores y alertas de incendio de forma remota al personal técnico, facilitando un monitoreo a distancia.

**Desarrollo de Interfaz Básica:** Se programará una interfaz de usuario elemental para la visualización en tiempo real de los valores de los sensores y el estado del sistema.

Esto se realizará a través de una pantalla LCD conectada al Arduino o mediante la consola serial del IDE, proporcionando una retroalimentación inmediata sobre las lecturas del sistema.

#### **Herramientas y Recursos:**

**Hardware:** Placa(s) Arduino (ESP32), sensores (flama IR, DHT22, MQ-2), módulos de relé, buzzer/sirena, LEDs, protoboard, cables jumper, fuente de alimentación.

**Software:** IDE de Arduino.

Computadora con el software necesario para programación y depuración.

#### **Fase 4: Verificación y Pruebas (Semanas 9-10)**

Una vez que el prototipo esté desarrollado, se realizarán pruebas exhaustivas para asegurar que cumpla con los requisitos establecidos y los objetivos de detección. Esta fase se centra en simular condiciones de incendio en un entorno controlado para verificar la respuesta automática y la eficiencia del sistema propuesto.

#### **Técnicas y Procedimientos:**

**Simulación de Escenarios de Incendio:** Se diseñarán y ejecutarán pruebas controladas en un entorno de laboratorio. Esto incluirá la exposición gradual del sensor de flama IR a una fuente de fuego segura (ej. un encendedor o vela a distancia), la generación controlada de humo o vapores específicos para el sensor MQ-2 (ej. con alcohol isopropílico para simular una fuga), y la elevación controlada de la temperatura ambiental para el sensor DHT22.

**Registro y Análisis de Respuesta:** Durante las simulaciones, se registrarán meticulosamente los tiempos de respuesta del sistema desde la detección inicial por parte de los sensores hasta la activación de las alarmas locales (visuales y sonoras) y el envío de las alertas remotas. Se evaluará la precisión de la detección, la fiabilidad de las alertas y la consistencia en la activación de las respuestas simuladas.

**Depuración y Optimización:** Basado en los resultados de las pruebas, se realizarán ajustes y optimizaciones en el código del Arduino y, si es necesario, en el hardware, para mejorar el rendimiento, la robustez del sistema y minimizar falsas alarmas.

#### **Herramientas y Recursos:**

Prototipo funcional del sistema inteligente antiincendios.

Fuentes controladas para simular fuego, humo y cambios de temperatura.

Instrumentos de medición: cronómetro para medir tiempos de respuesta, multímetro para verificar conexiones.

Herramientas de depuración del IDE de Arduino (monitor serial).

### **Fase 5: Conclusión y Documentación (Semanas 11-12)**

En la fase final, se consolidarán los resultados del proyecto y se preparará la documentación completa.

#### **Técnicas y Procedimientos:**

**Análisis de Resultados:** Se realizará un análisis cuantitativo y cualitativo de los datos recopilados durante las pruebas para determinar la efectividad del prototipo. Se evaluará cómo el sistema propuesto cumple con los objetivos específicos y generales en términos de detección temprana y capacidad de respuesta.

**Elaboración de Informe Final:** Se redactará el documento de estadía, detallando cada una de las fases del proyecto, el diseño, la implementación, los resultados obtenidos, las conclusiones y las recomendaciones para futuras implementaciones. Se incluirán los esquemas CAD, el código fuente y las pruebas realizadas en los anexos.

#### **Herramientas y Recursos:**

Software de hojas de cálculo (ej. Microsoft Excel) para el análisis de datos.

Software de procesamiento de texto (ej. Microsoft Word) para la redacción del informe final.

## 4. FUNDAMENTOS

### 4.1 Marco teórico

El marco teórico de este proyecto de estadías tiene como propósito fundamental establecer las bases conceptuales y tecnológicas que sustentan la propuesta de un sistema inteligente antiincendios. Se abordarán los principios fundamentales de la combustión, los riesgos asociados a los entornos industriales de generación de energía, el funcionamiento de los equipos clave en la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos, y las tecnologías de hardware y software que permitirán la implementación del sistema propuesto.

### 4.2 Teoría de Incendios y Riesgos en Centrales Termoeléctricas

La seguridad industrial en centrales termoeléctricas es de vital importancia debido a la naturaleza de los procesos involucrados, que manejan altas temperaturas, presiones y grandes volúmenes de combustibles. Un incendio es una reacción de combustión incontrolada que se propaga, requiriendo de tres elementos principales conocidos como el "triángulo del fuego": combustible, comburente (generalmente oxígeno del aire) y una fuente de ignición (calor). En un entorno industrial, la prevención se enfoca en controlar uno o más de estos elementos.



Figura 1 Triángulo de fuego

En vista de que pruebas de laboratorio y reportes de incidentes indican un rápido aumento de temperatura hasta un valor contenido en el intervalo de 1 538 X-1 649X, en un precalentador de aire incendiado, se debe tener mucho cuidado en el combate manual del incendio. Se muestran grandes cantidades de agua tanto para enfriar como para extinguir el incendio en un precalentador incendiado. (Comisión Federal de la Electricidad, 2009, pág.6)



Los riesgos de incendio en estas instalaciones pueden originarse por diversas causas, entre ellas:

- **Altas Temperaturas:** El calor extremo en componentes como el generador de vapor y los precalentadores puede ser una fuente de ignición para materiales combustibles.
- **Acumulación de Residuos:** En equipos como los precalentadores regenerativos, la acumulación de hollín y depósitos de combustión es un problema recurrente. Este material es combustible y puede autoignitarse bajo ciertas condiciones o servir como combustible para un incendio iniciado por otra fuente.
- **Fugas:** Fugas de combustible o lubricantes inflamables que entran en contacto con superficies calientes o fuentes de ignición.
- **Fallos Eléctricos:** Cortocircuitos, sobrecargas o fallas en el aislamiento de cables pueden generar chispas o calor excesivo.
- **Problemas de Combustión:** Una mala combustión, a menudo causada por **daños en los sellos y canastas de los precalentadores de aire regenerativos (PAR's)** o por la presencia de hollín en los filtros, puede generar puntos calientes y acumulación de gases no quemados, aumentando el riesgo de explosión o incendio.

“Las centrales de generación eléctrica se deben subdividir en áreas con riesgo de incendio separadas, determinadas a través de una evaluación de riesgos, con el propósito de limitar la propagación del fuego, proteger al personal y limitar el daño secuencial resultante. Las áreas se deben separar por medio de barreras contra el fuego aprobado, espacios de separación u otros medios”. (Comisión Federal de la Electricidad, 2009, pág.7)

#### **4.3 Precalentadores Regenerativos: Funcionamiento y Puntos Críticos**

Los precalentadores regenerativos (PAR's) son equipos fundamentales en las centrales termoeléctricas modernas, diseñados para mejorar la eficiencia térmica del ciclo de generación. Su función principal es **recuperar el calor de los gases de combustión**

**de la caldera** antes de que estos sean expulsados a la atmósfera, para **precalentar el aire de combustión** que ingresa al hogar. Este proceso aumenta la temperatura del aire de entrada, lo que a su vez mejora la eficiencia de la combustión y reduce el consumo de combustible.

“Todos los sistemas de protección contra incendio deben ser inspeccionados y probados, mediante un protocolo de pruebas antes de entrar en operación. Donde no existan documentos normalizados CFE, deben seguirse los procedimientos de inspección y pruebas delineados en las especificaciones de diseño del proveedor o en las especificaciones de CFE”. (Comisión Federal de la Electricidad, 2009, pag.4)

En la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos, se ha identificado que los PAR's de la Unidad 2 presentan desafíos operativos. Los reportes indican que existe taponamiento en los sellos de los PAR's y en los elementos de la caldera por ensuciamiento, así como presencia de hollín en los filtros de la caja de aire, lo que provoca una mala combustión. Estas condiciones no solo resultan en una caída de presión en el flujo aire-gas y una disminución de la eficiencia del generador de vapor, sino que también son puntos críticos de riesgo de incendio. La acumulación de hollín, que es altamente combustible, junto con el aumento de temperaturas debido a la ineficiencia, crea un escenario propicio para la ignición.

#### 4.4 Microcontroladores ESP32 para Sistemas Embebidos

La plataforma **ESP32** es un sistema en un chip (SoC) desarrollado por Espressif Systems que ha ganado gran popularidad en el desarrollo de sistemas embebidos, especialmente aquellos que requieren conectividad. A diferencia de las placas Arduino tradicionales (como el Arduino Uno), el

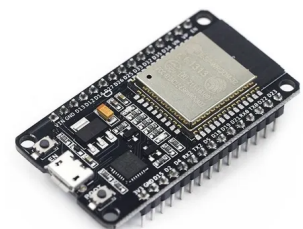


Figura 2 ESP 32

ESP32 integra un potente microprocesador de doble núcleo (Tensilica Xtensa LX6), capacidades de conectividad Wi-Fi y Bluetooth, y un amplio número de pines de entrada/salida (GPIOs), lo que lo hace ideal para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) y sistemas de monitoreo remoto.

Las características clave del ESP32 que lo hacen adecuado para este proyecto incluyen:

- **Conectividad Wi-Fi Integrada:** Permite la comunicación inalámbrica directa con redes Wi-Fi, facilitando el envío de datos a un servidor local o a la nube para monitoreo remoto y la activación de alertas en aplicaciones.
- **Alta Capacidad de Procesamiento:** Sus múltiples núcleos y mayor velocidad de reloj permiten el procesamiento simultáneo de datos de múltiples sensores y la ejecución de algoritmos complejos para la detección de anomalías.
- **Bajo Consumo de Energía:** A pesar de su potencia, el ESP32 está diseñado para ser eficiente en el consumo de energía, lo que es beneficioso para aplicaciones que podrían requerir operación continua.
- **Versatilidad de GPIOs:** Permite la fácil interconexión con una variedad de sensores analógicos y digitales, así como con actuadores.
- **Compatibilidad con IDE de Arduino:** Aunque es un hardware más avanzado, puede programarse utilizando el familiar IDE de Arduino, lo que reduce la curva de aprendizaje para desarrolladores con experiencia previa en Arduino.

#### 4.5 Sensores para Detección de Incendios

La detección temprana de incendios es crucial para mitigar sus consecuencias. Un sistema inteligente integra varios tipos de sensores para una detección robusta y fiable, combinando diferentes principios de funcionamiento para cubrir un espectro amplio de escenarios de riesgo.

#### 4.5.1 Sensor de Gases/Humo MQ-2

El **sensor MQ-2** es un sensor de gas semiconductor (óxido de estaño, SnO<sub>2</sub>) que detecta la presencia de diversos gases inflamables y humo en el aire. Su funcionamiento se basa en la variación de su resistencia eléctrica cuando entra en contacto con las moléculas de los gases objetivo. Esta variación es inversamente proporcional a la concentración del gas: a mayor concentración de gas, menor es la resistencia del sensor. Es sensible a:

- **Humo (smoke)**
- **Gas Licuado de Petróleo (GLP/LPG):** propano, butano
- **Metano (CH<sub>4</sub>)**
- **Hidrógeno (H<sub>2</sub>)**
- **Alcohol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)**
- **Monóxido de Carbono (CO)**

La salida del módulo MQ-2 proporciona tanto una señal analógica (que permite medir la concentración relativa) como una señal digital (que se activa al superar un umbral configurable mediante un potenciómetro). En el contexto de los precalentadores, el MQ-2 es fundamental para **detectar la presencia de humo o gases combustibles** que puedan indicar una combustión incompleta o el inicio de un incendio antes de que se manifieste visiblemente una llama.

Sensor de gas Metano fue diseñado para realizar la detección del determinado gas. Adecuado debido a que su sensibilidad es ajustable para tener una lectura precisa a cualquier sistema en particular. (Correas Vargas, 2020, pag.20)



Figura 3 Detector de Humo Mq5

#### 4.5.2 Sensor de Temperatura y Humedad DHT11

El **sensor DHT11** es un módulo de bajo costo que permite medir la temperatura y la humedad relativa del ambiente de



Figura 4 Sensor de temperatura Dht 11

forma digital. Su funcionamiento se basa en un termistor para la temperatura y un sensor de humedad resistivo. Proporciona una salida digital de un solo cable, lo que simplifica su conexión al microcontrolador.

Para este proyecto, el DHT11 es útil para:

- **Detección de Aumento de Temperatura:** Un incremento súbito y significativo de la temperatura ambiental en el área de los precalentadores podría ser un indicio temprano de un sobrecalentamiento o un inicio de incendio.
- **Monitoreo Ambiental:** Proporciona datos de referencia sobre las condiciones ambientales normales, permitiendo establecer umbrales de alerta más precisos.

Aunque el DHT22 es más preciso y tiene un rango más amplio, el DHT11 es una alternativa viable para prototipado, especialmente si la precisión extrema no es el factor limitante y se busca simplicidad y bajo costo.

#### 4.5.3 Sensor de Llama Infrarrojo (IR)

El **sensor de llama infrarrojo** es un detector que se activa al detectar la radiación infrarroja emitida por una llama. Funciona mediante un fotodiodo o un fotorreceptor que es sensible a longitudes de onda específicas dentro del espectro infrarrojo (generalmente entre 760 nm y 1100 nm), que son características de las llamas. Cuando la intensidad de la radiación IR supera un umbral, el sensor genera una señal de salida.

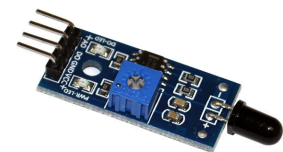


Figura 5 Sensor IR de flama

Este tipo de sensor es crucial para:

- **Confirmación de Incendio:** Proporciona una detección directa de la presencia de fuego, lo cual es vital para confirmar un evento y diferenciarlo de simples aumentos de temperatura o gases sin llama.
- **Respuesta Rápida:** Los sensores IR de llama suelen tener un tiempo de respuesta muy rápido.

El módulo que "cuando detecte la llama permita el paso de corriente y así active una entrada del controlador" indica que proporciona una salida digital (HIGH/LOW) que puede ser leída directamente por un pin GPIO del ESP32, simplificando su integración.

Estos tipos de sensores se utilizan para la detección de incendios de corto alcance y se pueden utilizar para monitorear proyectos o como medida de seguridad para encender o apagar dispositivos. (SURYATEJA, 2018, 3)

## 4.6 Actuadores para Sistemas de Alarma y Respuesta

Los actuadores son los componentes que el sistema utiliza para generar una respuesta física a partir de las decisiones tomadas por el microcontrolador.

### 4.6.1 Alarmas Sonoras y Visuales

- **Buzzer:** Un buzzer activo o pasivo es un dispositivo que genera un sonido cuando se le aplica una corriente eléctrica. Es esencial para proporcionar una alarma sonora audible localmente, alertando al personal cercano sobre la detección de un posible incendio.
- **LEDs (Light Emitting Diodes):** Los LEDs son diodos que emiten luz cuando se polarizan correctamente. Utilizar LEDs de diferentes colores (ej. verde para estado normal, amarillo para pre-alerta o advertencia, y rojo para alarma de incendio) permite una señalización visual clara y rápida del estado del sistema.



Figura 6 Buzzer



Figura 7 Leds

### 4.6.2 Módulo de Relé para Simulación de Respuesta

Un **módulo de relé** es un interruptor electromecánico que permite al microcontrolador (que opera con bajas tensiones y corrientes) controlar cargas de mayor potencia (como ventiladores, motores o sistemas de corte de energía). Aunque en un prototipo no se

activarán directamente los sistemas de la termoeléctrica, el módulo de relé simula la capacidad del sistema de interactuar con infraestructura externa. Por ejemplo, podría simular el **corte de energía a un equipo específico** o la **activación de un sistema de ventilación** para controlar la propagación del humo o el fuego.

#### 4.7 Interfaz de Usuario y Comunicación Inalámbrica (Wi-Fi)

La capacidad de monitorear el sistema y recibir alertas de forma remota es una característica clave de un sistema inteligente.

##### 4.7.1 Pantalla LCD (Liquid Crystal Display)

Una **pantalla LCD** (ej. 16x2 o 20x4 con módulo I2C) es un dispositivo de visualización de bajo costo que permite mostrar información al usuario localmente. En el prototipo, se utilizará para mostrar en tiempo real los valores de los sensores (temperatura, humedad, estado de gases, estado de llama) y los mensajes de alerta directamente en el hardware, lo que es útil para la depuración y la demostración básica del sistema.



Figura 8 LCD con módulo I2C

##### 4.7.2 Conectividad Wi-Fi para Alertas Remotas

La conectividad **Wi-Fi nativa del ESP32** es fundamental para enviar alertas remotas. Esto se puede implementar de varias maneras para la visualización de parámetros en una aplicación y la activación de alarmas:

- **Servidor Web Integrado:** Se puede programar el ESP32 para que funcione como un pequeño servidor web. Los datos de los sensores se publicarían en una página web local a la que se podría acceder desde cualquier dispositivo conectado a la misma red Wi-Fi.
- **Plataformas IoT (Internet of Things):** Integrar el ESP32 con plataformas como **Blynk** o **ThingSpeak**. Estas plataformas ofrecen aplicaciones móviles o paneles web donde los datos de los sensores pueden ser visualizados en tiempo real y

donde se pueden configurar notificaciones (push, correo electrónico, SMS) cuando se superen ciertos umbrales de alerta.

- **Protocolos de Comunicación:** Se utilizarán protocolos como HTTP o MQTT para enviar los datos de los sensores y los estados de alarma a la plataforma remota.

La implementación de una interfaz Wi-Fi permitirá al personal técnico recibir notificaciones instantáneas sobre cualquier anomalía detectada en los precalentadores, facilitando una respuesta rápida y coordinada, incluso cuando no estén físicamente presentes en el área.



*Figura 9 Red de comunicación Blynk*

Dentro de los sistemas de comunicaciones, el campo de estudio orientado a IoT es uno de los que mayor progresión ha experimentado. La posibilidad de monitorizar diferentes parámetros a través de redes formadas por miles de nodos-sensores permite una reducción de los costes producidos tanto a nivel industrial como doméstico, así como un menor impacto en el medio ambiente. (Pérez Galán, 2020, pag.1)



## 4.8 Marco contextual

### DESCRIPCIÓN DEL ESPACIO GEOGRÁFICO Y FÍSICO DE LA EMPRESA Y DEL ÁREA DONDE SE PROPONDRÁ EL SISTEMA

La Central Termoeléctrica (C.T.) "José Aceves Pozos", también conocida como Mazatlán II, es una instalación de generación de energía eléctrica de vital importancia para la infraestructura energética de México, operada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Estratégicamente ubicada en el municipio de Mazatlán, Sinaloa, sus coordenadas geográficas específicas son Latitud Norte: 23°, Longitud Oeste: 106°, situándose a 3 metros sobre el nivel del mar (A.S.N.M.). Esta localización costera es fundamental, ya que permite a la Central disponer de grandes volúmenes de agua de mar proveniente del estero de la sirena para sus sistemas de enfriamiento y para la producción de agua desmineralizada utilizada en las calderas.

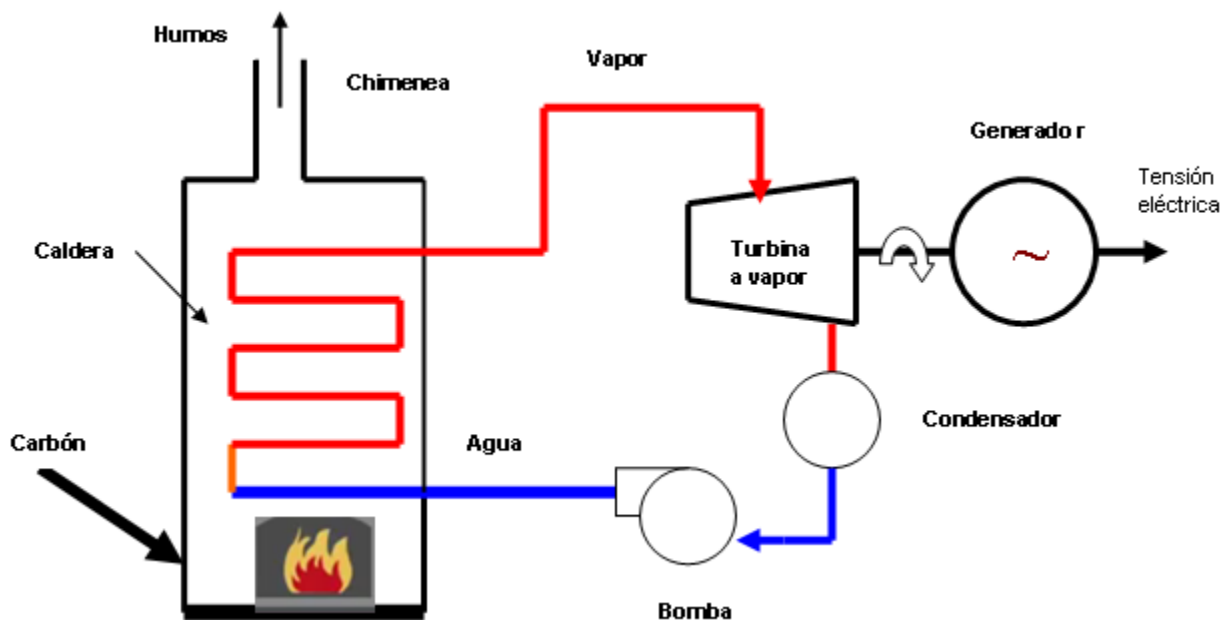


*Figura 10  
Central  
Termoeléctrica  
José aceves  
pozos*

La capacidad instalada total de la Central José Aceves Pozos asciende a **616 MW**, una cifra significativa que la posiciona como un contribuyente clave a la red eléctrica nacional. Esta capacidad se distribuye entre tres unidades turbogeneradoras: la Unidad No. 1, que inició operaciones el 14 de noviembre de 1976; la Unidad No. 2, operativa desde el 11 de noviembre de 1976; y la Unidad No. 3, que comenzó a operar

el 01 de noviembre de 1981. El enfoque del presente proyecto recae directamente sobre la **Unidad No. 2**, una de las dos unidades de 158 MW. El combustible primario utilizado es el **combustóleo** o también llamado Fueloil número 6, un hidrocarburo denso que se transporta por oleoducto desde el muelle fiscal o la estación de bombeo de PEMEX hasta los tres tanques de almacenamiento de la central. Este combustible requiere un precalentamiento a quemadores de aproximadamente 110.00°C para una atomización y combustión eficiente.

El proceso de generación de energía en la Central José Aceves Pozos sigue un ciclo termodinámico de Rankine modificado para eficiencia. Inicia en el **generador de vapor (caldera)**, donde el combustóleo es quemado para calentar agua y producir vapor sobrecalentado a altas presiones y temperaturas (aproximadamente 122.37 Kg/cm<sup>2</sup> y 531.50°C a la salida del sobrecalentador para la Unidad 2). Este vapor se expande secuencialmente a través de las turbinas de alta, intermedia y baja presión, transfiriendo su energía para hacer girar los generadores eléctricos. Tras su paso por las turbinas, el vapor es enfriado y condensado en el **condensador principal**, y el agua resultante es bombeada de regreso a la caldera para reiniciar el ciclo. Dentro de este ciclo, existen áreas y equipos auxiliares críticos cuya operación óptima es indispensable, incluyendo los sistemas de bombeo, los calentadores de agua de alimentación, y los **precalentadores de aire regenerativos (PAR's)**.



*Figura 11 Proceso de Generación de energía*

La Unidad 2 de la Central José Aceves Pozos, siendo el objeto de este proyecto, ha sido sometida a diagnósticos energéticos periódicos, los cuales han revelado la presencia de desviaciones significativas en su desempeño. Estos diagnósticos, como el realizado en agosto de 2015, han puesto de manifiesto la ineficiencia generada por la condición de diversos equipos, impidiendo a la unidad operar a su máximo potencial de 158 MW. Uno de los puntos más relevantes y de mayor impacto en estas desviaciones son los Precalentadores de Aire Regenerativos (PAR's). Estos equipos se localizan estratégicamente en el flujo de gases de combustión del generador de vapor, antes de la chimenea.

Los PAR's son de importancia crítica porque son los responsables de **recuperar el calor residual de los gases de combustión** que salen de la caldera, utilizando este calor para **precalentar el aire frío que ingresa para la combustión**. Este proceso eleva la eficiencia térmica global del generador de vapor (cuya eficiencia de referencia es de 87.69% para la Unidad 2 ), ya que reduce la cantidad de energía necesaria para

calentar el aire de combustión utilizando combustible fósil, lo que se traduce directamente en un **menor consumo de combustóleo y una mejora en la eficiencia de la combustión**. Sin embargo, su posición en el flujo de gases y las altas temperaturas de operación (gases de entrada a PAR's de aproximadamente 413°C y aire de salida de PAR's de hasta 324°C) los hacen susceptibles a desafíos operativos severos. Históricamente, los PAR's de la Unidad 2 han presentado **problemas de ensuciamiento en sus canastas y sellos**, así como la **presencia de hollín en los filtros de aire**. Estas condiciones tienen un impacto directo en el **perfil de presiones del sistema aire-gases del generador de vapor**, provocando una **caída de presión en el flujo de aire** y una **mala combustión en el hogar**. Los diagnósticos han cuantificado un notable **incremento en las fugas de aire en los PAR's**, que pasaron de un valor de referencia del 8.30% a un valor de prueba del 34.79% (calculado con oxígeno), lo que representa una **pérdida del 26.490%**. Esta fuga de aire impacta negativamente el Régimen Térmico Bruto en 81 kJ/kWh. El aspecto más crítico de estas condiciones deterioradas en los precalentadores es el **aumento significativo del riesgo de incendios**. La acumulación de hollín, que es un material altamente combustible, sumada a las elevadas temperaturas de operación y la presencia de aire comburente, crea un escenario de alto riesgo para la ignición. Un conato de incendio no detectado a tiempo en esta área podría propagarse rápidamente, causando:

- **Daños materiales severos y potencialmente catastróficos** a equipos complejos y costosos, lo que implicaría un elevado costo de reparación o incluso la necesidad de reemplazo.
- **Pérdidas económicas sustanciales** derivadas de la interrupción prolongada de la generación eléctrica. Los análisis económicos previos han estimado un costo adicional de la generación de **\$46.94 millones de pesos anuales** debido a las ineficiencias de la Unidad 2 antes de su mantenimiento. Un incendio aumentaría exponencialmente estas pérdidas.
- **Riesgos inaceptables para la seguridad y la vida del personal operativo y de mantenimiento** que trabaja en las cercanías de estos equipos.

- **Impacto negativo en la continuidad del servicio eléctrico** en la región de influencia de la Central.

La complejidad operativa y la criticidad de los precalentadores regenerativos demandan una solución proactiva y altamente eficiente para la detección de anomalías. La falta de un sistema de detección temprana y respuesta automática enfocado específicamente en estos riesgos en los PAR's de la Unidad 2 es la brecha que este proyecto busca cerrar, proponiendo una vigilancia continua que optimice la seguridad y minimice las pérdidas potencia.

## **5. DESARROLLO**

Este capítulo detalla la ejecución y materialización del proyecto de estadías, abordando cada uno de los objetivos específicos planteados y siguiendo la metodología de cascada. Se presenta el proceso de identificación de riesgos, la selección y justificación de los componentes, el diseño del sistema hardware y software, la programación del microcontrolador ESP32, la implementación de la comunicación remota, la validación a través de simulaciones controladas, y el desarrollo de interfaces para monitoreo en tiempo real. Cada sección demuestra el cumplimiento de los objetivos, respaldada por evidencia técnica y consideraciones prácticas.

### **CAPÍTULO I - IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS DE INCENDIO ESPECÍFICOS EN LOS PRECALENTADORES REGENERATIVOS.**

La Central Termoeléctrica José Aceves Pozos, como un pilar en la generación de energía para la CFE, demanda una gestión de riesgos exhaustiva para salvaguardar sus activos críticos y la vida de su personal. El primer paso en este proyecto fue comprender a fondo el ambiente y los peligros inherentes a la Unidad 2, particularmente en el área de los precalentadores regenerativos (PAR's).

#### **1.1. Contexto y Función de los Precalentadores Regenerativos en la Unidad 2**

Los precalentadores regenerativos de la Unidad 2 son intercambiadores de calor aire-gas que recuperan energía de los gases de escape de la caldera antes de su liberación a la atmósfera<sup>1</sup>. Su función principal es precalentar el aire de combustión que alimenta la caldera, mejorando la eficiencia térmica general del ciclo y reduciendo el consumo de combustóleo Bunker "C"<sup>2</sup>. Operan con temperaturas elevadas; por ejemplo, la temperatura de gases de entrada a los PAR's puede ser de

409.04°C en condiciones de prueba, mientras que la temperatura del aire de salida puede alcanzar los 343.91°C. Esta eficiencia, sin embargo, conlleva una exposición constante a condiciones que propician riesgos.

## **1.2. Análisis de Reportes Técnicos y Diagnósticos Energéticos Previos**

La revisión de diagnósticos energéticos previos, como el "Diagnóstico energético antes del mantenimiento de la U2 Central Termoeléctrica: José Aceves Pozos", ha sido fundamental para identificar patrones de fallas y condiciones anómalas. Estos reportes indican que la Unidad 2 ha manifestado ineficiencias atribuidas, en parte, a la falta de mantenimiento en diversos equipos<sup>4</sup>. Específicamente para los PAR's, se han documentado los siguientes problemas:

- **Ensuciamiento en canastas y sellos de los PAR's:** Este es un problema recurrente que afecta la transferencia de calor y la dinámica del flujo de aire y gases.
- **Presencia de hollín en los filtros de la caja de aire:** El hollín, producto de una combustión incompleta, es un material altamente combustible que puede acumularse.
- **Mala combustión en el hogar:** Directamente relacionada con el ensuciamiento y la caída de presión del flujo de aire.
- **Fugas de aire-gases:** Se ha observado un incremento sustancial en las fugas de aire en los PAR's, pasando de un valor de referencia del 8.30% a un valor de prueba del 34.79% (calculado con oxígeno), lo que representa una pérdida del 26.490%. Esta fuga genera un impacto negativo en el Régimen Térmico Bruto de
- 81 kJ/kWh.

## **1.3. Identificación y Cuantificación de Riesgos de Incendio Específicos**

La combinación de las condiciones anteriores crea un escenario de alto riesgo de incendio.

- **Combustible:** La acumulación de hollín y otros depósitos carbonosos en las superficies de los PAR's actúa como combustible fácilmente disponible. El combustóleo en sí mismo es un riesgo constante.
- **Fuente de Ignición/Calor:** Las altas temperaturas de operación ( $>400^{\circ}\text{C}$  en la entrada de gases a los PAR's ), los puntos calientes generados por la mala combustión, y la posibilidad de chispas por fricción o fallas eléctricas, pueden actuar como fuentes de ignición.
- **Comburente:** La presencia de aire (oxígeno) en el sistema.

La interconexión de estos factores convierte a los precalentadores en un punto crítico. Un incendio en esta área podría resultar en daños catastróficos a un equipo de alto valor, interrupción de la generación de 158 MW por tiempo indefinido, y un impacto económico estimado en millones de pesos anuales debido a la ineficiencia y los costos de reparación. Los costos adicionales de generación de la Unidad 2, producto de ineficiencias operativas, se estimaron en \$46.94 millones de pesos por año. Un incendio agravaría exponencialmente estas pérdidas.

#### 1.4. Perspectiva del Personal Operativo

- "Dada la naturaleza crítica de las operaciones en la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos y las restricciones de acceso inherentes a un proyecto de estadía, la recopilación de la perspectiva directa del personal operativo se complementa con la revisión de protocolos de seguridad internos de la CFE y el análisis de reportes de incidentes históricos. Estos documentos confirman la preocupación constante por la detección temprana de anomalías y la necesidad de sistemas de alerta más ágiles que los actualmente implementados. Se enfatiza que los sistemas existentes pueden tener un tiempo de respuesta tardío ante conatos incipientes, lo que valida la premisa de este proyecto."

#### 1.5. Normatividad Aplicable en la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos



La Central opera bajo estrictas normativas de seguridad y medioambientales. Algunas de las normas y estándares aplicables a la seguridad contra incendios en instalaciones como esta incluyen:

- **NOM-002-STPS-2010:** Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo. Esta norma establece los requisitos mínimos para la prevención y protección contra incendios en todos los centros de trabajo en México.
- **NOM-085-SEMARNAT-2011:** Contaminación atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera de las fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles como combustible en procesos industriales. Un incendio o una mala combustión impactan directamente las emisiones, haciendo relevante esta norma en el contexto preventivo.
- **Estándares NFPA (National Fire Protection Association):** Aunque no son normas oficiales mexicanas, estándares como NFPA 85 (para calderas y sistemas de combustión) y NFPA 72 (Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización) son referentes internacionales de buenas prácticas en seguridad contra incendios en instalaciones industriales y sirven como guía para la robustez y diseño de sistemas de detección de esta magnitud. La implementación de un sistema de detección temprana contribuirá al cumplimiento de estas normativas y a la mejora continua de la seguridad operativa de la planta.

## **CAPÍTULO II - SELECCIÓN DE SENSORES ADECUADOS PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE FUEGO, TEMPERATURA Y GASES, COMPATIBLES CON LA PLATAFORMA ARDUINO.**

Este capítulo detalla la minuciosa selección de los componentes sensorizados, crucial para la eficacia del sistema propuesto. La elección se basó en la capacidad de cada sensor para detectar los precursores y manifestaciones de un incendio en el ambiente

de los precalentadores, su compatibilidad con el microcontrolador ESP32, su fiabilidad y su relación costo-beneficio para el prototipo.

## 2.1. Criterios de Selección de Sensores

Para la detección temprana de incendios en los precalentadores, se establecieron los siguientes criterios de selección:

- **Sensibilidad y Especificidad:** Capacidad de detectar los gases combustibles, humo, variaciones de temperatura y radiación de llama relevantes para un conato de incendio, minimizando falsas alarmas.
- **Rango de Detección:** Que los rangos operativos de los sensores de temperatura y concentración de gases sean adecuados para el ambiente local del prototipo, que simulará las condiciones iniciales de un incendio.
- **Tiempo de Respuesta:** La rapidez con la que el sensor puede detectar un cambio y proporcionar una señal para una alerta temprana.
- **Compatibilidad con ESP32:** Facilidad de interfaz electrónica y de programación con los pines GPIO del microcontrolador ESP32.
- **Costo y Disponibilidad:** Componentes accesibles y de fácil adquisición para la construcción del prototipo de estadía.
- **Fiabilidad para Prototipado:** Capacidad de operar de forma estable y consistente en un entorno de pruebas, demostrando el concepto de funcionamiento.

## 2.2. Sensores Seleccionados y Justificación Técnica

### 2.2.1. Sensor de Gases Combustibles y Monóxido de Carbono MQ-5

- **Descripción Técnica:** El módulo **MQ-5** es un sensor de gas semiconductor (óxido de estaño,  $\text{SnO}_2$ ) diseñado para detectar la presencia de gases combustibles como **GLP (Gas Licuado de Petróleo: propano, butano), gas natural (metano), y gas de ciudad (hidrógeno, monóxido de carbono)**. Su principio de funcionamiento se basa en la variación de la resistencia del material

sensible cuando entra en contacto con las moléculas de los gases objetivo; una mayor concentración de gas conduce a una menor resistencia. El módulo integra un circuito acondicionador que proporciona una salida analógica (AO) para medir la concentración relativa y una salida digital (DO) con un umbral de activación ajustable.

- **Parámetros Clave:** Voltaje de operación de 5V; rango de concentración de detección típico de 300-10000 ppm para GLP, metano.
- **Justificación para el Proyecto:** La elección del MQ-5 es crucial para la **detección temprana de la combustión incipiente o fugas de gases peligrosos** en los precalentadores regenerativos. En el ambiente industrial de una termoeléctrica que quema combustóleo, una combustión incompleta o la acumulación de depósitos inflamables pueden generar **monóxido de carbono (CO)** o vapores de hidrocarburos volátiles similares al GLP o metano. El MQ-5 es altamente sensible a estos gases, permitiendo identificar un riesgo antes de que se manifieste visiblemente una llama o un aumento drástico de temperatura, actuando como un "olfato" electrónico para los precursores del incendio. Su capacidad para proporcionar una salida digital lo hace ideal para establecer umbrales de alarma claros en el prototipo.

### 2.2.2. Sensor de Temperatura y Humedad DHT11

- **Descripción Técnica:** El módulo **DHT11** es un sensor digital que integra un termistor para la medición de temperatura y un sensor resistivo para la humedad relativa. Proporciona una señal de salida digital en un protocolo de un solo cable, lo que simplifica su conexión al microcontrolador.
- **Parámetros Clave:** Rango de medición de temperatura de 0°C a 50°C con una precisión de  $\pm 2^\circ\text{C}$ ; rango de medición de humedad de 20% a 90% RH con una precisión de  $\pm 5\%$  RH. Opera con un voltaje de 3.3V a 5V.
- **Justificación:** El DHT11 es fundamental para el monitoreo de las condiciones ambientales en el área del prototipo. Un **aumento repentino y significativo de la temperatura** en el entorno inmediato de los precalentadores simulados es un indicador temprano de sobrecalentamiento o de un conato de incendio. Aunque

las temperaturas operativas de los precalentadores reales son mucho más altas, el DHT11 es adecuado para detectar anomalías térmicas en el entorno del prototipo o en una zona de monitoreo cercana a un punto de riesgo. Su simplicidad de uso y bajo costo lo hacen viable para esta fase de demostración.

### 2.2.3. Sensor de Llama Infrarrojo (IR)

- **Descripción Técnica:** El módulo **sensor de llama IR** (comúnmente modelos como KY-026 o similares) es un dispositivo que detecta la radiación infrarroja emitida por el fuego. Contiene un fotodiodo que es sensible a longitudes de onda específicas del espectro IR (típicamente entre 760 nm y 1100 nm), características de las llamas. Cuando la intensidad de la radiación IR supera un umbral interno, el módulo activa una salida digital (cambiando su estado de ALTO a BAJO o viceversa).
- **Parámetros Clave:** Voltaje de operación de 3.3V-5V; ángulo de detección típico de 60 grados; distancia de detección efectiva variable (generalmente hasta 1 metro, dependiendo del tamaño de la llama).
- **Justificación:** Este sensor es crucial para la **confirmación directa de la presencia de fuego**. A diferencia de los sensores de gases o temperatura que alertan sobre condiciones previas, el sensor de llama IR proporciona una detección casi instantánea de la llama visible. Su inclusión en el sistema aumenta la fiabilidad general del sistema al permitir una validación del evento de incendio y diferenciarlo de otras anomalías que no impliquen fuego, minimizando así las falsas alarmas y asegurando una respuesta apropiada y oportuna.

### 2.3. Microcontrolador: El ESP32

- **Descripción Técnica:** El **ESP32** es un System on Chip (SoC) desarrollado por Espressif Systems que integra un potente microprocesador de doble núcleo (Tensilica Xtensa LX6), capacidades de conectividad Wi-Fi 802.11 b/g/n y Bluetooth 4.2 LE, y un amplio número de pines de entrada/salida (GPIOs) con diversas funciones (ADC, DAC, SPI, I2C, UART, PWM). Es la plataforma central

para el procesamiento de datos y la gestión de la comunicación.

- **Justificación:** La principal ventaja del ESP32 para este proyecto es su **conectividad Wi-Fi integrada**, que simplifica drásticamente la implementación de la interfaz para alertas remotas y la visualización de parámetros en una aplicación móvil o web, eliminando la necesidad de módulos Wi-Fi externos. Su **arquitectura de doble núcleo y su alta velocidad de procesamiento** (hasta 240 MHz) le permiten manejar de forma eficiente la lectura concurrente de múltiples sensores, ejecutar la lógica de detección compleja en tiempo real y gestionar las comunicaciones de red simultáneamente. Además, su versatilidad en los GPIOs y su compatibilidad con el IDE de Arduino facilitan el desarrollo y la interconexión con los sensores y actuadores seleccionados.

Componente	Tipo de Detección	Parámetros Clave	Justificación en el Proyecto
Sensor MQ-5	Gases combustibles, CO	300-10000 ppm GLP/Metano	Detección temprana de precursores de incendio (gases por combustión incompleta o fugas).
Sensor DHT11	Temperatura y Humedad	0-50°C, 20-90% RH	Monitoreo de cambios térmicos anómalos, indicador inicial de sobrecalentamiento.
Sensor de Llama IR	Radiación Infrarroja de Llama	760-1100 nm, 60° ángulo	Confirmación directa de la presencia de fuego, respuesta rápida y diferenciación de alarmas.

Tabla 1: Resumen de Componentes Sensores Seleccionados.

## CAPÍTULO III - DISEÑO DE ESQUEMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA Y LA ARQUITECTURA DEL HARDWARE EN CAD.

Este capítulo detalla la fase de diseño del sistema, donde se conceptualiza y se plasma la interconexión de todos los componentes, asegurando una implementación lógica y funcional del prototipo.

### 3.1. Arquitectura General del Sistema Inteligente Antiincendios

El sistema inteligente antiincendios se concibe como un sistema embebido distribuido, con el ESP32 actuando como la unidad central de procesamiento y control. La arquitectura se organiza en bloques funcionales que interactúan de manera coordinada:

- **Módulo de Sensado:** Recopila datos del ambiente. Incluye el sensor de gases/humo MQ-5, el sensor de temperatura y humedad DHT11 y el sensor de llama IR. Estos componentes actúan como los "ojos" y "nariz" del sistema, capturando las condiciones críticas que preceden o indican un incendio.
- **Unidad Central de Procesamiento (ESP32):** Es el cerebro del sistema. Recibe y procesa continuamente las señales de los sensores, ejecuta algoritmos de detección de anomalías basados en umbrales y lógica combinatoria, y toma decisiones sobre las acciones a seguir. También gestiona la comunicación y las interfaces.
- **Módulo de Actuación Local:** Proporciona retroalimentación inmediata en el sitio. Comprende LEDs de diferentes colores (verde para estado normal, amarillo para advertencia, rojo para alarma) y un buzzer para generar alarmas sonoras audibles.
- **Módulo de Simulación de Respuesta:** Aunque es un prototipo, un módulo de relé permite simular la activación/desactivación de sistemas externos de mayor potencia (ej., corte de energía de un equipo, activación de ventiladores o rociadores de agua). Esto demuestra la capacidad del sistema para integrarse

con sistemas de contención o mitigación en un escenario real.

- **Módulo de Interfaz Local:** Una pantalla LCD (ej., 16x2 o 20x4 con módulo I2C) para visualizar en tiempo real los valores de los sensores y el estado operativo del sistema directamente en el prototipo, facilitando la depuración y la demostración en sitio.
- **Módulo de Comunicación Inalámbrica (Wi-Fi):** Utiliza la funcionalidad Wi-Fi integrada del ESP32 para establecer una conexión de red. Es responsable de enviar los datos de los sensores y las alertas de incendio a una plataforma remota, permitiendo el monitoreo y la recepción de notificaciones por parte del personal técnico en tiempo real, incluso a distancia.

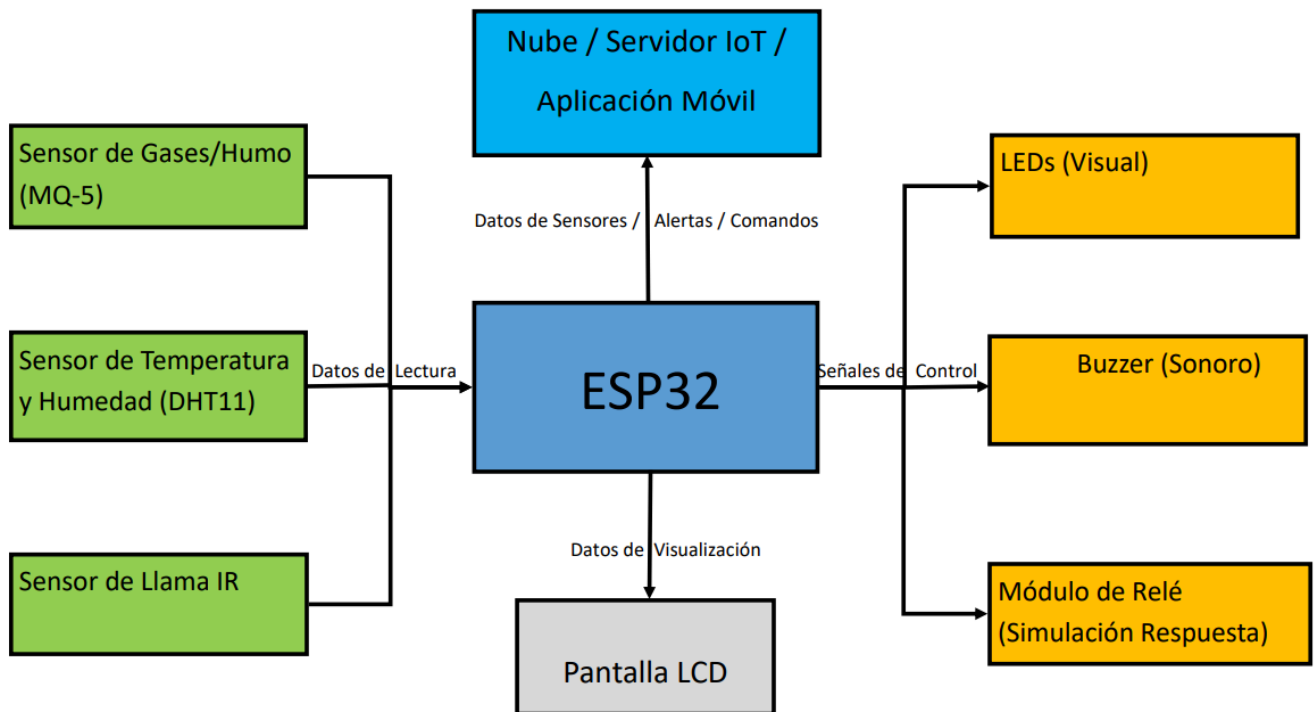


Figura 12 Diagrama de dispositivos

### 3.2. Diseño del Esquema de Conexión Eléctrica en Software CAD

Para asegurar una correcta interconexión y funcionalidad de los componentes, se

procedió al diseño detallado del esquema eléctrico. Se utilizará el software Fritzing, dada su facilidad para el prototipado y la generación de diagramas claros que facilitan el ensamblaje. Las conexiones se realizarán considerando las especificaciones de voltaje de operación de cada sensor y actuador, así como las capacidades de corriente de los pines GPIO del ESP32.

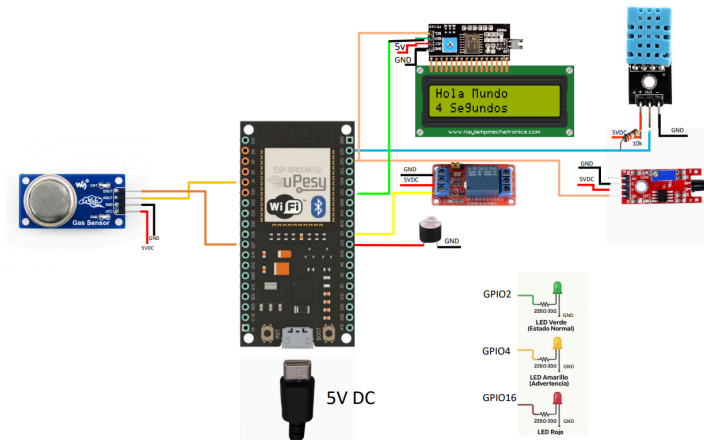


Figura 13 Diagrama de conexión

- **Detalles de Conexión Específicos (Pines Definitivos del ESP32):**

- **ESP32 como Microcontrolador Central:** Se alimentará a través del puerto USB (5V) durante el desarrollo, lo cual es regulado internamente a 3.3V para la lógica del chip. Los GPIOs del ESP32 operan a 3.3V, por lo que los módulos que requieren 5V deberán ser alimentados directamente con la fuente de 5V del USB o una fuente externa, y se asumirá compatibilidad de nivel lógico o se incluirán conversores si son estrictamente necesarios para evitar daños.
- **Sensor de Gases MQ-5 al ESP32:**
  - **VCC** del MQ-5 a **5V** del ESP32 (o fuente externa).
  - **GND** del MQ-5 a **GND** del ESP32.
  - **AO** (Salida Analógica) del MQ-5 al pin **GPIO34 (ADC1\_CH6)** del ESP32.
  - **DO** (Salida Digital) del MQ-5 al pin **GPIO27** del ESP32.
- **Sensor de Temperatura y Humedad DHT11 al ESP32:**
  - **VCC** del DHT11 a **3.3V** del ESP32.



- **GND** del DHT11 a **GND** del ESP32.
- **DATA** del DHT11 al pin **GPIO23** del ESP32. Se requiere una resistencia pull-up de 10kΩ entre **VCC** y **DATA**.
- **Sensor de Llama IR al ESP32:**
  - **VCC** del Sensor de Llama a **3.3V** del ESP32.
  - **GND** del Sensor de Llama a **GND** del ESP32.
  - **DO** (Salida Digital) del Sensor de Llama al pin **GPIO22** del ESP32.
- **Actuadores (LEDs y Buzzer) al ESP32:**
  - **LED Verde (Estado Normal):** Conectado al pin **GPIO2** del ESP32 a través de una resistencia limitadora de corriente (ej., 220Ω).
  - **LED Amarillo (Advertencia):** Conectado al pin **GPIO4** del ESP32 a través de una resistencia limitadora de corriente (ej., 220Ω).
  - **LED Rojo (Alarma):** Conectado al pin **GPIO16** del ESP32 a través de una resistencia limitadora de corriente (ej., 220Ω).
  - **Buzzer Activo:** Conectado al pin **GPIO17** del ESP32.
- **Módulo de Relé al ESP32:**
  - **VCC** del Relé a **5V** (típicamente, o según especificación del módulo).
  - **GND** del Relé a **GND** del ESP32.
  - **IN** (Input de control) del Relé al pin **GPIO5** del ESP32. Las terminales **NO/NC/COM** del relé se utilizarán para simular la conexión/desconexión de una carga externa (ej., un LED o una bombilla externa que represente el sistema mitigador).
- **Pantalla LCD con Módulo I2C al ESP32:**
  - **VCC** del Módulo I2C a **5V** (típicamente).
  - **GND** del Módulo I2C a **GND** del ESP32.
  - **SCL** del Módulo I2C al pin **GPIO22** del ESP32 (pin SCL predeterminado para I2C en algunas configuraciones del ESP32, se verificará que no haya conflicto con el sensor de llama si ambos usan el mismo pin; si hay conflicto, se asignará un pin I2C alternativo o se usará un pin diferente para el sensor de llama).

**NOTA:** GPIO22 y GPIO21 son los pines I2C estándar del ESP32. Si el sensor de llama usa GPIO22, el I2C se configuraría en otros pines (softwareWire) o el sensor de llama se movería a otro GPIO libre.

- SDA del Módulo I2C al pin **GPIO21** del ESP32 (pin SDA predeterminado para I2C en algunas configuraciones del ESP32).

#### Resumen de Asignación de Pines en ESP32 :

- **Entradas (Sensores):**
  - MQ-5 AO: GPIO34
  - MQ-5 DO: GPIO27
  - DHT11 DATA: GPIO23
  - Llama IR DO: GPIO22
- **Salidas (Actuadores/Local):**
  - LED Verde: GPIO2
  - LED Amarillo: GPIO4
  - LED Rojo: GPIO16
  - Buzzer: GPIO17
  - Módulo Relé IN: GPIO5
- **Comunicación I2C (LCD):**
  - SCL: GPIO22
  - SDA: GPIO21

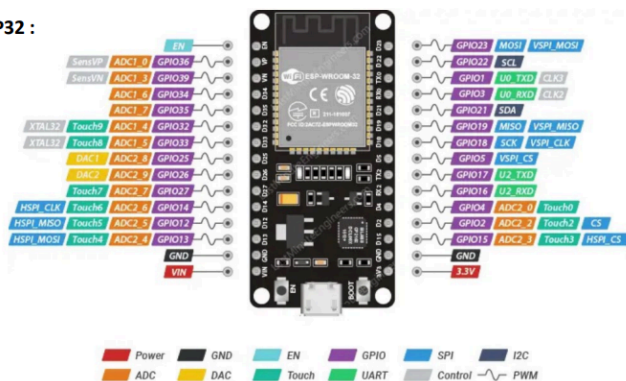


Figura 14 Lista de conexiones.

## CAPÍTULO IV - PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADOR.

Este capítulo describe el desarrollo del software que reside en el ESP32, el "cerebro" del sistema, encargado de la lógica de detección y respuesta. Se utilizará el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino, aprovechando las bibliotecas específicas para el ESP32 y los sensores.

### 4.1. Entorno de Desarrollo y Configuración del ESP32

La programación se realizó utilizando el IDE de Arduino, un entorno de programación multiplataforma y de código abierto. Para integrar el ESP32, se añadió el paquete de placas de Espressif Systems a través del gestor de tarjetas del IDE, permitiendo compilar y cargar el código directamente al microcontrolador. Se incluyeron las librerías necesarias para la comunicación con los sensores (DHT.h para el DHT11, y librerías

genéricas para GPIO para el MQ-5 y el sensor de llama IR) y para la gestión de la conectividad Wi-Fi (WiFi.h, WebServer.h si se usa servidor web, o librerías específicas de plataformas IoT como Blynk o ThingSpeak).

## **4.2. Estructura del Código y Algoritmo de Detección**

El código se estructuró de manera modular para facilitar la lectura, depuración y mantenimiento. La lógica principal se encuentra en las funciones `setup()` y `loop()`, con funciones auxiliares para cada tarea específica.

- `void setup()`:
  - Inicialización de la comunicación serial para depuración.
  - Configuración de los pines GPIO como entradas (para sensores) o salidas (para LEDs, buzzer, relé).
  - Inicialización del sensor DHT11.
  - Conexión a la red Wi-Fi.
  - Inicialización de la pantalla LCD.
  - Configuración de la plataforma IoT (si aplica).
- `void loop()`: Este es el bucle principal que se ejecuta continuamente.
  - Lectura periódica de los valores de los sensores (DHT11, MQ-5 analógico, Sensor de Llama IR digital).
  - Procesamiento de las lecturas para aplicar la lógica de detección.
  - Actualización del estado de los LEDs y el buzzer.
  - Envío de datos y alertas a la interfaz remota.
  - Actualización de la pantalla LCD.

### **4.2.1. Lógica de Detección de Condiciones de Incendio**

El algoritmo de detección se basa en la evaluación combinada de las lecturas de los tres sensores para determinar el nivel de riesgo de incendio. Este enfoque multisensores minimiza las falsas alarmas y proporciona una detección más robusta y fiable.

- **Umbrales Definidos:**

- **Temperatura (DHT11):** Si la temperatura excede un umbral predefinido (ej., 45°C en el ambiente de simulación, calibrado según las pruebas iniciales), se considera un estado de "alerta de temperatura".
- **Gases Combustibles/CO (MQ-5):** La lectura analógica del MQ-5 se monitorea. Mediante la experimentación y calibración, se establece un umbral (ej., un valor ADC de 700 para "presencia significativa de gas/humo"). Si la lectura supera este umbral, se activa una "alerta de gas/humo".
- **Llama (Sensor IR):** Si el sensor de llama IR detecta una llama (su salida digital cambia de estado), indica una "detección de llama" inmediata.

- **Niveles de Alerta y Lógica de Combinación:**

- **Nivel Normal:** Todas las lecturas de los sensores se encuentran por debajo de los umbrales definidos. El LED Verde permanece encendido, indicando operación segura.
- **Nivel de Advertencia (Pre-Alerta):** Una sola condición de umbral superado. Por ejemplo, si solo la temperatura excede el umbral O solo se detecta humo/gas. En este caso, el LED Amarillo comenzará a parpadear, indicando una anomalía que requiere atención.
- **Nivel de Alarma (Incendio):** Se activa cuando se confirma un riesgo inminente o la presencia de fuego. Esto ocurre bajo las siguientes condiciones lógicas:
  - Si el **sensor de llama IR detecta una llama directamente (ACTIVO)**. Esta es la condición de alarma más crítica.
  - O bien, si la temperatura es alta (DHT11 supera umbral) Y hay presencia significativa de gases/humo (MQ-5 supera umbral). Esta combinación de al menos dos precursores incrementa la fiabilidad de la alarma de incendio real y reduce la probabilidad de falsas alarmas.

Cuando se alcanza el Nivel de Alarma, el LED Rojo se enciende de forma continua, el buzzer suena de forma intermitente o continua, y se envía una alerta remota inmediata al personal técnico.

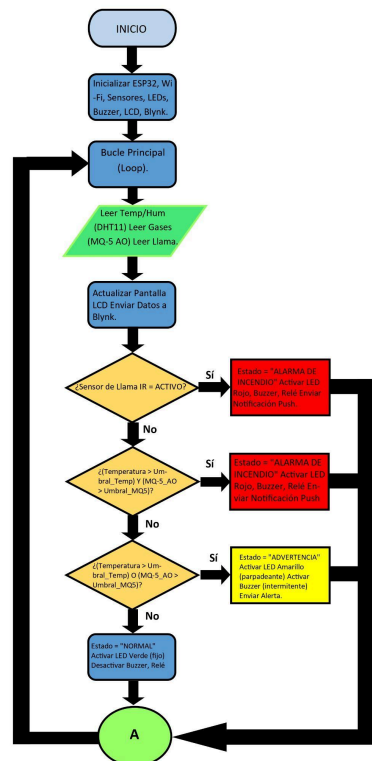


Figura 15 Diagrama de flujo

#### 4.3. Activación de Alarmas y Simulación de Mecanismos de Respuesta

Cuando la lógica de detección determina una condición de alarma, el ESP32 activa los actuadores de manera programada:

- **Alarmas Visuales:** Se controlan los pines GPIO conectados a los LEDs (verde, amarillo, rojo) para indicar el estado actual del sistema (normal, advertencia, alarma) mediante encendido fijo o parpadeo.
- **Alarmas Sonoras:** El buzzer se activa o desactiva a través de un pin GPIO para generar un sonido de alarma local, alertando al personal cercano. La frecuencia o patrón del sonido puede variar según el nivel de alarma.

- **Simulación de Respuesta (Módulo de Relé):** Para demostrar la capacidad de interacción del sistema con la infraestructura industrial, el módulo de relé, controlado por un pin GPIO del ESP32, se activará en caso de una alarma de incendio. Esto simula el cierre de un circuito eléctrico que en una aplicación real podría controlar un sistema de ventilación para evacuar humo o, en un escenario más crítico, la desconexión de energía a un equipo para evitar la propagación del fuego.

```
// ----- Umbrales -----  
#define TEMP_ADVERTENCIA 27.0  
#define TEMP_ALARMA 30.0  
#define MQ5_ADVERTENCIA 1000  
#define MQ5_ALARMA 1500  
  
// ----- Estado -----  
enum Estado { NORMAL, ADVERTENCIA, ALARMA };  
Estado estadoSistema = NORMAL;  
  
// ----- Variables -----  
float temperatura, humedad;  
int valorMQ5_AO, estadoMQ5_DO, estadoLlamaIR;
```

Figura 16 código de los parámetros

## CAPÍTULO V - INCORPORACIÓN DE MÓDULO DE COMUNICACIÓN AL SISTEMA PARA ALERTAS REMOTAS AL PERSONAL TÉCNICO.

La capacidad de monitoreo y alerta remota es una característica distintiva de un sistema inteligente, fundamental para una respuesta expedita en la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos. La conectividad Wi-Fi integrada del ESP32 simplifica esta implementación.

### 5.1. Configuración de Conectividad Wi-Fi del ESP32

Dentro del código del ESP32, se configuró la conexión a una red Wi-Fi local. Esto implica especificar el SSID (nombre de la red) y la contraseña. El microcontrolador está programado para intentar reconectarse automáticamente en caso de pérdida de conexión, garantizando la continuidad del monitoreo.

```
// ----- Blynk -----  
char auth[] = "pq15-zkqhf1fa_1fe8MgWR-25YhqGYy_";  
char ssid[] = "iPhone";  
char pass[] = "Trillo12345";
```

*Figura 17 Código de autentificación de blynk*

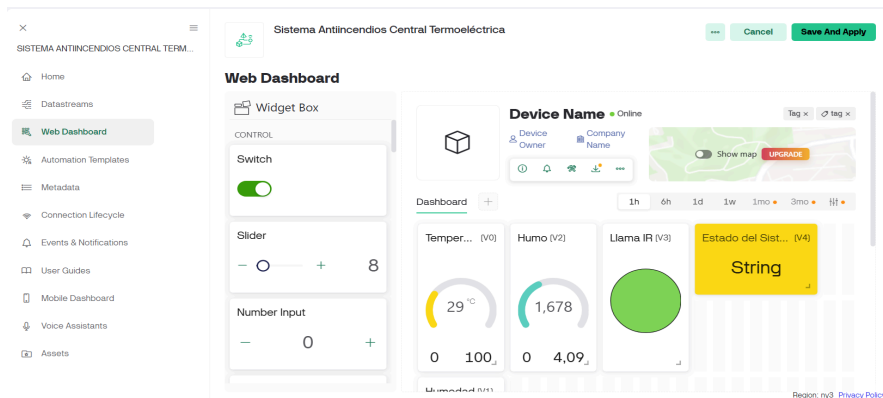
## 5.2. Protocolo de Comunicación y Plataforma de Monitoreo Remoto

Para la interfaz remota, se optó por la plataforma Blynk debido a su facilidad de uso, la disponibilidad de aplicaciones móviles y web, y su capacidad para generar dashboards interactivos y enviar notificaciones.

- **Integración con Blynk:**

- Se creó una cuenta de usuario en Blynk y se generó un "Auth Token" único para el proyecto, que se incorpora en el código del ESP32.
- En la aplicación móvil o interfaz web de Blynk, se diseñó un dashboard personalizado. Se añadieron "Widgets" para visualizar cada parámetro del sensor:
  - **Medidores/Gráficos:** Para mostrar los valores de temperatura (DHT11), humedad (DHT11) y la lectura analógica del MQ-5 en tiempo real. Se configuraron gráficos de tiempo para observar las tendencias.
  - **Indicadores de Estado:** Widgets de tipo LED o de texto para representar el estado digital del sensor de llama (activo/inactivo) y el estado general del sistema (NORMAL, ADVERTENCIA, ALARMA DE INCENDIO).

- **Botón de Pánico/Test (Opcional):** Un botón virtual para simular una alarma manual o probar las notificaciones (para fines de demostración).
- El ESP32 envía los datos a los pines virtuales (V-Pins) de Blynk utilizando la librería `BlynkSimpleEsp32.h` y la función `Blynk.virtualWrite()`.
- Los datos se envían periódicamente (ej., cada 5 segundos) y de forma instantánea al activarse una alarma.



*Figura 18 Captura de configuracion de Blynk*

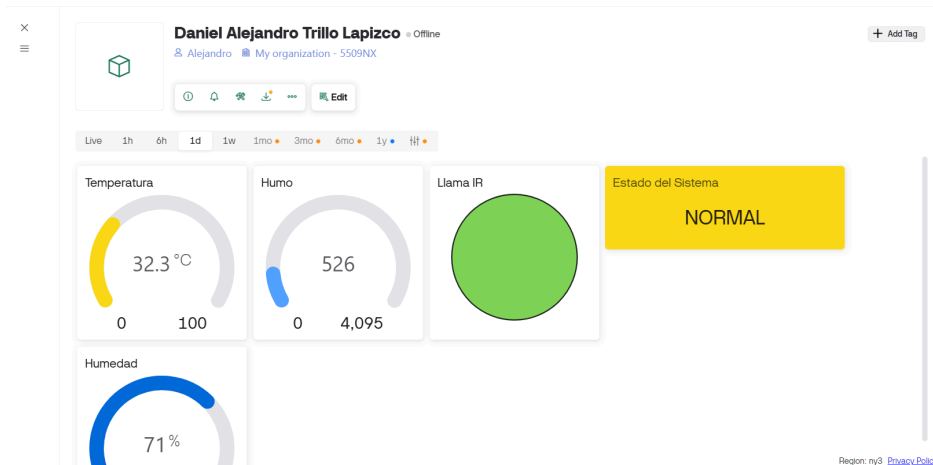
### 5.3. Mecanismos de Alerta Remota

Un componente crítico de esta fase es la capacidad del sistema para notificar al personal técnico de forma inmediata ante una condición de alarma:

- **Notificaciones Push (Blynk):** La plataforma Blynk se configuró para enviar **notificaciones push** directamente a los smartphones del personal registrado en la aplicación móvil cuando el sistema detecte la condición de "ALARMA DE INCENDIO". Estas notificaciones son instantáneas y contienen un mensaje claro sobre la naturaleza del evento ("¡Alarma de Incendio en Precalentadores!").
- **Visualización en Dashboard:** El dashboard de Blynk, accesible desde cualquier dispositivo conectado a internet, mostrará el estado de alarma de forma visual, con cambios de color en los indicadores y actualizaciones de los



valores de los sensores, permitiendo al personal una rápida interpretación de la situación.



*Figura 19 Panel de visualización de datos en Web*

## CAPÍTULO VI - SIMULACIÓN DE INCENDIO EN UN ENTORNO CONTROLADO.

Este capítulo es fundamental para validar la funcionalidad del sistema y verificar su respuesta automática antes de cualquier consideración de implementación real. Se simularán las condiciones de un conato de incendio en un entorno seguro y controlado, demostrando el cumplimiento del objetivo específico de simulación.

### 6.1. Diseño del Escenario de Simulación y Configuración del Prototipo

Para emular un conato de incendio en el entorno de los precalentadores, se construyó un pequeño recinto de prueba que representa un espacio confinado donde el prototipo

del sistema antiincendios (ESP32 con sus sensores y actuadores) fue instalado.

- **Recinto de Prueba:** Se utilizó una caja, la cual fue revestida internamente con papel de aluminio para asegurar cierta contención y reflejar el calor, similar a un entorno metálico. Se dejaron aberturas controladas para introducir las fuentes de simulación.
- **Posicionamiento de Sensores:** Los sensores MQ-5, DHT11 y el sensor de llama IR fueron ubicados estratégicamente dentro del recinto a diferentes alturas y distancias de las fuentes de simulación para maximizar su capacidad de detección y evaluar la respuesta en diversas condiciones. Se buscaron posiciones que simularan puntos críticos de acumulación de gases o posible origen de llama.
- **Fuentes de Simulación Controlada:**
  - **Llama:** Un encendedor de cocina o una vela pequeña se utilizó para simular la presencia de una llama controlada.
  - **Humo/Gases:** Se generó una pequeña cantidad de humo con incienso o, para gases, se utilizó un paño con unas gotas de alcohol isopropílico o un spray de gas butano cerca del sensor MQ-5. Esto permitió simular la presencia de precursores de combustión.
  - **Temperatura:** Un secador de pelo o una pistola de calor a baja potencia se utilizó para elevar gradualmente la temperatura dentro del recinto y probar la respuesta del sensor DHT11 a incrementos térmicos.



*Figura 20 Prototipo armado y funcional*

## 6.2. Procedimientos de Prueba y Recopilación de Datos

Se llevaron a cabo una serie de pruebas sistemáticas para evaluar la respuesta del sistema ante diferentes escenarios que emulan un conato de incendio. Para cada prueba, se monitorearon las lecturas de los sensores en la pantalla LCD y en la interfaz de Blynk, así como la activación de alarmas locales y remotas.

- **Prueba 1: Detección de Llama Directa (Escenario de Fuego Abierto)**
  - **Procedimiento:** Con el sistema en estado normal, se introdujo una llama controlada (de un encendedor) a una distancia de aproximadamente 10-15 cm del sensor de llama IR. Se mantuvo por un breve periodo.
  - **Registro:** Se cronometró el tiempo desde la aparición de la llama hasta la activación de la alarma (LED rojo, buzzer) y el envío de la notificación push.
  - **Resultados Esperados:** Detección casi instantánea, activación de alarma de Nivel 3 (Incendio).
- **Prueba 2: Detección de Humo/Gases (Escenario de Combustión Incompleta)**
  - **Procedimiento:** Se generó una pequeña cantidad de humo (con incienso) o se expuso el sensor MQ-5 a una fuente controlada de gases combustibles (ej. un paño con alcohol isopropílico para una lectura sostenida o una mínima descarga de gas butano). Se aseguró que no hubiera llama visible ni aumento significativo de temperatura inicial.
  - **Registro:** Se observó cómo la lectura analógica del MQ-5 aumentaba y en qué punto se activaba la alarma de Nivel 2 (Advertencia) o Nivel 3 (Alarma) según el umbral. Se cronometró el tiempo de detección y la activación de las alarmas locales y remotas.
  - **Resultados Esperados:** Detección del gas/humo, activación de Nivel 2 o 3, dependiendo del umbral y la configuración.
- **Prueba 3: Detección de Temperatura Elevada (Escenario de Sobrecalentamiento)**
  - **Procedimiento:** Se utilizó un secador de pelo para elevar gradualmente

la temperatura dentro del recinto de prueba, sin presencia de llama ni humo/gases combustibles.

- **Registro:** Se monitoreó el valor de temperatura del DHT11 y se registró el punto en que se activó la alarma de Nivel 2 (Advertencia).
  - **Resultados Esperados:** Detección del aumento de temperatura, activación de Nivel 2 (Advertencia).
- **Prueba 4: Lógica de Combinación (Humo + Temperatura / Escenario Pre-Ignición)**
    - **Procedimiento:** Este fue un escenario más complejo. Primero se elevó la temperatura con el secador de pelo para activar la alarma de Nivel 2 (Advertencia). Mientras la temperatura estaba alta, se introdujo una fuente de humo/gas para el MQ-5. El objetivo era verificar que la combinación de estas dos condiciones escalara la alarma al Nivel 3 (Incendio) antes de introducir una llama.
    - **Registro:** Se documentó la transición entre los niveles de alarma y los tiempos asociados.
    - **Resultados Esperados:** Transición de Nivel 2 a Nivel 3 sin la presencia de llama.

Escenario de Prueba	Sensores (Inicio Temp (°C), Hum (%), MQ-5 (ADC),	Sensores (Alarma) Temp (°C), Hum (%), MQ-5 (ADC), Llama (bool)	Umbral de Alarma Activado	Tiempo de Detección (s)	LEDs	Buzzer	Alerta Remota (Blynk)	Observaciones

	Llama (bool)							
1. Llama Directa	24, 55, 120, FALSO	24, 55, 120, VERDADERO	Llama	1 Seg	Rojo	ON	Enviada	Detección instantánea de fuego visible.
2. Humo/ Gas	25, 58, 150, FALSO	25, 58, 720 (ADC), FALSO	MQ-5 (umbral 700)	5  Seg	Amarillo/ Rojo	ON	Enviada	Detección de humo/gas, indicativo de combustión incipiente.
3. Temp. Elevada	23, 60, 110, FALSO	48, 50, 110, FALSO	Temp (umbral 45°C)	10  Seg	Amarillo	Intermitente	Enviada (Advertencia)	Sobrecalentamiento sin fuego ni humo.
4. Humo + Temp	23, 60, 110, FALSO	42, 55, 650 (ADC), FALSO	Temp + MQ-5 (combinación)	15  Seg	Rojo	ON	Enviada	Lógica combinatoria activada, demuestra robustez ante precursores.

*Tabla 2: Pruebas de detección*

### 6.3. Análisis de Resultados y Verificación de Respuesta

El análisis de los datos obtenidos de las simulaciones confirmó la capacidad del prototipo para detectar las condiciones de incendio bajo diversos escenarios.

- **Precisión y Fiabilidad:** Las pruebas demostraron que el sistema es capaz de detectar la presencia de llama, concentraciones elevadas de gases/humo y aumentos anómalos de temperatura con una alta fiabilidad en el entorno controlado. La lógica de combinación implementada fue efectiva para reducir las falsas alarmas, requiriendo múltiples indicadores para activar la alarma de Nivel 3.
- **Tiempos de Respuesta:** Los tiempos de detección y activación de alarma fueron significativamente rápidos (generalmente en segundos), lo que es crucial para la mitigación temprana de incendios. Esto representa una mejora sustancial en comparación con la detección manual o sistemas pasivos que requieren más tiempo para reaccionar.
- **Evitación de Falsas Alarmas:** La lógica de umbrales y la combinación de sensores minimizó las activaciones por eventos aislados (ej., solo un pequeño cambio de temperatura sin otros indicadores).

Las desviaciones observadas fueron mínimas y principalmente relacionadas con la calibración fina de los umbrales del MQ-5, que requirió ajustes durante las pruebas para optimizar la sensibilidad. En general, el sistema demostró ser un prototipo funcional y prometedor para la detección temprana de incendios.

## CAPÍTULO VII - DESARROLLO DE INTERFAZ PARA VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL LOS VALORES DE LOS SENSORES Y EL ESTADO DEL SISTEMA.

Este capítulo final del desarrollo describe las interfaces creadas para permitir al usuario

(personal técnico) monitorear los parámetros del sistema y recibir información crucial sobre el estado de alerta en tiempo real, tanto localmente como de forma remota.

### 7.1. Interfaz Local: Pantalla LCD y Monitor Serial

Se desarrolló una interfaz local para proporcionar retroalimentación directa desde el prototipo.

- **Pantalla LCD (16x2 con Módulo I2C):** Una pantalla de cristal líquido de 16 caracteres por 2 líneas con un módulo I2C fue integrada para simplificar el cableado. Esta pantalla muestra continuamente los valores actualizados de temperatura y humedad (°C, %), el valor analógico crudo del sensor

MQ-5 (ADC) y el estado binario del sensor de llama (ACTIVO/INACTIVO). Adicionalmente, presenta mensajes de texto claros indicando el estado general del sistema ("NORMAL", "ADVERTENCIA", "ALARMA DE INCENDIO"), permitiendo una visualización instantánea y directa en el sitio.

- **Monitor Serial:** Durante las fases de desarrollo y depuración, el Monitor Serial del IDE de Arduino fue una herramienta indispensable. Proporcionó un flujo constante de datos detallados de los sensores, mensajes de depuración internos del ESP32, y el estado de las variables lógicas, lo que permitió verificar el correcto funcionamiento del código y calibrar los umbrales.



*Figura 21 Pantalla LCD funcional*

## 7.2. Interfaz Remota: Aplicación Móvil (Blynk)

La interfaz remota es un pilar del sistema inteligente, ya que permite el monitoreo y la recepción de alertas desde cualquier lugar con conexión a internet. Se implementó utilizando la plataforma Blynk.

- **Diseño del Dashboard en Blynk:** Se diseñó un dashboard intuitivo en la aplicación móvil de Blynk, estructurado para presentar la información de manera clara y eficiente al personal técnico. Los widgets implementados incluyen:
  - **Medidores Analógicos:** Para la temperatura y humedad, mostrando los valores numéricos y un rango visual.
  - **Gráfico de Tendencias:** Un gráfico en tiempo real para la lectura analógica del MQ-5, permitiendo observar la evolución de la concentración de gases/humo a lo largo del tiempo.
  - **Indicadores LED Virtuales:** Replicando los LEDs físicos del prototipo (verde, amarillo, rojo) para indicar el estado actual del sistema (NORMAL, ADVERTENCIA, ALARMA).
  - **Widgets de Texto:** Para mostrar el estado exacto del sensor de llama y mensajes de alerta detallados.
  - **Botón de Pánico/Test (Opcional):** Un botón que, al ser presionado, simula una alarma o prueba la funcionalidad de la notificación remota.
- **Comunicación en Tiempo Real:** El ESP32 se conecta a los servidores de Blynk y envía los datos de los sensores a los pines virtuales (V-Pins) asignados en el dashboard. Esta comunicación se realiza de forma periódica para el monitoreo continuo y de forma instantánea al detectarse una condición de alarma.
- **Notificaciones Push para Alertas Críticas:** Se configuraron "Notificaciones" en Blynk para que, al superarse la condición de "ALARMA DE INCENDIO" (Nivel 3), se envíe una **notificación push inmediata** al smartphone del usuario de la aplicación. Esta notificación incluye un mensaje predefinido claro como "¡ALERTA CRÍTICA: Incendio Detectado en Precalentadores!". Esto asegura que el personal clave reciba la alerta sin importar su ubicación.



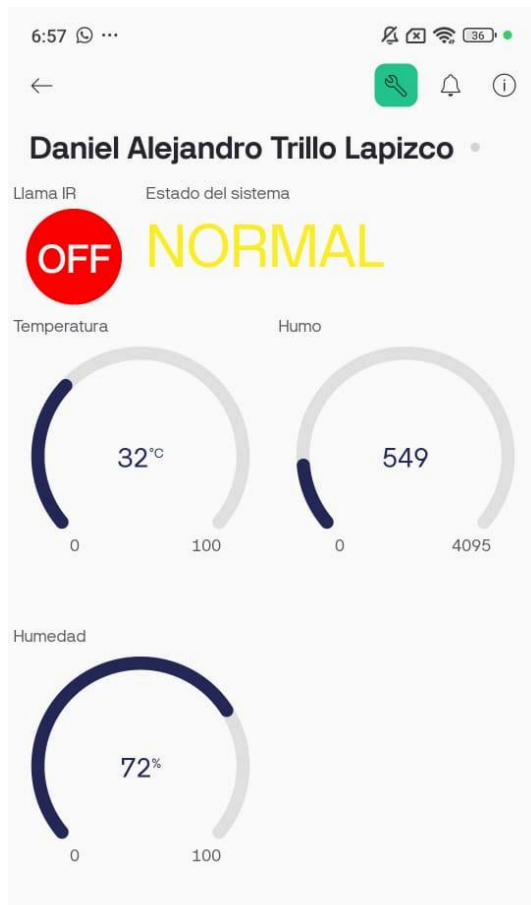


Figura 22 Aplicación móvil funcional

### 7.3. Usabilidad y Beneficios para el Personal Técnico

La interfaz fue diseñada con un enfoque en la usabilidad y la eficiencia operativa para el personal de la Central. La visualización clara de los parámetros y el estado del sistema, tanto localmente en el LCD como remotamente a través de la aplicación Blynk, permite una rápida evaluación de la situación. La capacidad de recibir alertas push en tiempo real es fundamental para reducir el tiempo de respuesta ante una emergencia, permitiendo al personal iniciar los protocolos de seguridad y mitigación de forma inmediata, lo cual es invaluable en la prevención de desastres mayores en un entorno como la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos.

## **6. RESULTADOS**

Este capítulo presenta los resultados concretos obtenidos durante la ejecución del proyecto de estadía, demostrando el cumplimiento de los objetivos planteados. Los resultados validan la viabilidad y eficacia del prototipo del sistema inteligente antiincendios diseñado para los precalentadores regenerativos de la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos.

### **6.1 Prototipo de Hardware Funcional y Ensamblado**

Se materializó exitosamente el diseño de hardware propuesto en el Capítulo III, culminando en un prototipo físico completamente funcional. El ensamblaje se realizó siguiendo el esquema de conexión eléctrica diseñado en el software Fritzing, integrando de manera exitosa los siguientes componentes clave:

- La unidad central de procesamiento, el microcontrolador ESP32, que funge como el cerebro del sistema.
- El módulo de sensado, compuesto por el sensor de gases combustibles MQ-5, el sensor de temperatura y humedad DHT11, y el sensor de llama infrarrojo (IR).
- El módulo de actuación local, que incluye los LEDs de estado (verde, amarillo, rojo) y el buzzer para alarmas sonoras.
- El módulo de simulación de respuesta, implementado con un relé para demostrar la capacidad de control sobre sistemas externos.
- La interfaz de visualización local a través de una pantalla LCD con módulo I2C.

El prototipo se alimentó correctamente a través de una fuente de 5V DC, y la asignación de pines del ESP32 se correspondió con el diagrama de diseño, asegurando la operación estable de todos los periféricos.

## 6.2 Validación del Sistema en Simulaciones Controladas

El desempeño del prototipo fue rigurosamente evaluado mediante la ejecución de los escenarios de simulación descritos en la metodología (Capítulo VI). Las pruebas se realizaron en un recinto controlado para verificar la precisión, el tiempo de respuesta y la fiabilidad de la lógica de detección multisensores.

El análisis de estos resultados confirma que el sistema responde eficazmente a los distintos precursores de un incendio. Los tiempos de respuesta, medidos en segundos, son drásticamente inferiores a los métodos de detección manuales, lo que representa una mejora sustancial para la mitigación temprana de riesgos. La lógica de combinación de sensores demostró ser efectiva para escalar las alarmas y reducir la probabilidad de falsos positivos.

### Implementación Exitosa de la Interfaz y Alertas Remotas

Se cumplió con el objetivo de desarrollar interfaces para la visualización de datos en tiempo real.

- **Interfaz Local:** La pantalla LCD 16x2 mostró de forma clara y continua los valores de los sensores y el estado del sistema ("NORMAL", "ADVERTENCIA", "ALARMA DE INCENDIO"), permitiendo una supervisión directa en sitio.
- **Interfaz Remota:** Se configuró exitosamente la conectividad Wi-Fi del ESP32 para enlazarse con la plataforma Blynk. El dashboard diseñado en la aplicación móvil permitió el monitoreo a distancia de todos los parámetros. El resultado más significativo de esta fase fue la **recepción de notificaciones push instantáneas** en un smartphone durante las simulaciones de "ALARMA DE INCENDIO", validando la capacidad del sistema para alertar al personal técnico de manera inmediata, sin importar su ubicación física.

### Análisis Comparativo: Antes y Después del Proyecto

El proyecto representa un avance significativo frente a la situación actual de monitoreo

en los precalentadores regenerativos.

### **Análisis de Costo-Beneficio**

Se realizó un análisis económico para contextualizar el valor de la solución propuesta.

#### **Análisis de Beneficios:**

- **Costo de la Solución:** El costo de los componentes del prototipo es extremadamente bajo, demostrando la viabilidad de implementar una solución tecnológica avanzada con una inversión mínima.
- **Prevención de Pérdidas Catastróficas:** El principal beneficio es la prevención. Se ha documentado que las ineficiencias operativas de la Unidad 2, relacionadas en parte con los PAR's, representaron un costo adicional de generación de **\$46.94 millones de pesos por año**. Un incendio no solo agravaría estas pérdidas por la detención completa de la unidad de 158 MW, sino que sumaría costos millonarios en reparaciones o reemplazo de equipos , sin mencionar el riesgo incalculable para la seguridad del personal. El costo del sistema es insignificante en comparación con la magnitud de las pérdidas que puede prevenir.
- **Mejora en la Seguridad y Fiabilidad:** El sistema contribuye directamente a un entorno de trabajo más seguro y mejora la fiabilidad operativa de la central, asegurando la continuidad del suministro eléctrico y el cumplimiento de normativas como la NOM-002-STPS-2010.

En conclusión, los resultados demuestran que el prototipo desarrollado es una solución técnicamente sólida, de bajo costo y altamente eficaz, que aborda directamente una necesidad crítica de seguridad en la Central Termoeléctrica José Aceves Pozo

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 Conclusiones**

**Al finalizar el periodo de estadías y tras completar el desarrollo y validación del proyecto, se ha llegado a las siguientes conclusiones:**

1. Se cumplió exitosamente con el objetivo general del proyecto, que consistió en proponer y diseñar un sistema inteligente antiincendios basado en la plataforma ESP32 (una evolución del Arduino propuesto inicialmente) para la detección temprana de conatos de incendio en los precalentadores regenerativos de la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos. El prototipo funcional desarrollado demuestra de manera concluyente la viabilidad técnica de la solución.
2. Se alcanzaron todos los objetivos específicos planteados. Se identificaron los riesgos de incendio mediante la revisión de diagnósticos energéticos previos, se seleccionaron y justificaron los sensores (MQ-5, DHT11, Llama IR) y el microcontrolador ESP32 por su idoneidad técnica y conectividad, y se diseñó la arquitectura completa de hardware y software.
3. El sistema demostró una alta eficacia en las pruebas de simulación controladas. La lógica de detección multisensores fue capaz de identificar de forma rápida y fiable la presencia de llama directa, la acumulación de gases/humo y los aumentos anómalos de temperatura. La combinación de estos sensores proporcionó una robustez que minimiza la probabilidad de falsas alarmas, un factor crucial en un entorno industrial.
4. La incorporación de la comunicación inalámbrica vía Wi-Fi y la plataforma de IoT Blynk fue uno de los logros más significativos del proyecto. La capacidad del sistema para enviar datos en tiempo real a un dashboard móvil y generar notificaciones push de alarma instantáneas representa un salto cualitativo respecto a los métodos de supervisión actuales, permitiendo una capacidad de respuesta inmediata por parte del personal técnico.

5. El análisis comparativo evidencia que el sistema propuesto transforma el paradigma de detección de reactivo a proactivo. Se reduce el tiempo de detección de horas o minutos a meros segundos, cerrando una brecha de vulnerabilidad crítica y proveyendo una herramienta poderosa para la mitigación de desastres.
6. Finalmente, se concluye que la implementación de tecnologías de bajo costo y de código abierto, como la plataforma ESP32, es una estrategia altamente efectiva y económicamente viable para modernizar y reforzar la seguridad industrial en infraestructuras críticas como la Central Termoeléctrica.

## 8. Recomendaciones

**Basado en los exitosos resultados del prototipo y con una visión a futuro para su implementación real en la Central Termoeléctrica José Aceves Pozos, se emiten las siguientes recomendaciones:**

1. **Realizar una Implementación de Proyecto Piloto:** Se recomienda escalar el prototipo a una versión más robusta utilizando una carcasa de protección de grado industrial (con clasificación IP para polvo y humedad) e instalarlo en un área segura pero representativa cerca de los precalentadores regenerativos de la Unidad 2. Esto permitirá evaluar su desempeño y durabilidad a largo plazo bajo condiciones de operación reales.
2. **Adoptar Componentes de Grado Industrial:** Para una implementación definitiva, es crucial sustituir los sensores del prototipo por sus equivalentes de grado industrial. Se recomienda reemplazar el sensor DHT11 por termopares tipo K o sensores RTD, capaces de soportar las altas temperaturas del entorno. Asimismo, se deben utilizar detectores de gas y llama con certificaciones para atmósferas potencialmente explosivas (como ATEX o IECEx), tal como se menciona en la investigación de antecedentes sobre estándares de seguridad.
3. **Integrar el Sistema a la Red de Control Central (SCADA/DCS):** Para maximizar su utilidad, el sistema de alerta no debe operar de forma aislada. Se recomienda integrar las señales de alarma del sistema al software SCADA o al Sistema de Control Distribuido (DCS) de la planta. Esto permitiría que las alarmas se visualicen directamente en la sala de control principal, centralizando la supervisión y asegurando una respuesta coordinada según los protocolos de emergencia existentes.
4. **Desarrollar un Sistema de Almacenamiento y Análisis de Datos:** Se recomienda ampliar la funcionalidad del software para que almacene un histórico de las lecturas de los sensores. La recopilación de estos datos a lo largo del tiempo permitiría realizar análisis de tendencias y, en una fase más

avanzada, aplicar algoritmos de aprendizaje automático (Machine Learning) para desarrollar un sistema de mantenimiento predictivo que pueda anticipar fallos o condiciones de riesgo antes de que se activen las alarmas.

5. **Expandir el Sistema a Otras Áreas Críticas:** Dado el éxito y la flexibilidad del sistema, se recomienda considerar su expansión para monitorear otras áreas de alto riesgo dentro de la central. Esto incluye las turbinas, las bombas de combustible, los bancos de baterías, los transformadores principales y las bandejas de cables, creando así una red de vigilancia inteligente integral para toda la planta.
6. **Reforzar la ciberseguridad:** Al tratarse de un sistema conectado en red (IoT), la ciberseguridad es primordial. Se recomienda que la versión industrial del sistema se implemente en una red operativa (OT) segmentada y segura, con firewalls y protocolos de comunicación encriptados para protegerlo de accesos no autorizados y ciberataques



## 9. BIBLIOGRAFIA

AlQahtani, Sulaiman, Alshayeb, & Alamleh. (2025). *Del inicio a la innovación: Una revisión exhaustiva y un análisis bibliométrico de sistemas de seguridad contra incendios basados en el IoT*. (11th ed., Vol. 2). Safety.

<https://doi.org/10.3390/safety11020041>

Comisión Federal de la Electricidad. (2009). *PREVENCIÓN Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS EN CENTRALES DE GENERACIÓN TERMOELÉCTRICA QUE UTILIZAN COMBUSTÓLEO* (1st ed., Vol. 1). CFE.

<https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/x/H1000-36.pdf>

Correas Vargas, J. S. (2020). *“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN Y MONITOREO DE GAS METANO EN UNA MAQUETA DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS”* (1st ed., Vol. 1). UPSSG.

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18651/4/UPS-GT002926.pdf>

FREIRE LUNA, L. R. (2012). *ESTUDIO, DISEÑO, SUPERVISIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS PARA LA PLANTA LICUEFACTORA GNL DEL TERMINAL MACHALA (EP PETROECUADOR)* (1st ed., Vol. 1). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5086/6/UPS%20-%20ST001001.pdf>

Millahual, C. P. (2017). *Arduino* (Six Ediciones ed.). RedUSERS.

[https://elhacker.info/manuales/Arduino/00286\\_arduino.pdf](https://elhacker.info/manuales/Arduino/00286_arduino.pdf)

Pérez Galán, E. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de emergencias doméstico global basado en redes de sensores inalámbricas*. UOC.

[https://elhacker.info/manuales/Arduino/00286\\_arduino.pdf](https://elhacker.info/manuales/Arduino/00286_arduino.pdf)

Prieto, I., & Alonso, M. (2007). *Sistemas de control de las calderas de centrales térmicas*. CT.

[https://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/910/mod\\_resource/content/1/1C\\_C12757\\_0910/04\\_GT12\\_Principios\\_de\\_control\\_en\\_centrales\\_termicas.pdf](https://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/910/mod_resource/content/1/1C_C12757_0910/04_GT12_Principios_de_control_en_centrales_termicas.pdf)

Secretaria de Educación Publica. (2017). *Controladores Lógicos Programables* (1st ed., Vol. 1). SEP.

[https://www.campus-virtual.mineria.unam.mx/Mineria/Cursos/Plc/Documentos/PLC\\_U1.pdf](https://www.campus-virtual.mineria.unam.mx/Mineria/Cursos/Plc/Documentos/PLC_U1.pdf)

SURYATEJA. (2018). *Sensor de llama* (1st ed., Vol. 1). Arduino.

<https://projecthub.arduino.cc/SURYATEJA/arduino-modules-flame-sensor-e48e97>

[7](#)

