



DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ALERTA POR SISMOS E INCENDIOS MEDIANTE APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA IOT, EN INSTALACIONES DE LA UNIVERSIDAD DR. ANDRÉS BELLO



Comisión de Acreditación de la
Calidad de la Educación Superior
UNIVERSIDAD DR. ANDRÉS BELLO (UNAB)
ACREDITADA
2019-2024



**Universidad
Dr. Andrés Bello**



*Facultad de
Tecnología e
innovación*

2026



**UNIVERSIDAD DR. ANDRÉS BELLO
SEDE SAN SALVADOR**

**NOMBRE DEL PROYECTO:
DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ALERTA POR SISMOS E INCENDIOS MEDIANTE
APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA IOT, EN LA UNIVERSIDAD DR. ANDRÉS BELLO**

**FACULTAD:
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN**

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

ÁREA TECNOLOGÍA

**DOCENTES INVESTIGADORES:
DANIEL ALBERTO GONZÁLEZ MORALES
KARIN CELINA RUGAMAS RIVERA
MARIO RENE RIVAS DOMINGUEZ
SAMUEL ALEJANDRO CANO**

**ESTUDIANTE INVESTIGADOR:
DARLIN NAN-SIN LIN HENRÍQUEZ**

AÑO 2026



Fin Institucional

Hacer de la investigación el medio idóneo para el descubrimiento sistemático de nuevos conocimientos que tiendan a enriquecer la realidad científica y social en su dimensión nacional e internacional.

Director Nacional

Roberto Hernández Rauda*

Correo electrónico:

roberto.rauda@unab.edu.sv

Dirección

1a Calle Poniente y 39 Avenida Norte,
No. 2128, Col. Flor Blanca, San Salvador.

Contacto

Tel.: (+503) 2510-7455 y

(+503) 2510-7429

<https://www.unab.edu.sv/>

* A quien debe dirigirse la correspondencia.

Cualquier reproducción total o parcial está permitida, sólo deberá hacerse citando de forma correcta la fuente.

El sello editorial no se responsabiliza de los contenidos de las páginas web enlazadas o referenciadas a esta publicación.

ISBN: 978-99961-65-68-9



9 789996 165689

Información de la Publicación

Título: Desarrollo de un sistema de alerta por sismos e incendios mediante aplicación de Tecnología IoT, en instalaciones de la Universidad Dr. Andrés Bello

Autores:

Daniel Alberto González Morales¹, Karin Celina Rugamas Rivera¹, Mario René Rivas Domínguez², Samuel Alejandro Cano³, Darlin Nan-sin Lin Henríquez⁴.

1. Docente Facultad de Tecnología e Innovación, Universidad Doctor Andrés Bello.
2. Investigador responsable área Tecnología, Dirección de Investigación y Proyección Social.
3. Investigador, Centro Regional San Miguel, Universidad Doctor Andrés Bello.
4. Estudiante Facultad de Tecnología e Innovación, Universidad Doctor Andrés Bello.

ISBN <E-Book >: 978-99961-65-68-9
SCDD 621.389 28

© 2026, Universidad Doctor Andrés Bello.

Código Institucional: SS/INV/H/2025.

Área de Investigación: Tecnología.

Línea de Investigación: Aplicaciones basadas en IoT para reducción de riesgo a desastres.

<https://doi.org/10.63326/dsas2026>

Contenido

PROLOGO.....	i
RESUMEN	ii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	2
MARCO REFERENCIAL	3
Internet de las cosas (IoT).....	3
Componentes IoT	3
Sistema de alerta temprana	4
Sismos.....	5
Ciclo Sísmico	6
Tipos de sismos.....	6
Escala de medición.....	7
Formas de detección de un sismo.....	7
Magnitud e intensidad de un sismo	8
Incendios	9
Tipos de incendio.....	9
Fuentes de ignición de los incendios.....	10
Sensores de detección	11
MÉTODOS.....	11
Metodología de Investigación.....	11
Localización y Descripción de la Zona de Estudio	12
Recursos informáticos	14
Hardware	14
Software.....	15
Delimitación del estudio	16
Limitaciones técnicas:	16
Alcance del proyecto.....	16
Producto y/o servicio final.....	16
Fases de desarrollo del sistema	16

DISEÑO DEL SISTEMA	17
Diagramas del sistema	17
Algoritmos de funcionalidad de sensores	19
PRUEBAS DEL SISTEMA.....	21
RESULTADOS DEL SISTEMA.....	24
Estructura del sistema	24
Detección de sismo.....	25
Detección de incendio.....	27
DISCUSIÓN	31
CONCLUSIONES.....	33
RECOMENDACIONES	34
REFERENCIAS.....	35
ANEXOS	37
Anexo 1. Recomendaciones en caso de sismos	37
Anexo 2. Evidencias de desarrollo de pruebas.....	40
Anexo 3. Evidencias de construcción del circuito del sistema.....	41
Anexo 4. Sensor de movimiento en funcionamiento.	42
Anexo 5. Dispositivo amplificador de sonido de alerta del sistema.	43

Índice de Tablas

Tabla 1. Especificaciones de placa o microcontrolador.....	14
Tabla 2. Especificaciones del sensor de flama.	14
Tabla 3. Especificaciones del sensor de humo.	15
Tabla 4. Especificaciones del sensor de vibración.....	15
Tabla 5. Descripción de prueba funcional del sensor de movimiento.....	21
Tabla 6. Descripción de prueba funcional del sensor de detección de calor.	22

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación de zona de estudio. Edificio E, Universidad Dr. Andrés Bello, San Salvador.....	13
Figura 2. Ubicación de zona de estudio. Edificio A, Universidad Dr. Andrés Bello San Miguel.	13
Figura 3. Diagrama general de conexión de placa raspberry con sensores.....	17
Figura 4. Diagrama de conexión del sensor de flama y la placa Raspberry Pi.....	18
Figura 5. Diagrama de conexión del sensor de movimiento y la placa Raspberry Pi	18
Figura 6. Diagrama de flujo de placa Raspberry Pi y sensores.	20
Figura 7. Evidencia del resultado de la prueba del sensor de movimiento.....	21
Figura 8. Evidencia de codificación del algoritmo para detección de movimiento.	22
Figura 9. Evidencia del resultado de la prueba del sensor de calor.....	23
Figura 10. Estructura de archivos del sistema.....	24
Figura 11. Código de funcionamiento para detección de sismos.....	25
Figura 12. Pantalla de resultado de monitoreo de sismos	26
Figura 13. Pantalla de simulador de un sismógrafo con datos de sensor de detección de movimiento.....	26
Figura 14. Bitácora de registro de sismos.	27
Figura 15. Código de funcionamiento de incendio.....	27
Figura 16. Código generador de alerta del sistema.....	28
Figura 17. Componentes del sistema instalado en Regional San Salvador.	29
Figura 18. Componentes del sistema instalado en Regional San Miguel.....	30

PROLOGO

En la actualidad, el avance de la tecnología ha permitido el desarrollo de soluciones en diferentes áreas, siendo una de ellas la prevención y mitigación de riesgos, sobre todo en ámbitos donde la seguridad y protección de los humanos es prioridad, por ello en el presente estudio se aplicaron diferentes mecanismos y dispositivos cuyo funcionamiento está basado en tecnología de Internet de las Cosas (IoT) tales como los sensores que permitieron detectar la ocurrencia de sismos e incendios.

Las instituciones educativas, debido a la alta concentración de personas en sus instalaciones, requieren de sistemas que contribuyan a mantener la seguridad de su comunidad académica, frente a amenazas naturales como sismos y antrópicas como incendios. La Universidad Dr. Andrés Bello no es ajena a esta realidad, por ello un grupo de docentes, investigadores y un estudiante de la Facultad de Tecnología e Innovación desarrollaron e implementaron un sistema de alerta de alerta por sismo e incendios con el propósito de dar una respuesta rápida y oportuna ante situaciones de emergencia.

Este proyecto no solo pretende aportar una solución tecnológica viable y escalable, sino también fomentar una cultura de prevención y el uso de la tecnología en beneficio de la comunidad universitaria. Asimismo, representa una contribución al campo de la investigación aplicada, demostrando cómo la integración de IoT puede convertirse en una herramienta de mucha utilidad para la gestión de riesgos y la protección de vidas humanas.

MBA. Iveth Escobar de Umanzor
Rectora
Universidad Doctor Andrés Bello

RESUMEN

El presente informe de proyecto trata sobre el desarrollo de un sistema de alerta por sismos e incendios mediante la aplicación de tecnología IoT, en instalaciones de la Universidad Dr. Andrés Bello, el cual tiene como finalidad detectar y alertar sobre la presencia de movimientos sísmicos y la ocurrencia de incendios a fin de mejorar la seguridad en la institución.

La problemática que dio origen a este estudio fue la carencia de sistemas de alerta temprana, en los edificios de la UNAB, lo cual es importante para resguardar la seguridad de los estudiantes, docentes, personal administrativo, mantenimiento y otros; que tienen permanencia en las instalaciones

La metodología de investigación: por la naturaleza del estudio, esta fase incluye la definición del enfoque metodológico para el desarrollo del sistema; el cual al ser un producto informático presenta el detalle de los dispositivos tecnológicos utilizados entre los cuales están los sensores para detección de: sismos y humo/temperatura para el caso de incendio, además, la descripción de la plataforma IoT como Raspberry Pi 4.0; también se describen las herramientas de software que permiten el procesamiento de las señales de los sensores y la generación de alertas.

El resultado principal de la investigación fue: la implementación de un sistema de alerta por sismos e incendios en el edificio E, regional San Salvador y el edificio A, regional San Miguel.

En conclusión, se puede decir que este proyecto proporciona una solución innovadora y escalable que aprovecha la tecnología IoT para fortalecer la seguridad en la Universidad Dr. Andrés Bello, mediante la detección de sismo e incendios y la generación oportuna de sus respectivas alertas, lo cual facilita la optimización de los protocolos de emergencia y la reducción de riesgo de exposición ante esos fenómenos por parte de estudiantes, personal y visitantes.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la implementación de tecnologías informáticas es fundamental para fortalecer diferentes procesos de la vida cotidiana siendo algunos de ellos la seguridad en espacios públicos y privados, los desastres naturales, como los sismos, y las emergencias provocadas por incendios representan una amenaza constante para la integridad de las personas y las infraestructuras, en este contexto, el Internet de las Cosas (IoT) se presenta como una solución innovadora para el monitoreo y la respuesta temprana ante situaciones de riesgo.

En el presente informe se describen todas las fases de desarrollo de un sistema de alerta por sismos e incendios basado en tecnología IoT, diseñado específicamente para las instalaciones de la Universidad Dr. Andrés Bello, edificio E, en la Sede San Salvador y Edificio A en la Sede San Miguel, sistema que permite la detección temprana de movimientos sísmicos y focos de incendio, generando alertas en tiempo real para facilitar la evacuación y la toma de decisiones oportunas.

La integración de sensores especializados, plataformas de procesamiento y comunicación en una aplicación de monitoreo permite no solo la automatización de las alertas, sino también el registro y análisis de los eventos, mejorando así la capacidad de respuesta y reduciendo potenciales daños, con este sistema se busca ofrecer una solución eficiente y adaptable que contribuya a la seguridad del personal, estudiantes y visitantes de la universidad.

El sistema diseñado e implementado está conformado por cuatro elementos principales que son: un microcontrolador (placa Raspberry Pi 4); dispositivo que permite la integración de tres sensores el primero detecta movimiento y está asociado con la detección de sismos; un acelerómetro que también detecta y cuantifica el movimiento y un sensor de flama o calor para poder detectar incendios en el edificio donde se instalen.

Importante mencionar el tipo microcontrolador utilizado, es mucho más potente que sus antecesores Arduino, lo cual indica que soporta una amplia variedad de sistemas operativos, lenguajes de programación y sensores, y además posibilita a futuro poder escalar el sistema diseñado de forma horizontal es decir agregando funciones mediante la interconexión de otros sensores que puedan medir otras variables físicas; pero también verticalmente mediante la transformación del sistema en una versión más robusta por ejemplo agregando un componente de comunicación y monitoreo; capaz de poder incluso almacenar datos históricos de los eventos de sismo e incendios que se registre.

OBJETIVOS

General

Desarrollar un sistema de alerta basado en dispositivos remotos que permita mitigar los daños que pueda ocasionar la ocurrencia de sismos e incendios.

Específicos

1. Identificar los requerimientos de información de un sistema de alerta mediante análisis y evaluación de las características de las principales amenazas de riesgo de ocurrencia de sismo e incendios.
2. Definir requerimientos del sistema, las variables de control, microcontrolador, sensores y actuadores que integrarán el sistema de alerta.
3. Diseñar un sistema de alerta por sismo e incendios basado en sensores que sirva como base para la programación de los componentes de la aplicación, e implementarlo en la Universidad a fin de ponerlo en producción.

MARCO REFERENCIAL

La presente investigación tuvo su fundamentación teórica en los siguientes conceptos:

Internet de las cosas (IoT)

Este término está muy relacionado con el tema de estudio y de acuerdo al sitio web de Amazon (2024) se refiere a “la red colectiva de dispositivos conectados y a la tecnología que facilita la comunicación entre los dispositivos y la nube, así como entre los propios dispositivos”.

Algunos factores que influyeron para el desarrollo de esta tecnología fue la reducción de los costos y de tamaño de los circuitos integrados de las computadoras y el acceso a servicios de telecomunicaciones en especial el internet con alto ancho de banda, todo esto ha permitido conectar diferentes dispositivos de uso diario al internet, lo cual facilita la automatización de muchas tareas.

Componentes IoT

Todo sistema basado en IoT está conformado por diferentes elementos que interactúan entre sí para definir el flujo de información de dicho sistema, según el sitio Tesswave (2023) los principales componentes de un sistema IoT son:

Sensores

Tienen como función principal detectar cambios en cualquier variable del entorno, luego emite una señal digital o analógica que emite hacia el microcontrolador.

Actuadores

Estos reciben señales procesadas en el microcontrolador lo cual permite que haga un cambio en el entorno del sistema, es decir tienen un funcionamiento opuesto a los sensores.

Conectividad y redes

Toda aplicación basada en IoT requiere que sus dispositivos de entrada y salida tengan un mecanismo de comunicación que puede ser mediante un cable que es el conductor de la señal e incluso de forma inalámbrica (infrarrojo, bluetooth o wifi).

Interfaz de usuario

Este componente puede ser una aplicación web la cual se puede programar e integrar en la placa del microcontrolador o por el contrario puede ser una aplicación móvil; en ambos casos tienen como propósito facilitarle al usuario tanto la configuración de los dispositivos que lo requiera, así también el control y monitoreo de las lecturas de los sensores.

Sistema de alerta temprana

De acuerdo al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2025), los sistemas de alerta temprana son: “herramientas cruciales para aumentar la resiliencia y salvaguardar vidas y medios de subsistencia en el contexto de los crecientes efectos del cambio climático en comunidades, sectores económicos y ecosistemas.”

Otra definición del PNUD (2025) es la siguiente: “son sistemas integrales diseñados para proporcionar advertencias oportunas que permitan actuar ante peligros inminentes de manera anticipada. Ello ayuda a las personas y a las comunidades a tomar medidas para reducir los riesgos y prepararse para posibles impactos”.

El término de alerta temprana incluye diversos procesos que van desde la vigilancia o monitoreo del fenómeno, hasta la predicción de peligros ocasionados por la ocurrencia de éste, pero también abarca un componente de evaluación del riesgo de desastres, y diversos mecanismos de comunicación a fin de que las personas que resulten expuestas a esos fenómenos tomen medidas oportunas. (INEE, 2024).

De acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial (2004, p. 398) el proceso de alerta temprana tiene una secuencia de elementos los cuales denomina.

Elementos de la cadena de alerta temprana

Los principales elementos de la cadena de alerta temprana son:

- Detección y pronóstico de eventos extremos inminentes, a fin de poder formular alertas a partir de conocimientos y monitoreo científicos y del estudio de los factores que influyen en la intensidad y frecuencia de los desastres;

- Difusión de información de alerta, unida al suministro de información sobre el posible impacto de un desastre en la población y en la infraestructura (por ej.: evaluación de la vulnerabilidad) a las autoridades políticas, para su entrega a la población amenazada, incluyendo las recomendaciones pertinentes para la adopción de medidas urgentes; y
- Respuesta a las alertas por la población en riesgo y las autoridades locales, a partir del adecuado conocimiento de la información y la posterior aplicación de las medidas de protección.

Los sistemas de alerta temprano se implementan para una diversidad de fenómenos entre ellos los dos que se contemplan en el presente estudio: sismos e incendios.

Sismos

López Badilla (2009, p.12), define un sismo como:

Movimientos convulsivos de la corteza terrestre, que se clasifican en microsismos, cuando son imperceptibles; macrosismos, cuando son notados por el hombre y causan daños en enseres y casas, y megasismos, cuando son tan violentos que pueden producir la destrucción de edificios, la ruina de ciudades enteras y gran número de víctimas. Los macrosismos y megasismos son los conocidos con el nombre de terremotos o temblores de tierra.

El estudio de los fenómenos sísmicos es el objeto de la Sismología. El origen del 90% de los terremotos es tectónico, relacionado con zonas fracturadas o fallas, que dejan sentir sus efectos en zonas extensas. Otro tipo están originados por erupciones volcánicas y existe un tercer grupo de movimientos sísmicos, los llamados locales, que afectan a una región muy pequeña. Éstos se deben a hundimientos de cavernas, cavidades subterráneas o galerías de minas; trastornos causados por disoluciones de estratos de yeso, sal u otras sustancias, o a deslizamientos de terrenos que reposan sobre capas arcillosas.

Ciclo Sísmico

Los sismos incluyendo los de mayor magnitud los cuales se denominan terremotos tienen cierta tendencia a repetirse tanto en el periodo, lugar de ocurrencia inclusive las variables de magnitud la cual se conoce también como intensidad; a todo este proceso de repetencia el cual puede entre décadas o siglos se le conoce como ciclo sísmico; además durante este periodo se da acumulación de energía, que al liberarse produce un sismo, fenómeno que tiene la capacidad incluso de ocasionar deformaciones de diferente tipo en el territorio afectado, el ciclo se cierra luego de acontecido el sismo en donde se tiene una fase de estabilidad o relajamiento; cabe mencionar que es frecuente que después de ocurrido un sismo de gran magnitud se produzcan en una serie de sismos de menor intensidad conocidos como réplicas.

Tipos de sismos

Según López Badilla (2009, p.12), los sismos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Volcánicos: directamente relacionados con las erupciones volcánicas. Son de poca intensidad y dejan de percibirse a cierta distancia del volcán.

Tectónicos: originados por ajustes en la litosfera. El hipocentro suele encontrarse localizado a 10 o 25 kilómetros de profundidad, aunque algunos casos se llegan a detectar profundidades de hasta 70 kilómetros.

Batisismos: su origen no está del todo claro, caracterizándose porque el hipocentro se encuentra localizado a enormes profundidades (300 a 700 kilómetros), fuera ya de los límites de la litosfera.

Tsunami.

Se le llama tsunami cuando las aguas de los mares son agitadas por los movimientos sísmicos cuando éstos se producen en su fondo o en las costas. A veces sólo se percibe una sacudida, que es notada en las embarcaciones; pero con frecuencia se forma por esta causa una ola gigantesca que se propaga por la superficie con la misma velocidad que la onda de la marea y que al estrellarse en las costas pueden ocasionar grandes desastres.

Escala de medición

Existen dos escalas para cuantificar la intensidad de un sismo, la primera de ellas conocida como Richter, que presenta la magnitud mediante la energía sísmica liberada, esta escala además se fundamenta en un logaritmo de magnitudes, cuya función principal es la medición de la fuerza en concordancia con la energía liberada, toma en cuenta además el cálculo de la máxima amplitud las ondas sísmicas, finalmente la magnitud se determina multiplicando por un factor de más de 30 correspondiente a los puntos de energía liberada.

La otra escala corresponde a la de Mercalli, la cual tiene un enfoque totalmente diferente ya que se fundamenta en los efectos o daños ocasionados en la infraestructura inmersa en el área de afectación del sismo, esta escala tiene un componente subjetivo ya que pondera la sensación percibida por la población afectada; en esta escala la intensidad se describe mediante la numeración romana desde el 1 al 12; indicadores que determinan la intensidad del sismo; debido a que toma en cuenta la percepción de la gente, la medición de un sismo en escala de Mercalli puede variar en diferentes sitios donde éste se haya reportado aun estando cerca estos lugares. (Universidad, 2017).

Formas de detección de un sismo

Según información publicada en la web por parte del Servicio Sismológico Nacional de la Universidad Autónoma de México (UNAM, 2025), existen dos maneras de registrar un fenómeno sísmico a través de dos dispositivos: los sismógrafos y acelerógrafos cuya función principal es detectar el movimiento en el suelo y sobre todo en el subsuelo producto de la propagación de ondas sísmicas, las cuales siguen una trayectoria en el terreno; el funcionamiento y operatividad de los dispositivos se basa en el principio físico de la inercia, el procedimiento de detección del movimiento consiste en colocar una masa suspendida por un resorte, inicialmente en condiciones de equilibrio o reposos durante cierto periodo de tiempo permaneciendo en constante monitoreo hasta la ocurrencia de un movimiento en el suelo, es decir un sismo; momento en el cual entra en funcionamiento otro dispositivo cuya función es dispersar tinta sobre un papel que gira en torno a un cilindro, posteriormente, según la longitud de la marca registrada en el papel se puede determinar la magnitud del sismo, el producto final es un gráfico cronológico de movimiento el cual se conoce como sismograma.

El proceso antes descrito corresponde al funcionamiento de los primeros sismógrafos diseñados sin embargo, este se ha mantenido en los sismógrafos modernos específicamente su base en el uso del principio físico de la inercia, la principal diferencia consiste en que los nuevos artefactos utilizados para el registro de sismos en la actualidad; están conformados por componentes mecánicos y/o electrónicos, estos tienen la capacidad de generar y obtener una señal eléctrica para la cuantificación del movimiento, esta señal pasa por una serie de procedimientos entre los cuales está su calibración; que permite determinar la intensidad del sismo proporcionalmente con la señal eléctrica y con el movimiento del suelo acontecido; otro valor agregado de estos dispositivos nuevos es que la señal generada puede digitalizarse y por consecuencia almacenarse en forma local o ser transmitida por algún medio de comunicación, como puede ser un teléfono celular, un radio o un satélite, y posteriormente mandarlo hasta un centro de adquisición, desde el cual se haga la difusión respectiva hacia la población.

Magnitud e intensidad de un sismo

La UNAM (2024); define estos términos de la siguiente manera:

Son escalas para medir el tamaño o el impacto de un temblor. La escala de magnitud se obtiene de forma numérica a partir de registros obtenidos por sismógrafos y está relacionada con el tamaño y la energía liberada durante un temblor. La escala de intensidad se asigna en función a los daños o efectos causados al hombre y sus construcciones. (párr. 5).

La magnitud de un temblor está relacionada con la energía liberada en forma de ondas sísmicas que se propagan a través del interior de la Tierra. Para calcular esta energía y determinar la magnitud de un temblor se realizan cálculos matemáticos basados en los registros obtenidos por los sismógrafos de diferentes estaciones. En estos registros o sismogramas se miden algunas características de las ondas y la distancia a la que se encuentra la estación del epicentro. Estos valores son introducidos a una fórmula, obteniendo así la magnitud. (párr. 6).

En el anexo 1, se presentan una serie de recomendaciones en caso de sismos lo cual fue importante tomar en cuenta para el desarrollo de la presente investigación.

Incendios

De acuerdo a la Universidad Autónoma de México (2015); un incendio se define como: “fuego de grandes proporciones que se desarrolla sin control, el cual puede presentarse de manera instantánea o gradual, pudiendo provocar daños materiales, interrupción de los procesos de producción, pérdida de vidas humanas y afectación al ambiente.”

Tipos de incendio

Existe una clasificación de incendios basada en el tipo de material y en la propagación del fuego y los cuales se describen a continuación:

Fuego Clase A: es aquel que se presenta en material combustible sólido, generalmente de naturaleza orgánica, y cuya combustión se realiza normalmente con formación de brasas.

Fuego Clase B: es aquel que se presenta en líquidos y gases combustibles e inflamables.

Fuego Clase C: es aquel que involucra aparatos y equipos eléctricos energizados.

Fuego Clase D: es aquel en el que intervienen metales combustibles. (UNAM, 2015).

El sitio web de Puertas ASTURMEX (2020) presenta también otras clasificaciones de sismo las cuales se listan a continuación:

Según el lugar

Incendios urbanos

En las grandes urbes se suelen dar incendios en casas o edificios, esto debido en gran parte a diversos descuidos humanos.

Incendios industriales

Las industrias son sitios en donde se almacenan, fabrican y manejan sustancias combustibles que son peligrosas e inflamables, sobre todo cuando no son manejadas por personal capacitado.

Incendios forestales

Otro de los tipos de incendios son los fuegos forestales, estos tienen tres subtipos: de copas (el fuego se extiende hasta las copas de los árboles), de superficie (arden

matorrales, herbáceas y hojas secas) y de subsuelo (arden las raíces de los árboles y otra materia orgánica).

Según su magnitud:

Conatos: Los incendios de estas dimensiones suelen ser pequeños y ofrecen la ventaja de que pueden ser apagados con extintores sin la necesidad de contactar a los bomberos, es necesario que las personas de un espacio sepan cómo usar un extintor y demás aparatos que sean capaces de apagar el fuego antes de que este aumente de tamaño y ponga en peligro las vidas de quienes están dentro del recinto.

Parcial: Los tipos de incendios con magnitudes parciales pueden darse en diferentes espacios, ya sea una casa, un edificio o cualquier otra instalación; el peligro de esta clase de fuego recae en que se sale de control rápidamente y termina por cubrir las instalaciones en poco tiempo, el control en este tipo de incendio no es viable, ya que los extintores no funcionan por la magnitud que tiene el fuego, por ello se recomienda que las personas que queden atrapadas se mantengan a salvo en las áreas de emergencia y esperen su rescate.

Total: tal y como lo dice su nombre, el incendio total es un evento completamente fuera de control, afectando a toda una casa, un edificio o cualquier otra área que se encuentre cerca; este tipo de fuego devora todo a su paso, por lo que es casi imposible combatirlo y muy difícil de apagar.

Fuentes de ignición de los incendios

De acuerdo a datos publicados por la revista Seguridad Minera (2017, párr. 3-10) se tiene la siguiente clasificación de fuentes de ignición:

Energía calorífica química a consecuencia de una reacción química. Puede generar calor por combustión, calor de descomposición, calentamiento espontáneo y calor por disolución.

Energía calorífica de origen eléctrico, originada por resistencia, calentamiento dieléctrico, calentamiento por inducción, calentamiento originado por corrientes de fuga, calor debido al arco eléctrico o por el calor debido a la electricidad estática.

Energía calorífica de origen mecánico causada por la fricción. Pueden originarse chispas, calor debido a la fricción y por la compresión.

Los focos de ignición necesarios para que se produzca un fuego son:

Focos térmicos. Acción de fumar o emplear útiles de ignición (mecheros y fósforos), instalaciones generadoras de calor hornos, calderas, etc.), rayos solares, soldadura u oxicorte, vehículos y máquinas a motor.

Focos eléctricos. Chispas, cortocircuitos, sobrecargas, cargas estáticas y descargas eléctricas atmosféricas.

Focos mecánicos. Chispas de herramientas, roces mecánicos y chispas zapato-suelo.

Focos químicos. Reacciones exotérmicas, sustancias reactivas y sustancias anti oxidables.

A continuación, se presenta información relacionada con la tecnología IoT utilizada para la detección de los fenómenos de este estudio.

Sensores de detección

Es un dispositivo diseñado para captar un estímulo de su entorno y traducir esa información que recibe. Esa información recibida es normalmente convertida a un impulso eléctrico que posteriormente es procesado por una serie de circuitos que generan una acción predeterminada en un aparato, sistema o máquina. Es un artefacto que en algunas aplicaciones transforma una clase de información en otra que se quiere medir o controlar. (SDI, parr. 2 2022)

En la sección de métodos se presenta una descripción detallada de los sensores considerados en el desarrollo del sistema.

MÉTODOS

Metodología de Investigación

La metodología de investigación utilizada fue la prospectiva la cual de acuerdo a Supo (2012), se centra en recolectar datos a propósito del estudio; por ello se hizo una cuantificación de los datos provenientes de las pruebas efectuadas con los diferentes sensores con el propósito de calibrarlos, con el fin que los datos sean confiables al momento de emitir una alerta de sismo o incendio por parte del sistema.

El nivel de investigación que se adecuó al presente estudio fue el aplicativo, ya que según Supo (2012, p. 3); este “plantea resoluciones de problemas y se enmarca en la innovación técnica y científica”; para el caso ofrecer una solución tecnológica respecto a la detección

de ocurrencia de sismos e incendios y comunicarlo a la población universitaria a la mayor brevedad con el propósito de poder mitigar los daños que dichos fenómenos naturales puedan ocasionar.

Respecto al diseño de la investigación se eligió el no experimental, porque no se cuentan con condiciones para la manipulación de variables, sino más bien, se realizaron pruebas con los sensores las que indicaron los parámetros que activen el sistema de alarma.

La matriz de datos fue la técnica de recolección utilizada debido a la naturaleza del estudio dicha tabla la conformaron las fechas, el identificador del sensor y el valor de medición del sensor.

Las unidades del estudio se conformaron por el conjunto de sensores utilizados que con base a su parámetro de medición ya sea de movimiento o flama se generaron los datos de activación de alarma por parte del sistema.

Localización y Descripción de la Zona de Estudio.

La presente investigación tiene como radio de actuación dos sedes Regionales de la Universidad Doctor Andrés Bello, en las cuales se implementó el sistema de alerta temprana por sismo e incendios: la primera en las instalaciones del Edificio E de la Sede San Salvador, específicamente en laboratorio de electricidad y electrónica, y la segunda en el laboratorio de inocuidad alimentaria ubicado en el edificio A de la sede regional de San Miguel, a fin de resguardar toda la población estudiantil y personal académico y administrativo.

Figura 1.
Ubicación de zona de estudio. Edificio E, Universidad Dr. Andrés Bello, San Salvador.

Mapa de ubicación del Edificio E, UNAB San Salvador

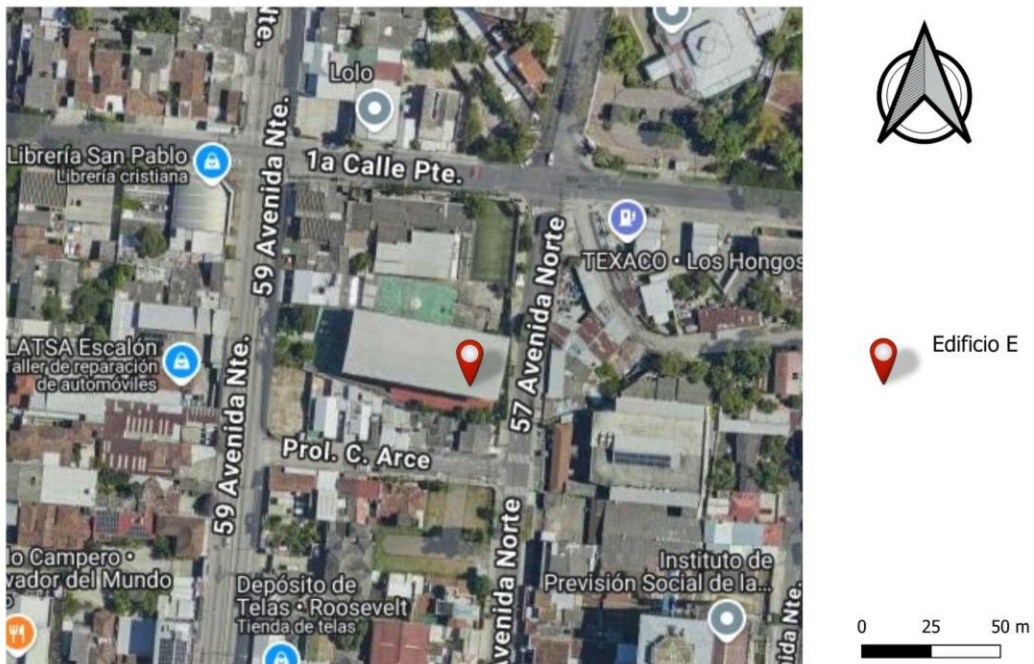
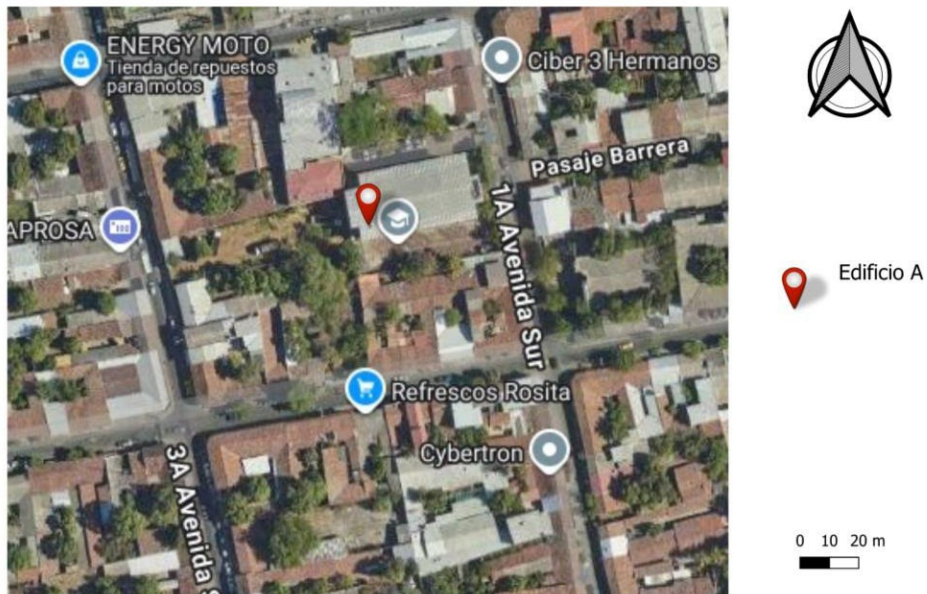


Figura 2.
Ubicación de zona de estudio. Edificio A, Universidad Dr. Andrés Bello San Miguel.

Mapa de ubicación del Edificio A, UNAB San Miguel



Recursos informáticos

El desarrollo del presente estudio implicó el uso de diferentes tipos de recursos los cuales se clasificaron en hardware, software, datos y su descripción se detalla a continuación:

Hardware

Tabla 1.

Especificaciones de placa o microcontrolador.

Característica	Especificación
Placa	Raspberry Pi 4 Modelo B con RAM de 4GB
Nombre del Sistema Operativo	Raspberry OS
Tipo de sistema	GNU/Linux ARM (Debian, Raspberry Pi OS (versión adaptada de Debian), Fedora, Arch Linux), RISC OS
Procesador	Broadcom BCM2711, Quad coreCortex-A72 (ARM v8) SoC de 64 bits a 1,5 GHz
Memoria física instalada (RAM)	SDRAM LPDDR4-3200 de 4 GB
Almacenamiento	Ranura para tarjeta microSD (para cargar el sistema operativo y almacenar datos)
Alimentación	USB-C / 5.1v 3A
Conexión a internet.	Wi-Fi doble banda: 2.4 GHz / 5 GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac, Bluetooth 5.0 BLE, Puerto RJ45 GigaBit Ethernet

Tabla 2.

Especificaciones del sensor de flama.

Característica	Especificación
Nombre del sensor	Módulo KY-026 Sensor de Flama
Pin (es) de entrada	VCC, GND, A0
Pin (es) de salida	D0
Tipo de salida	Digital (D0) / Analógica (A0)
Alimentación	5V (generalmente)

Tabla 3.
Especificaciones del sensor de humo.

Característica	Especificación
Nombre del sensor	Sensor de humo y gas MQ-2
Pin (es) de entrada	VCC, GND, A0
Pin (es) de salida	D0
Tipo de salida	Digital (D0) / Analógica (A0)
Alimentación	5V

Tabla 4.
Especificaciones del sensor de vibración.

Característica	Especificación
Nombre del sensor	Sensor de Vibración SW-420
Pin (es) de entrada	VCC, GND
Pin (es) de salida	D0
Tipo de salida	Digital (D0)
Alimentación	5V

Software

Este apartado contempla una diversidad de herramientas informáticas requeridas para poner en funcionamiento el sistema, las cuales con base a su función se pueden categorizar en:

Tabla 5.
Herramientas de software

Herramienta	Utilidad
Python	Lenguaje de código abierto cuya utilidad fue generar los algoritmos de activación de los sensores.
Visual studio code	Robusto editor de código que soporta diferentes lenguajes de programación entre ellos Python, se utilizó para codificar los diferentes algoritmos relacionados con los sensores.
Rpi.GPIO	Librería de Python cuya función principal fue controlar los pines de entrada y salida de la placa Raspberry Pi y asociarlos en el algoritmo.

Delimitación del estudio

Limitaciones técnicas:

Una limitante que se tuvo fue el sistema operativo a instalar en la placa Raspberry pi, ya que se hicieron pruebas con diferentes sistemas y versiones, sin embargo, el modelo de placa utilizado solo funcionó con el sistema Raspberry OS.

Al momento de seleccionar los sensores se consideró en sus especificaciones que fueran compatibles con la placa a fin de garantizar la obtención de resultados confiables.

Alcance del proyecto

El presente proyecto considera los siguientes entregables:

Producto y/o servicio final

Se implementó el sistema de sismos y alertas tempranas cuyo propósito es la detección oportuna de estos fenómenos, a fin de salvaguardar la vida de alumnos, personal administrativo, docentes y otros relacionados la universidad Dr. Andrés Bello, edificio “E”, San Salvador y edificio “A”, San Miguel.

Técnicamente el estudio en fase final del proyecto consistió en la construcción del circuito capaz de controlar los movimientos sísmicos que hayan, y de acuerdo a la magnitud del movimiento se genera una alerta en forma de mensaje y sonora para comunicar oportunamente a la población sobre la ocurrencia del fenómeno, poder evacuar el área afectada y buscar un lugar seguro, de igual manera con la detección de humo e incendios, se pudo detectar a través de un circuito donde se está ocasionando el siniestro y así evitar la exposición de población de la UNAB y salvaguardar los bienes materiales de la universidad.

Fases de desarrollo del sistema.

A continuación, se describen las etapas de construcción del sistema de alerta:

- ❖ Análisis de requerimientos: consistió en realización de la factibilidad técnica del proyecto definiendo los componentes de hardware del microcontrolador y los sensores a utilizar y de software.

- ❖ Diseño y programación del sistema: se desarrollaron una serie de diagramas de conexión de los sensores y el microcontrolador; así también se codificaron los algoritmos que permiten accionar los sensores y la cuantificación de las señales que estos emiten y la activación de diferentes mensajes de alertas.
- ❖ Desarrollo de pruebas: en esta fase se definieron diferentes procedimientos que sirvieron para verificar la funcionalidad de cada uno de los sensores, de manera individual e integrados con la placa o microcontrolador.
- ❖ La implementación del sistema consistió en la instalación de todos los dispositivos, sensores y la puesta en marcha del sistema de alerta.

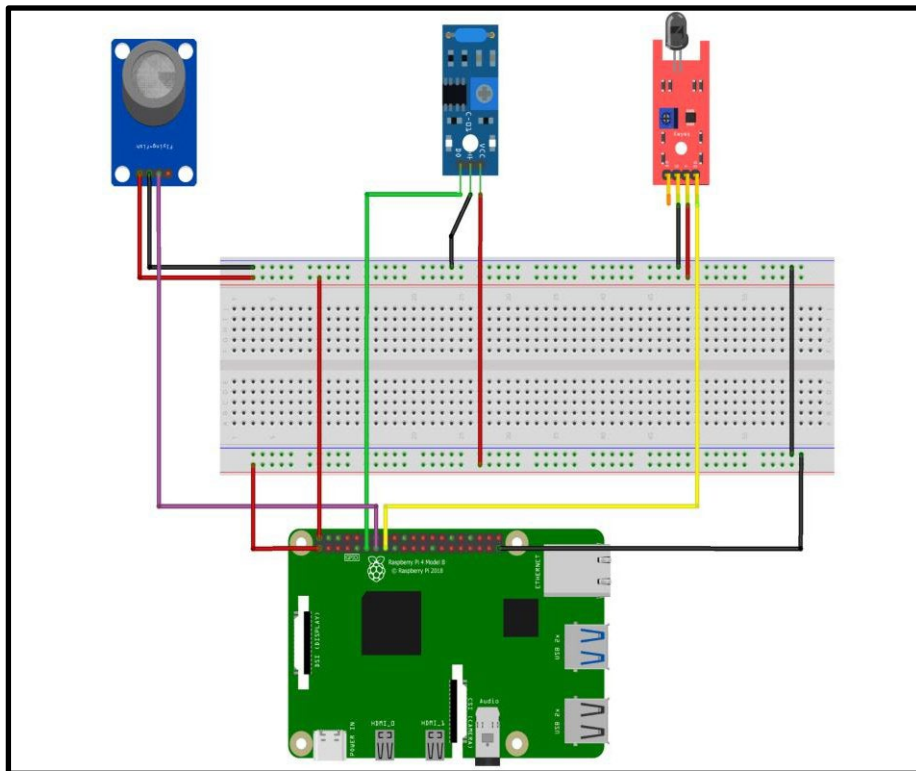
DISEÑO DEL SISTEMA

Diagramas del sistema

El funcionamiento del sistema está fundamentado en la construcción de un circuito cuyo diagrama se muestra en la figura 3, lo cual dio paso a la construcción circuito físicamente y el resultado se ve en el anexo 3.

Figura 3.

Diagrama general de conexión de placa raspberry con sensores.



El diagrama general que describe la conexión entre los tres tipos de sensores utilizados y la placa raspberry, y tal como se muestra en la figura 3 cada uno va conectado a diferente pin, para ello se considera el tipo de señal con la que este trabaja ya sea digital o analógica.

A continuación, se presentan por separado los diagramas de cada uno de los sensores utilizados en el prototipo.

Figura 4.

Diagrama de conexión del sensor de flama y la placa Raspberry Pi.

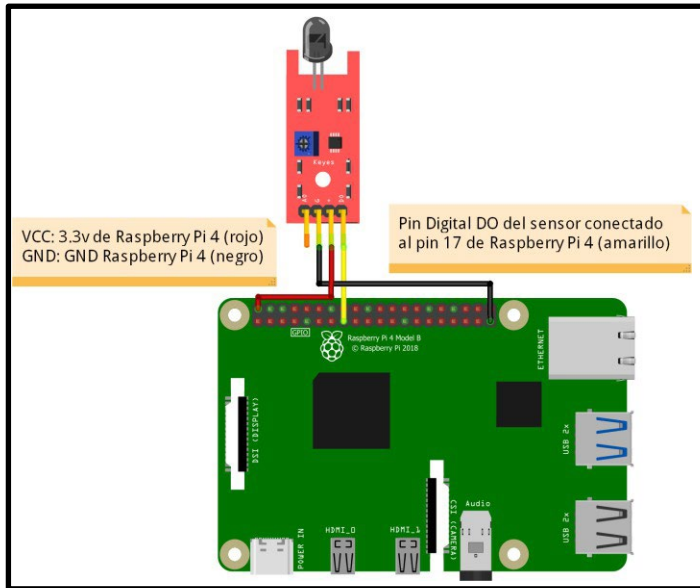
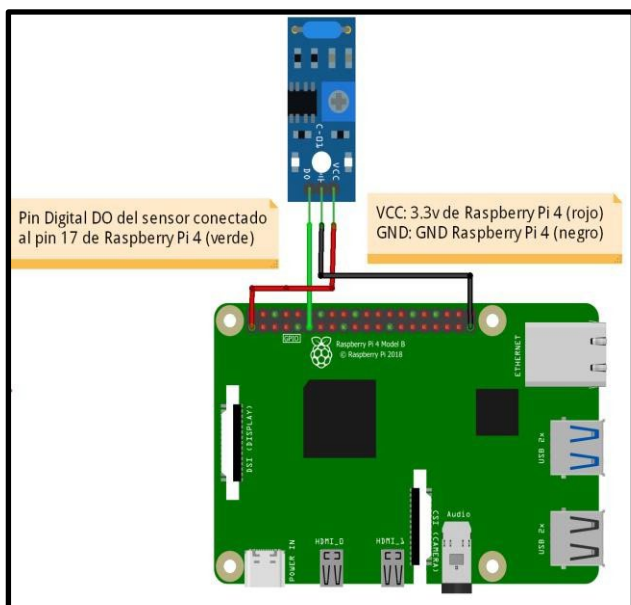


Figura 5.

Diagrama de conexión del sensor de movimiento y la placa Raspberry Pi.



Algoritmos de funcionalidad de sensores

Algoritmos para sensor de movimiento: el código implementado en esta sección importa las librerías a utilizar, luego hace una detección de movimiento y de acuerdo al resultado muestra un aviso de posible sismo o iniciando alarma si detecta un movimiento más fuerte.

Algoritmos para sensor de detección de humo: a continuación se detalla paso a paso la codificación sobre el funcionamiento del sensor para la detección de humo, lo cual se relaciona con la ocurrencia de un incendio, similar al sensor de movimiento la ejecución del algoritmo incluye el proceso de importar una serie de librerías de funcionamiento general de la Raspberry Pi así como del tiempo, como resultado final se tiene la activación de una alerta por incendio producto de la señal que recibe un pin al momento detectar gas en este caso humo.

Los dos procedimientos antes descritos están representados en la figura 6 mediante el uso de un flujograma que describe el proceso general del funcionamiento del sistema que inicia con la lectura periódica de los sensores; luego evalúa el parámetro de lectura y finalmente según el valor que arroje el sensor se determina la ocurrencia del fenómeno que este detecte y se emite la respectiva alarma.

Figura 6.
Diagrama de flujo de placa Raspberry Pi y sensores.

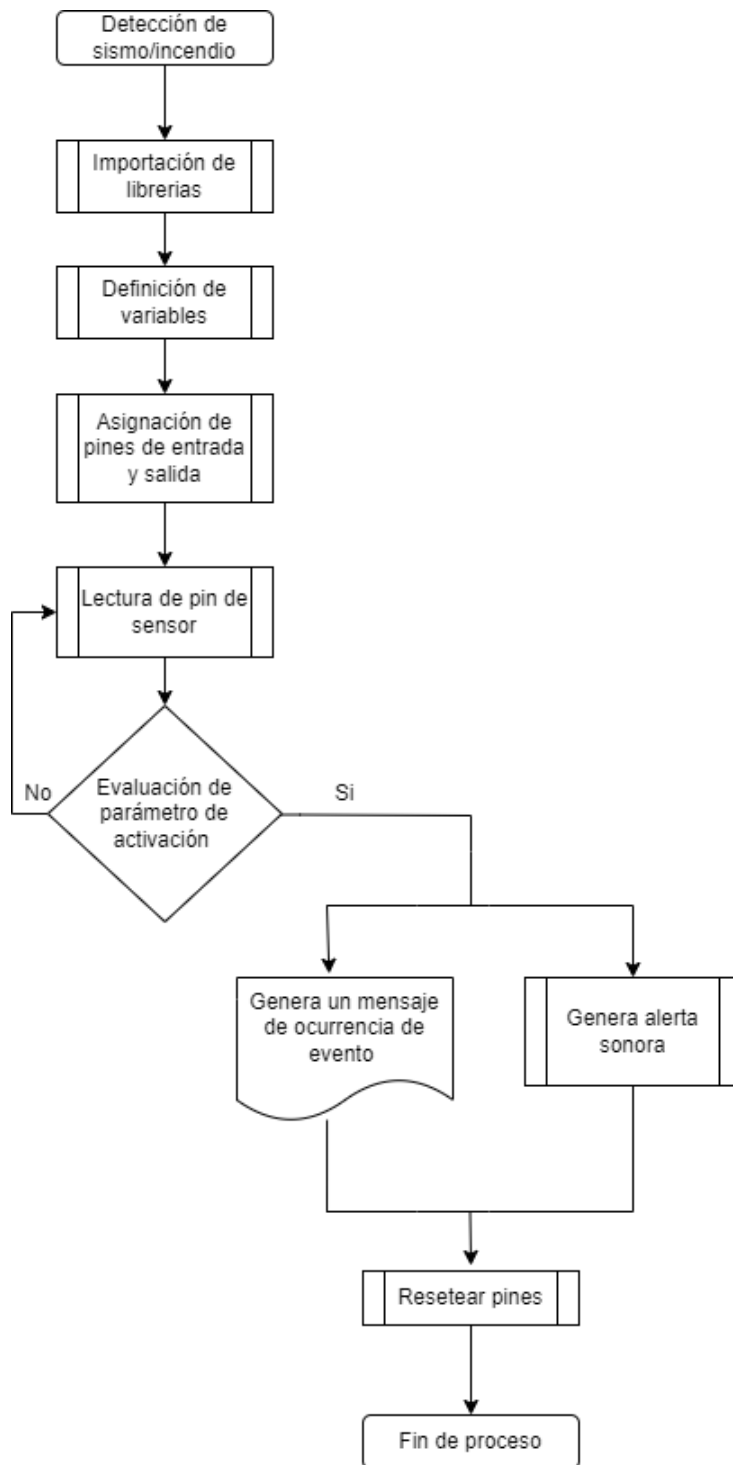
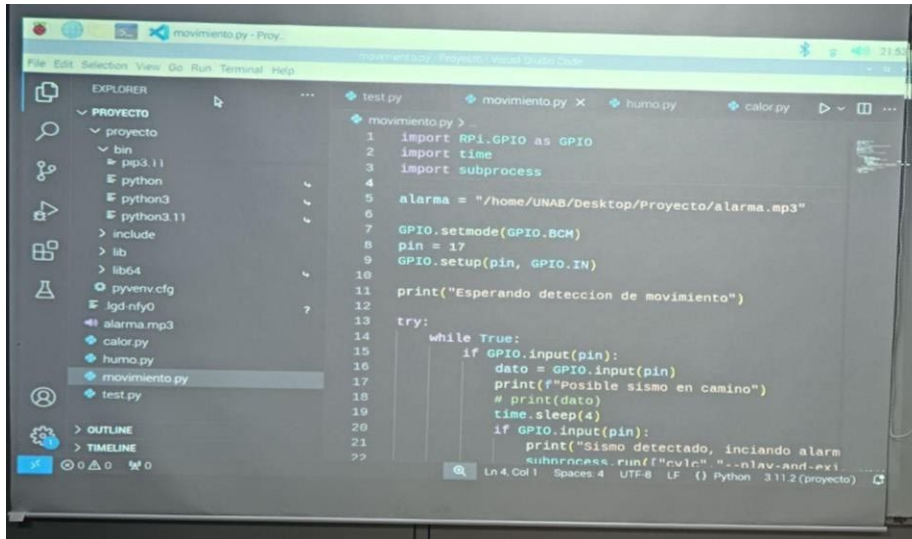


Figura 8.

Evidencia de codificación del algoritmo para detección de movimiento.



```
1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 import subprocess
4
5 alarma = "/home/UNAB/Desktop/Proyecto/alarma.mp3"
6
7 GPIO.setmode(GPIO.BCM)
8 pin = 17
9 GPIO.setup(pin, GPIO.IN)
10
11 print("Esperando detección de movimiento")
12
13 try:
14     while True:
15         if GPIO.input(pin):
16             dato = GPIO.input(pin)
17             print(f"Posible sismo en camino")
18             # print(dato)
19             time.sleep(4)
20             if GPIO.input(pin):
21                 print("Sismo detectado, iniciando alarma")
22                 subprocess.run(["mpv", "-noplay-and-exit", "alarma.mp3"])
```

Tabla 6.

Descripción de prueba funcional del sensor de detección de calor.

Nombre	Prueba del sensor calor
Condiciones	Se simuló la flama encendiendo un papel y se acercaba y alejaba al sensor, el tiempo de lectura del sensor fue de tres milisegundos.
Tipo de sensor	Módulo KY-026 Sensor de Flama
Resultados	Se obtuvieron dos resultados el primero un valor correspondiente al valor de salida del sensor 1 presenta el mensaje “posible incendio detectado” y 0 presenta mensaje “no se detecta calor”, en caso de ser valor 1 también emite una alerta sonora.

Figura 9.
Evidencia del resultado de la prueba del sensor de calor.

```

Terminal Help
calor.py > _
1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 import subprocess
4
5 alarma = "/home/UNAB/Desktop/Proyecto/alarma.mp3"
6
7 GPIO.setmode(GPIO.BCM)
8 pin = 22
9 GPIO.setup(pin, GPIO.IN)
10
11
12 try:
13     while True:
14         dato = GPIO.input(pin)
15         if dato==1:
16             print(dato)
17             print(f"Posible incendio detectado")
18             print("Incendio detectado, inciendo alarmas")
19             subprocess.run(["cvlc","--play-and-exit",alarma])
20         else:
21             print(dato)

```

```

PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL PORTS
no se detecta calor
0
no se detecta calor
0
no se detecta calor
0
no se detecta calor
0
1
Posible incendio detectado
Incendio detectado, inciendo alarmas
VLC media player 3.0.21 Vetinari (revision 3.0.21-0-gdd8bfd8)
[00000055a7f06ba0] dummy interface: using the dummy interface module...

```

Ln 23, Col 25 Spaces 4 UTF-8 LF Python 3.11.2 (proyecto)

Tabla 8.
Evidencia del resultado de la prueba del sensor de gas (humo).

Nombre	Prueba del sensor de gas
Condiciones	Se produjo humo encendió una página de papel y se acercó al sensor, el tiempo de lectura del sensor fue de tres milisegundos.
Tipo de sensor	Sensor de humo y gas MQ-2
Resultados	Se obtuvieron dos resultados el primero un valor correspondiente al valor de salida del sensor 1 presenta el mensaje “posible incendio detectado” y 0 presenta mensaje “no se detecta calor”, en caso de ser valor 1 también emite una alerta sonora.

RESULTADOS DEL SISTEMA

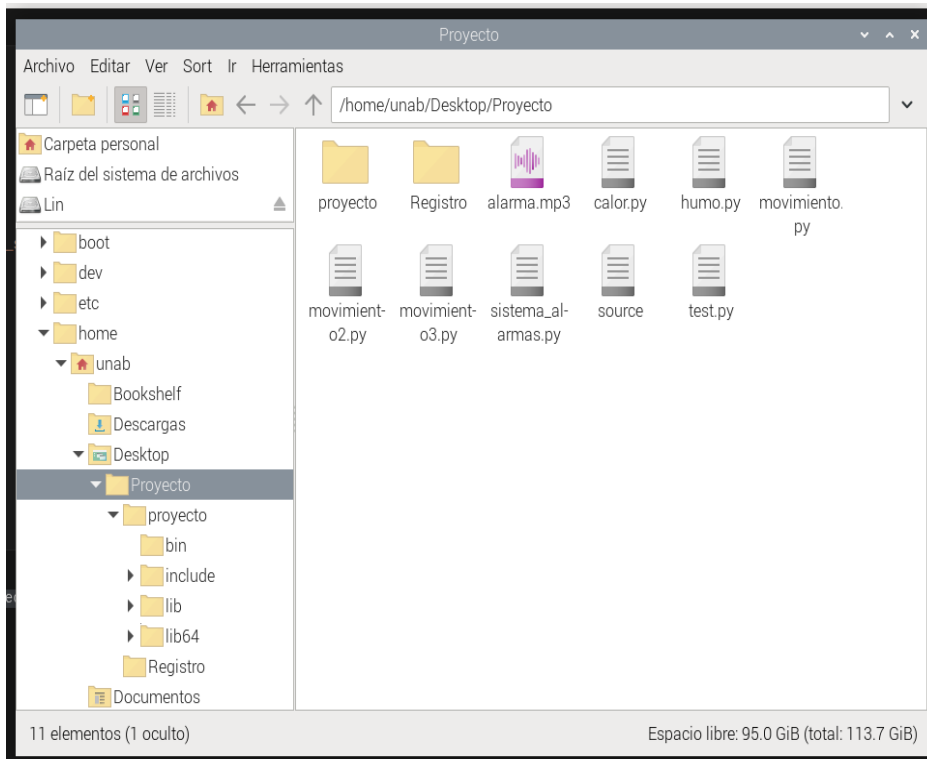
Estructura del sistema

Para el funcionamiento del sistema de alerta temprana por sismo e incendio se definió un directorio de carpetas que contienen los diferentes componentes del sistema concentrados en archivos y entre los cuales se encuentran: dos carpetas principales una denominada proyecto, donde están los algoritmos en Python de cada uno de los sensores, además se tiene un archivo denominado source cuya funcionalidad es ejecutar una secuencia de instrucciones para iniciar el sistema de forma automática.

La segunda carpeta se denomina Registro y contiene una bitácora conformada por hojas de cálculo de Excel en las cuales se guardan los diferentes fenómenos registrados especificando su fecha de ocurrencia.

Figura 10.

Estructura de archivos del sistema.



Detección de sismo

Para poder registrar en el sistema la ocurrencia de un sismo se hizo uso de un sensor de movimiento cuyo funcionamiento (ver anexo 4), el cual se basa en la detección de vibraciones acontecidas en terreno, un factor importante fue la calibración de éste dispositivo la cual se hizo mediante la regulación de un potenciómetro cuya función es modificar el grado de sensibilidad de detección del movimiento, para poder hacer una buena calibración se realizaron una serie de pruebas a fin de no generar falsos positivos de sismos.

De igual forma se desarrolló un algoritmo a fin de poder obtener datos del sensor de movimiento mediante un monitoreo continuo que consiste en consultar cada tres segundos en caso de no detectar movimiento el sensor envía dato cero al microcontrolador y se genera un mensaje que indica la ausencia del fenómeno; pero en caso de haber un movimiento leve se genera un primer mensaje alertando de posible sismo a futuro, y si el movimiento continúa el sensor vuelve a enviar el valor de 1 reiteradamente al microcontrolador, que a su vez muestra en pantalla el mensaje “sismo detectado” y a su vez generando una alerta sonora reproducible en todo el edificio, indicando a la población la evacuación inmediata del inmueble.

Figura 11.

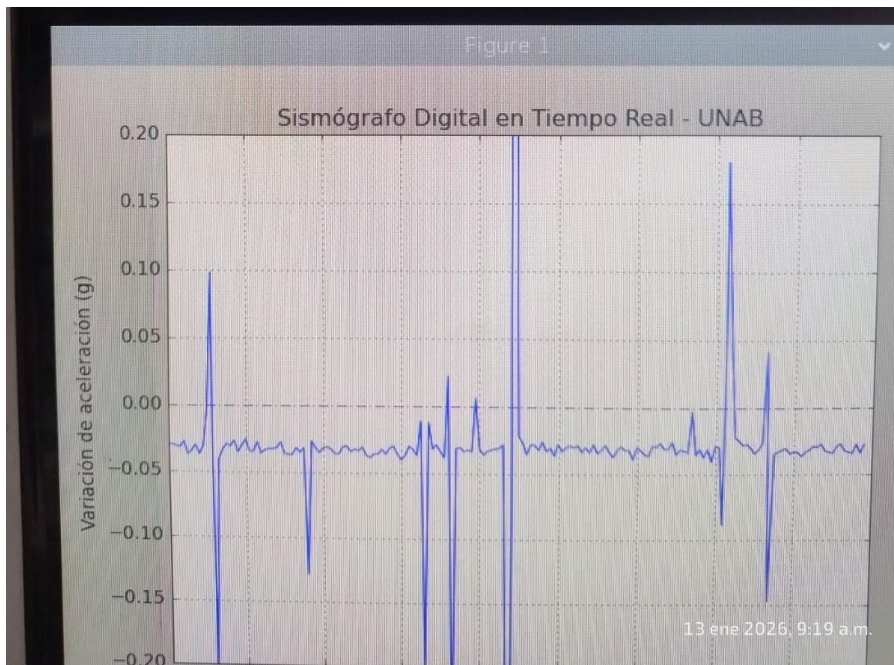
Código de funcionamiento para detección de sismos.

```
sistema_alarmas.py > ...
22 def guardar_registro(mensaje):
23     pass
24     pass
25     pass
26     else:
27         workbook = Workbook()
28         sheet = workbook.active
29         sheet.append(["Hora", "Evento"])
30
31         hora_actual = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")
32         sheet.append([hora_actual, mensaje])
33         workbook.save(archivo_excel)
34         print(f"Registro guardado en Excel: {hora_actual} - {mensaje}")
35
36 print("Esperando deteccion de movimiento")
37
38 try:
39     while True:
40         if GPIO.input(sensor1) or GPIO.input(sensor2):
41
42             print("Posible sismo en camino")
43             guardar_registro("Posible sismo en camino")
44
45             time.sleep(2)
46
47             if GPIO.input(sensor1) or GPIO.input(sensor2):
```

Figura 12.
Pantalla de resultado de monitoreo de sismos.

```
PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL PORTS
Sismo no detectado
Sismo no detectado
Sismo no detectado
Sismo no detectado
Sismo no detectado
Sismo no detectado
Sismo no detectado
Sismo no detectado
Sismo no detectado
Sismo no detectado
Posible sismo en camino
Registro guardado en Excel: 2025-10-30 10:54:43 - Posible sismo en camino
Sismo detectado, iniciando alarmas
VLC media player 3.0.21 Vetinari (revision 3.0.21-0-gdd8bfdbabe8)
[000000559952e690] dummy interface: using the dummy interface module...
[00000055994c8650] main playlist: end of playlist, exiting
Registro guardado en Excel: 2025-10-30 10:54:54 - Sismo detectado, inicio de alarmas
Sismo no detectado
Sismo no detectado
Sismo no detectado
Sismo no detectado
Sismo no detectado
Sismo no detectado
Sismo no detectado
Sismo no detectado
Sismo no detectado
Sismo no detectado
```

Figura 13.
Pantalla de simulador de un sismógrafo con datos de sensor de detección de movimiento.



El proceso de la detección del sismo termina cuando se realiza el registro de los datos a través de almacenamiento automático de fecha y hora de ocurrencia del sismo en una hoja de cálculo de Microsoft Excel tal como se muestra en la figura 14.

Figura 14.
Bitácora de registro de sismos.

	A	B	C
1	Fecha / Hora	Evento registrado	
2	2025-10-30 10:49:15	Posible sismo en camino	
3	2025-10-30 10:49:24	Posible sismo en camino	
4	2025-10-30 10:49:31	Posible sismo en camino	
5	2025-10-30 10:49:36	Posible sismo en camino	
6	2025-10-30 10:49:46	Sismo detectado, inicio de alarmas	
7	2025-10-30 10:53:34	Posible sismo en camino	
8	2025-10-30 10:53:45	Posible sismo en camino	
9	2025-10-30 10:53:58	Posible sismo en camino	
10	2025-10-30 10:54:08	Sismo detectado, inicio de alarmas	
11	2025-10-30 10:54:09	Posible sismo en camino	
12	2025-10-30 10:54:19	Sismo detectado, inicio de alarmas	
13	2025-10-30 10:54:43	Posible sismo en camino	
14	2025-10-30 10:54:54	Sismo detectado, inicio de alarmas	
15	2025-10-30 10:55:13	Posible sismo en camino	
16			
17			

Detección de incendio

Similar al caso del registro de un sismo, se realizó un procedimiento para poder detectar un incendio para ello se utilizó un sensor de gas y humo MQ2 , el cual por proximidad de gas genera una señal digital que se envía al microcontrolador siendo ésta cero en caso de ausencia de gas o humo y uno en caso de presencia, el monitoreo de la lectura del sensor se hace de forma automática cada diez segundos periodo prudencial para poder detectar el incendio y emitir una alerta sonora similar a la de sismo; una particularidad de este sensor es que utiliza como medio de comunicación la red Wifi mediante un módulo ESP8266 lo cual permitió instalar el sensor en la biblioteca de la universidad ubicada a una distancia de 15 metros de las instalaciones donde esta placa microcontroladora, esto permitirá a futuro instalar más sensores en otras zonas del campus de la universidad.

Figura 15.
Código de funcionamiento de incendio.

```
# Flama
if flama == 0 and not flama_registrada:
    print(" Flama detectada")
    guardar_evento("Flama detectada", "KY-026", "Activado")
    flama_registrada = True
if flama == 1:
    flama_registrada = False

time.sleep(0.5)
```

Código que genera alarma

Luego de haberse detectado un fenómeno ya sea un sismo o incendio el sistema genera una alerta sonora para la cual se utilizaron un relé para hacer la función de interruptor, es decir, solo activar la alarma durante el tiempo programado que son cinco minutos, para poder alertar a la población se reproduce el sonido mediante bocinas y un dispositivo amplificador como el que se muestra en el anexo 5 el código que genera esa alarma es el siguiente:

Figura 16.

Código generador de alerta del sistema.

```
# -----  
# ALARMA MP3 + RELÉ  
# -----  
alarma_activa = False  
  
def alarma_mp3_con_relay():  
    global alarma_activa  
  
    print("    Alarma activada por 5 minutos")  
    GPIO.output(PIN_RELAY, GPIO.HIGH)  
  
    pygame.mixer.init()  
    pygame.mixer.music.load(MP3_ALERTA)  
    pygame.mixer.music.play(loops=-1)  
  
    time.sleep(300)  
  
    pygame.mixer.music.stop()  
    GPIO.output(PIN_RELAY, GPIO.LOW)  
  
    alarma_activa = False  
    print('    Alarma desactivada, sistema listo otra vez')
```

El sistema fue implementado con todos sus componentes en dos localidades: el laboratorio de electrónica en el Edificio E de la Sede Regional San Salvador (figura 17) y en el laboratorio de inocuidad alimentaria en el Edificio A de la Sede Regional San Miguel (figura 18), cabe mencionar que los dispositivos sonoros en ambos casos están localizados fuera de los laboratorios a fin de que pueda percibirse la alerta del sistema en todo el edificio.

Figura 17.
Componentes del sistema instalado en Regional San Salvador.



Figura 18.
Componentes del sistema instalado en Regional San Miguel.



DISCUSIÓN

El desarrollo del sistema implementado se fundamenta en tres sensores; dos para la detección de sismos como son el SW-420 que corresponde a un sensor de movimiento cuya sensibilidad puede variar según el valor establecido en el potenciómetro; sin embargo al tener una salida digital no permite conocer la intensidad del movimiento para poder superar esta limitante se utilizó un acelerómetro ADXL335, el cual permite detectar el movimiento en tres dimensiones y además poder genera gráficos que indican una escala correspondiente a la intensidad del movimiento equivalente a la magnitud del sismo; situación similar a la planteada en el estudio de (Casique Bojorquez, 2023); quien usa un acelerómetro para detectar sismo, lo que difiere con el presente estudio es el modelo; más no en la lógica de detección a través del algoritmo.

En el caso de la detección de incendio se hizo uso del sensor de flama MQ2 el cual de acuerdo a UNIT electronics (2025) tiene la ventaja que genera dos tipos de señales una digital y una analógica la sensibilidad se regula mediante un potenciómetro para ajuste de la sensibilidad del sensor y es capaz de detectar longitudes de onda de llama en un rango de 760nm a 1100nm; sin embargo, de acuerdo a las pruebas realizadas con el sistema se logró detectar flama entre los 30 a 50 centímetros es decir un mayor alcance en la detección de incendio respecto a lo planteado por UNIT electronics.

Es importante mencionar que si bien es cierto los sensores utilizados tienen buena sensibilidad y de alguna manera precisión si lo comparamos con sistemas estándares como el caso de los sismos reportado por U.S. Geological Survey (s.f.) la precisión de estos últimos es mayor debido a que se basan en una red mundial de sismógrafos cuyos alcance de detección son mayores respecto a los de sensores, la diferencia estriba en el algoritmo y sobre todo la capacidad de procesamiento de la información entre un servidor y un microcontrolador como raspberry pi.

Por tratarse de un sistema de alerta temprana un factor importante es la latencia entre la ocurrencia del evento y la emisión de la alarma para el caso en ambos fenómenos la alerta sonora se emite aproximadamente tres segundos después de ocurrido el evento; esto es similar con lo especificado en el estudio realizado por Sotomayor Verdugo (2012), en cuyo sistema de alerta tarda seis segundos en emitir la alerta, pero también tiene una diferencia basada en el tipo de alerta ya que en dicho estudio es por medio de correo electrónico y mensajería móvil y en esta investigación es sonora.

El impacto en el funcionamiento del sistema debido a la distancia entre los sensores tanto de movimiento como de flama respecto al controlador (placa raspberry), no fue significativo a pesar que la conexión fue mediante cable utp es decir un calibre delgado y de estar ubicados los sensores a una distancia de aproximadamente 3 metros, no generaron más latencia en el

proceso de envío y recepción de señal de la detección ya sea de movimiento o flama; sin embargo también el sistema puede presentar algunos comportamientos irregulares respecto a su funcionamiento ante condiciones adversas como vibraciones no sísmicas por ejemplo las que pueden generarse por tránsito de vehículos pesados en calles aledañas al edificio donde se instalaron los sensores esto se logró contrarrestar mediante la calibración del potenciómetro del sensor a través las pruebas realizadas; pero aun con todos esos ajustes el sistema no está totalmente libre de generar lo que se conoce como falsos positivos.

El alcance de los sensores resultó ser un factor crítico, en el caso de los sensores de movimiento, la cobertura depende en gran medida de la calidad del acoplamiento estructural de los edificios, lo que dificulta garantizar un rendimiento homogéneo en edificaciones diferentes. En los dispositivos para detección de incendios, el alcance se vio limitado por la circulación de aire y la distribución espacial; en zonas amplias o con obstáculos, la detección se retrasó.

Una de las desventajas de los sensores utilizados fue el corto periodo de vida útil lo cual es consecuente con su bajo costo, sin embargo; el monitoreo continuo de la lectura de los sensores permite detectar este fallo mediante la bitácora de registro de eventos, lo cual a su vez permite realizar el cambio de sensor de manera oportuna.

El sistema de alerta diseñado e implementado tiene otro componente fundamental que corresponde a los algoritmos de programación los cuales fueron desarrollados en Python y Arduino plataformas que tienen la capacidad de poder interactuar con hardware.

Los sensores para el caso de movimiento, acelerómetro y de flama así como de actuadores en este caso la emisión de un sonido con los dos tipos alertas generadas por el sistema, su programación se concentró en pocas líneas de código lo cual convierte a estos algoritmos en eficientes y escalables y que a su vez permitieron una integración entre módulos (sismo–incendio–alerta) y una sincronización entre sensores y unidad de control; es importante destacar que en caso de ocurrir ambos eventos simultáneamente se le dio prioridad a la detección de sismo; pero con una diferencia de dos segundos entre la emisión de ambas alertas lo cual es un valor insignificante.

Las alarmas generadas por el sistema demostraron ser eficaces en la mayoría de los ensayos; no obstante, surgieron problemas relacionados con el nivel de ruido ambiental de algunos espacios.

En general, las alertas por sismos generaron respuestas más rápidas que las alertas por incendio, debido a la mejor sensibilidad del sensor de movimiento respecto al sensor de flama que requiere que el fuego esté en un rango de distancia que oscile entre 30 y 85 centímetros.

El sistema de alerta por sismos e incendios fue estable y consistente y dio cumplimiento a los requerimientos de información planteados al inicio de la presente investigación.

CONCLUSIONES

El desarrollo de un sistema de alerta temprana para la detección de sismos e incendios mediante tecnología IoT permitió demostrar que es posible implementar soluciones tecnológicas de bajo costo y eficiencia para mejorar la seguridad institucional en la Universidad Dr. Andrés Bello.

La integración de sensores de movimiento y flama, una placa Raspberry Pi 4, cuyo funcionamiento fue con base a algoritmos de monitoreo continuo, lo cual permitió obtener un sistema funcional capaz de identificar señales tempranas de riesgo y emitir alertas sonoras y visuales oportunas.

Los resultados de las pruebas evidenciaron que el sistema logra detectar vibraciones asociadas a movimientos sísmicos, así como la presencia de flama correspondientes a escenarios de incendio, siendo la calibración de los sensores un factor determinante para reducir falsos positivos y asegurar una lectura precisa de las variables monitoreadas.

Mediante la realización de un simulacro institucional se confirmó que el tiempo de respuesta de las alertas es adecuado para una evacuación rápida, del personal de la universidad convirtiendo el sistema implementado en una herramienta clave para poder ejecutar los protocolos de emergencia institucional.

El diseño y programación modular del sistema, así como la integración de herramientas de software libres como Python específicamente la librería Rpi.GPIO, permitió construir una solución escalable, que puede ampliarse mediante la incorporación de nuevos sensores, sistemas de comunicación inalámbrica o plataformas de almacenamiento de datos en la nube.

Aunque se identificaron limitaciones asociadas a la vida útil de los sensores, la estabilidad ante vibraciones externas y la sensibilidad del hardware utilizado, estas pueden mitigarse mediante

procesos de calibración periódica, reemplazo preventivo de componentes y mejoras futuras en el diseño. El estudio también reveló que, pese a no igualar la precisión de equipos profesionales de monitoreo sísmico, el sistema cumple adecuadamente su función dentro de la universidad.

La implementación del sistema de alerta demostró que la tecnología de sensores es una herramienta viable para fortalecer la gestión del riesgo ante desastres en las instalaciones del Edificio E en la sede San Salvador y el Edificio A de la sede San Miguel; contribuyendo a la protección de estudiantes, docentes, personal administrativo y visitantes, mejorando los tiempos de respuesta y reforzando la cultura de prevención dentro de la institución.

RECOMENDACIONES

Aunque este estudio logró desarrollar y evaluar con éxito un sistema de alerta por sismos e incendios, con el propósito de implementar mejoras en el futuro se sugiere lo siguiente:

1. Realizar calibraciones periódicas de los sensores: Se recomienda establecer un protocolo de calibración regular para los sensores de movimiento y flama, con el fin de asegurar que mantengan su sensibilidad adecuada y evitar falsos positivos o fallas en la detección o sustituir sensores en caso de desperfectos.
2. Debido a la vida útil limitada de los sensores utilizados, es conveniente implementar un plan de reemplazo preventivo que garantice la continuidad del funcionamiento del sistema y minimice riesgos por desgaste o deterioro.
3. La efectividad del sistema depende también del factor humano, por lo que se recomienda desarrollar talleres sobre protocolos de respuesta, evacuación y uso del sistema de alerta.
4. Realizar simulacros integrados periódicos que permitan verificar el desempeño real del sistema en condiciones controladas, evaluar tiempos de respuesta, identificar posibles fallas y fortalecer la cultura preventiva en la universidad.

REFERENCIAS

Amazon Web Services. (2025). ¿Qué es IoT (Internet de las cosas)?. Recuperado de:

<https://aws.amazon.com/es/what-is/iot/>

Casique Bojorquez, P. S. (2023). Diseño e implementación de un detector de sismo.

Recuperado de: <https://repositorio.uch.edu.pe/handle/20.500.12872/893>

Fortinec. (2025). ¿Qué es IoT? Definición del Internet de las cosas. recuperado de

<https://www.fortinet.com/lat/resources/cyberglossary/iot>

INEE. (2024). Sistemas de alerta temprana. Recuperado de: <https://inee.org/es/normas-minimas>

López Badilla, G. (2009). Simulación metodológica de un detector de sismos: (ed.). Santa Fe, Argentina, Argentina: El Cid Editor | apuntes. Recuperado de

<https://elibro.net/es/ereader/unabsv/29475?>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (s.f.). ¿QUÉ SON LOS SISMOS? ¿Qué hacer cuando ocurren? Recuperado de

https://www.undp.org/sites/q/files/zskgke326/files/2023-02/Folleto_SISMOS_%20PNUD_V4.pdf

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2025). ¿Qué son los sistemas de alerta temprana y por qué son importantes para la acción climática?. Recuperado de:

<https://climatepromise.undp.org/es/news-and-stories/que-son-los-sistemas-de-alerta-temprana-y-por-que-son-importantes-para-la-accion>

Puertas ASTURMEX. (2020). Tipos de incendios. Recuperado de

<https://puertasasturmex.com/blog/tipos-de-incendios/>

UNIT electronics (2025). Sensor de Flama KY-026. Recuperado de:

https://uelectronics.com/producto/sensor-de-flama-ky-026/?srsltid=AfmBOoorNiJilsGaOI5cgbu1FxFYShZKD6c33iQ2ONOnLIAny_FEs_YRa

Universidad Autónoma de México (2024). Servicio Sismológico Nacional. Preguntas frecuentes.

Recuperado de:

<http://www.ssn.unam.mx/divulgacion/preguntas/#:~:text=Los%20sism%C3%B3metros%20son%20instrumentos%20altamente,sismo%2C%20as%C3%AD%20como%20su%20terminaci%C3%B3n.>

SDI.(2022). Como funcionan los sensores. Recuperado de

<https://sdindustrial.com.mx/blog/sensores/>

Universidad. (8 de septiembre de 2017). ¿Cuáles son las formas de medir un

terremoto. *Universidad*. Recuperado de <https://www.unidiversidad.com.ar/cuales-son-las-formas-de-medir-un-terremoto#:~:text=Para%20caraterizar%20los%20terremotos%20se,sensaci%C3%B3n%20percibida%20por%20la%20gente>

<https://www.unidiversidad.com.ar/cuales-son-las-formas-de-medir-un-terremoto#:~:text=Para%20caraterizar%20los%20terremotos%20se,sensaci%C3%B3n%20percibida%20por%20la%20gente>

Seguridad Minera. (2025). ¿Cuáles son las fuentes de ignición de los incendios? Recuperado

de <http://www.revistaseguridadminera.com/emergencias/cuales-son-las-fuentes-de-ignicion-de-los-incendios/>

Sotomayor Verdugo, E. (2012). Estudio de un sistema de comunicación satelital para alerta y reacción ante eventos sísmicos. Recuperado de:

https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112126/cf-sotomayor_ev.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Supo J. (2012). Seminarios de Investigación Científica. Recuperado de:

<https://ecobiouvm.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/08/sipro-sinopsis-del-libro.pdf>

Tesswave. (2023). Los 7 componentes principales del ecosistema IoT. Recuperado de:

<https://www.tesswave.com/es/components-of-the-iot-ecosystem/>

U.S. Geological Survey. (s.f.).Earthquakes. recuperado de

<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/?extent=9.79568,-151.25977&extent=58.95001,-38.75977>

ANEXOS

Anexo 1. Recomendaciones en caso de sismos

La Dirección General de Protección Civil, dependencia del ministerio de Gobernación ante la posibilidad de experimentar la amenaza de un posible sismo de gran magnitud en el territorio nacional, brinda las recomendaciones necesarias sobre cómo hacer y actuar a partir del momento y lugar donde se encuentre.

A partir de que los movimientos telúricos son inesperados y sorprendidos, es necesario ante todo mantener la calma y evitar el pánico para evitar otro tipo de incidentes.

Se recomienda, ante todo, realizar periódicamente ejercicios de evacuación y primeros auxilios.

ANTES DE UN SISMO EN CASA

- ❖ Elabore su Plan de Emergencia Familiar.
- ❖ Tenga lista la Mochila de Emergencia (botiquín y documentos personales).
- ❖ Si va a construir una vivienda, asegúrese que sea resistente a sismos.
- ❖ Reúna a su familia para definir de forma participativa las responsabilidades de cada miembro en caso de un sismo, así como definir las rutas de evacuación.
- ❖ Retire los objetos pesados ubicados en partes altas de su vivienda.

DURANTE UN SISMO

- ❖ No corra mientras tiembla.
- ❖ Aléjese de ventanas y objetos inestables que pueden caer.
- ❖ Aléjese de árboles y cables eléctricos.
- ❖ Asegúrese de cortar el suministro de gas y electricidad de su vivienda para evitar posibles incendios.

DESPUÉS DE UN SISMO

- ❖ Ponga en práctica el Plan de Emergencia Familiar.

- ❖ Verifique si sufrió lesiones, emplee la Mochila de Emergencia o de ser necesario, pida ayuda a las autoridades competentes.
- ❖ Infórmese sobre la situación, mediante los medios oficiales y autoridades locales.
- ❖ Antes de restablecer el suministro de gas y electricidad debe verificar que no existe dañado.

AL INGRESAR A EDIFICIOS

- ❖ Identifique rutas de evacuación.
- ❖ Evite obstaculizar el paso.
- ❖ Aléjese de las ventanas.
- ❖ No corra, camine rápido con precaución.
- ❖ No haga uso de los ascensores.
- ❖ Ubíquese en las zonas seguras.
- ❖ Obedezca las indicaciones de las Brigadas de Evacuación y de los Comité de Seguridad y Salud Ocupacional.
- ❖ Al quedar atrapado en ascensores u oficinas hay que mantener la calma, pedir auxilio y de ser necesario, esperar la llegada de rescatistas.

EN LA ZONA URBANA O ZONA COSTERA

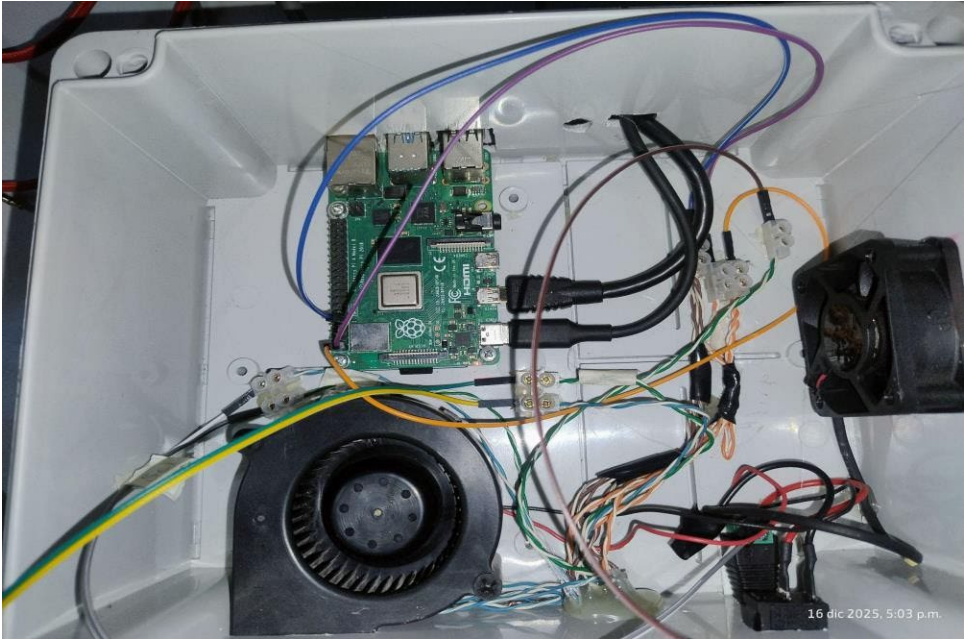
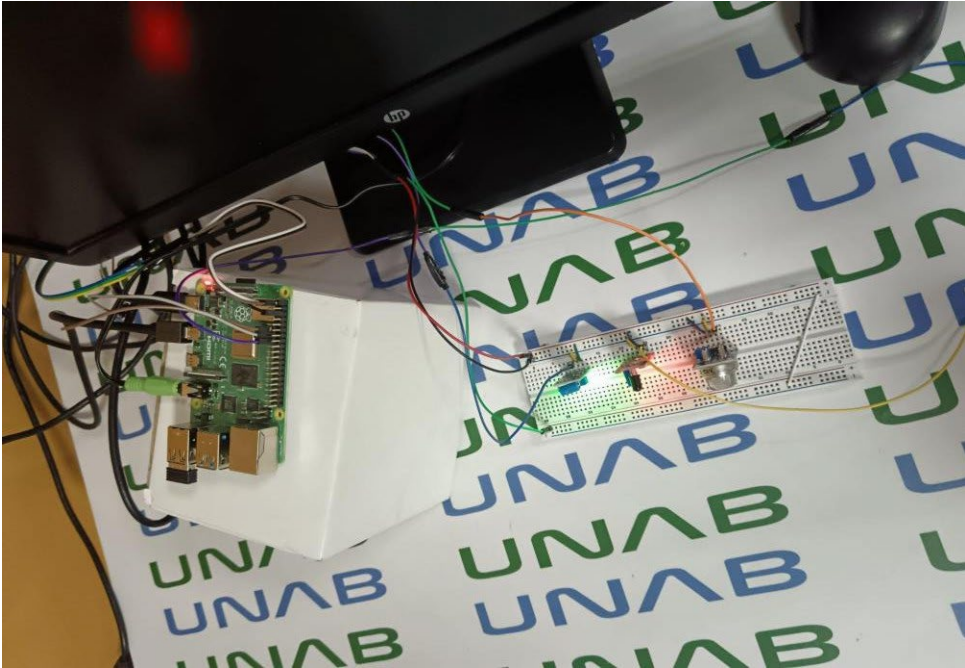
- ❖ No corra.
- ❖ Mantenga la calma.
- ❖ Identifique un lugar seguro en todo momento.
- ❖ Evite colocarse frente a objetos pesados.
- ❖ Busque un lugar seguro.
- ❖ No cruce calles durante un sismo.
- ❖ Evite hacer llamadas a celular y envíe mensajes de texto o audio.
- ❖ Si se encuentra en la costa y el sismo le dificulta mantenerse de pie, hay que evacuar inmediatamente a las zonas de seguridad para tsunami establecidas.

- ❖ Al quedar atrapado se debe cubrir la boca y la nariz, evitar gritar y dar señales dando golpes con algún elemento en la estructura.

Anexo 2. Evidencias de desarrollo de pruebas



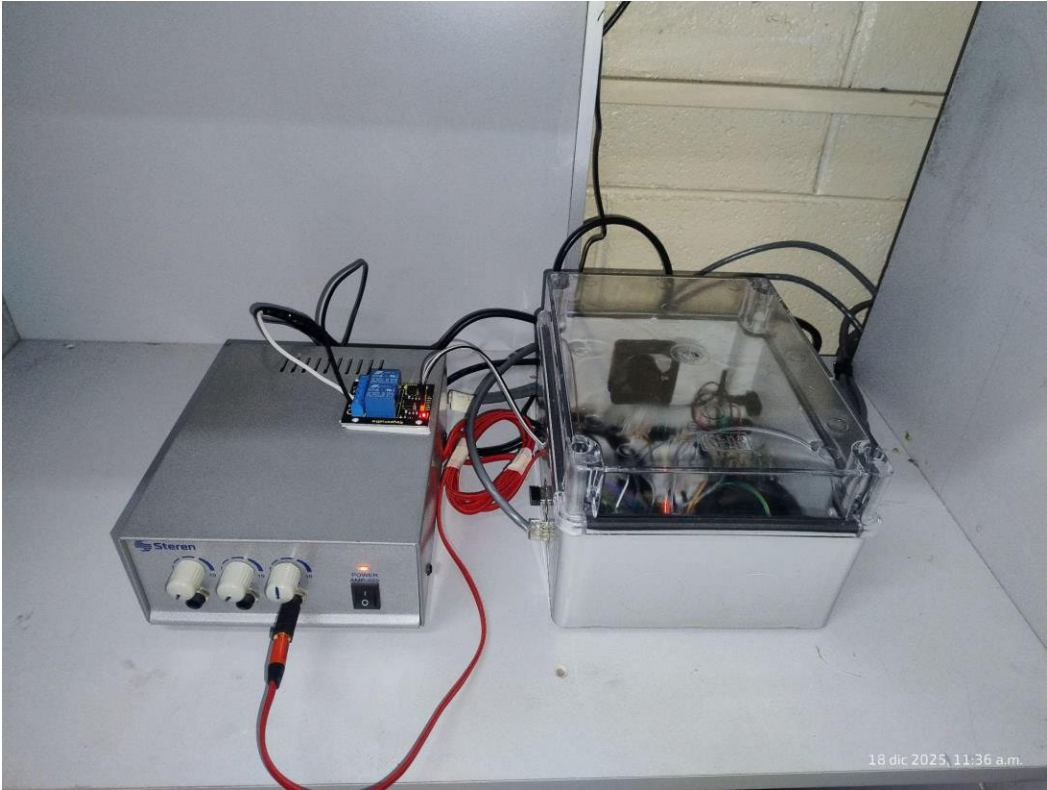
Anexo 3. Evidencias de construcción del circuito del sistema.



Anexo 4. Sensor de movimiento en funcionamiento.



Anexo 5. Dispositivo amplificador de sonido de alerta del sistema.



2025

