

# Proyecto 3

## Sistema de detección y prevención de incendios

1<sup>st</sup> Acevedo Rodríguez Kevin  
*Instituto Tecnológico de Costa Rica*  
Taller de señales mixtas  
Cartago, Costa Rica  
kevinar51@estudiantec.cr

2<sup>nd</sup> Camacho Hernández José Julián  
*Instituto Tecnológico de Costa Rica*  
Taller de señales mixtas  
Cartago, Costa Rica  
jcamacho341@estudiantec.cr

3<sup>rd</sup> Araya Chacon Mario Alexis  
*Instituto Tecnológico de Costa Rica*  
Taller de señales mixtas  
Cartago, Costa Rica  
marioaraya1999@estudiantec.cr

**Resumen**—This project involves monitoring the infrared brightness level as a representation of fire intensity in a house. A sensor is employed to convert this physical variable into a voltage. The Arduino Mega utilizes its Analog-to-Digital Converter (ADC) to transform the input voltage from analog to digital. Subsequently, the digital signal undergoes signal processing within the Arduino to determine the behavior corresponding to the fire level. The processed signal is then converted back to analog form, serving as an output that drives an actuator such as a fan, LCD display, LEDs, or a buzzer in response to the detected fire intensity. This comprehensive approach, provides a holistic solution for physical variables measurement in diverse real-world applications related to fire detection. The integration of ADC theory, design methodology, and implementation details in the project enhances its capability for accurate and adaptable measurement of fire intensity. The paper delves into the intricacies of the signal processing involved, presenting experimental results that underscore its effectiveness in monitoring and responding to varying levels of fire within a house.

**Index Terms**—Fire detection, Analog, Digital, ADC, Actuator, Signal Processing.

### I. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la seguridad residencial, la implementación de sistemas inteligentes de detección y control de incendios ha adquirido una relevancia sustancial.

En el presente año 2023, se ha observado un incremento en los incendios estructurales, siendo los problemas en las instalaciones eléctricas la causa principal, según el informe del Cuerpo de Bomberos de Costa Rica. De acuerdo con las estadísticas hasta el 10 de agosto, se ha registrado un aumento de 107 incendios. Para ilustrar, en 2022, se reportaron 611 incidentes, mientras que en el 2023 se han registrado 718 incendios. [1]

Por este motivo, este proyecto se centra en la creación de un sistema integral que utiliza tecnologías avanzadas para detectar el nivel de brillo infrarrojo, indicador crítico del fuego, y proporciona respuestas precisas y coordinadas a través de actuadores.

La base de esta implementación radica en la comprensión detallada de conceptos como el sensado de variables físicas, la conversión de señales analógicas a digitales (ADC), el procesamiento digital de señales y la conversión digital a analógica (DAC), junto con la aplicación efectiva de actuadores para la respuesta física.

#### I-A. Sensado de la Variable Física

El proceso se inicia con el sensado de la variable física clave: el nivel de brillo infrarrojo asociado al fuego. Para esto, se emplea un sensor especializado en la región infrarroja que transforma las variaciones de intensidad lumínica en una señal eléctrica proporcional. Esta señal es esencial para la medición precisa y la posterior interpretación del nivel de riesgo de incendio.

#### I-B. Funcionamiento del Convertidor Análogo a Digital (ADC)

Una vez que se obtiene la señal analógica del sensor, se procede a su conversión a formato digital mediante un convertidor análogo a digital (ADC).

Un ADC es un componente esencial en la electrónica que permite la traducción de señales analógicas, como voltajes, en valores digitales comprensibles por microcontroladores como Arduino. El principio fundamental detrás de un ADC se basa en la discretización de la señal analógica continua en una serie de valores discretos, que representan el valor numérico de la señal en un momento dado. [2]

En nuestro caso, este proceso se realiza en el microcontrolador Arduino Mega. El ADC mapea la señal analógica en valores digitales, permitiendo que la información sea manipulada y analizada con mayor eficacia en etapas posteriores del sistema.

#### I-C. Procesamiento Digital de la Señal

La fase de procesamiento digital es crítica para extraer información valiosa de los datos digitales generados por el ADC. En esta etapa, el microcontrolador Arduino implementa algoritmos específicos que evalúan el comportamiento de la señal en relación con el nivel de fuego detectado y lo clasifica como se detalla a continuación:

- No fire: si el nivel de intensidad del brillo es bajo.
- Warning: si se detecta que el nivel es potencial para un incendio.
- Fire: si el nivel es definitivamente peligroso y se deben activar los actuadores para contrarrestarlo.

Este análisis facilita la toma de decisiones y la generación de respuestas proporcionales y adecuadas ante distintos escenarios de incendio.

## I-D. Conversión Digital a Analógica (DAC) y Actuadores

La última etapa del sistema implica la conversión de la señal digital procesada a formato análogo a través de un convertidor digital a analógico (DAC). Este paso es crucial para alimentar adecuadamente los actuadores, que son dispositivos físicos responsables de ejecutar respuestas específicas ante el riesgo de incendio detectado. Ventiladores, LEDs y buzzers son algunos de los actuadores que entran en juego, activándose de manera coordinada para ofrecer una respuesta completa y efectiva.

El paper se organizará de la siguiente manera: en la sección II se describirá el diseño propuesto para el sistema, incluyendo todas las etapas descritas anteriormente. En la sección III, se presentarán los resultados de la implementación, que incluirán pruebas del correcto funcionamiento del sistema. Finalmente, en la sección IV se discutirán las conclusiones y se propondrán posibles direcciones futuras para la mejora y expansión del sistema implementado.

## II. DISEÑO

A continuación, se presenta el diseño del funcionamiento general del sistema. En primer lugar, se presenta el diagrama de bloques general del sistema. Este contiene todas las etapas que se requieren según la especificación del presente proyecto proporcionada por el profesor. [3]

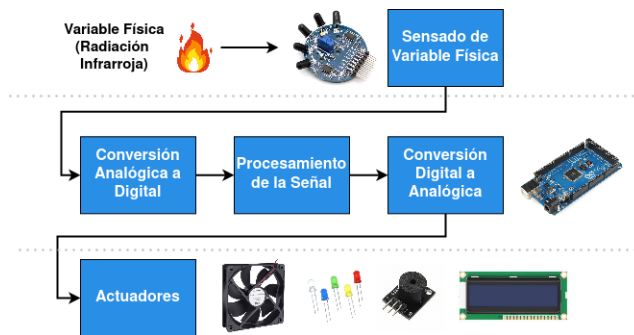


Figura 1. Diagrama general del sistema. [3]

En el diagrama se resaltan las principales partes del sistema:

- Entrada de variable física: nivel de brillo infrarrojo que representa el nivel de fuego en una casa.
- Sensado de variable: sensor para transformar la variable física a una tensión.
- Conversión de tensión de entrada de analógica a digital por medio de ADC de un Arduino Mega.
- Procesamiento de señal: la señal digital pasará por un procesamiento digital en el Arduino para determinar el comportamiento según el nivel de fuego.
- Conversión digital a analógica: la señal procesada será convertida a analógica, para generar una salida correspondiente.
- Actuadores: ventilador, leds, buzzer y display LCD que funcionan como respuesta al procesamiento.

## II-A. Entrada de variable física y sensado de variable

Como se mencionó anteriormente, la variable física en este caso fue simulada por medio de un encendedor que genera una llama, la cual se aproxima al sensor para simular la intensidad de un incendio a pequeña escala. Para esto se cuenta con un sensor infrarrojo que tiene la capacidad de regular su sensibilidad por medio de un potenciómetro, el cual nos permite ajustar los parámetros al rango que se necesitaba para replicar el comportamiento esperado.

El componente ilustrado en la figura 2 es un sensor que puede emplearse para identificar fuentes de incendios u otras fuentes luminosas con longitudes de onda en el intervalo de 760 nm a 1100 nm. Este sensor se fundamenta en el YG1006, un fototransistor de silicio NPN de alta velocidad y sensibilidad, y su capacidad de respuesta se ve influenciada por su epoxi negro, que lo hace sensible a la radiación infrarroja. Aunque el rango de detección del sensor para una llama ordinaria es aproximadamente 30°, disminuyendo gradualmente con la distancia, este módulo en particular ofrece una amplia gama de detección superior a los 120°. [4]

Este sensor fue elegido por sus características técnicas ventajosas como las siguientes [4]:

- Diseño con cinco canales de sensor de llama para una amplia gama de detección.
- Capacidad para generar una señal digital en niveles alto y bajo.
- Capacidad de producir una señal analógica (voltaje) para mediciones más precisas en situaciones de alta precisión.
- Indicador de estado para cada una de las cinco salidas de canal.
- Ajuste de la distancia de detección para la salida digital y flexibilidad en la sensibilidad de la salida analógica.
- Implementación de un diseño de resistencia del 1 %, garantizando una salida de señal altamente precisa, especialmente adecuada para situaciones que requieren mediciones de alta precisión.
- Compatible con una fuente de alimentación de 3.3V a 9V.

Este sensor cuenta con salidas digitales y analógicas para indicar si se está detectando el fuego y el valor que se está leyendo. Para este caso se utiliza el pin analógico que nos brinda valores en el rango de 0 a 1024 según la proximidad de la llama.

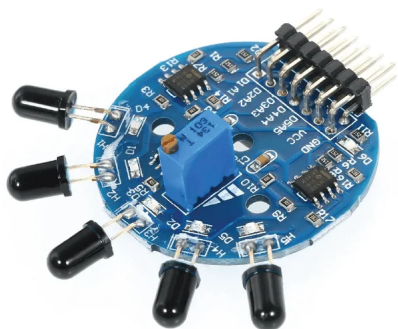


Figura 2. Sensor infrarrojo utilizado en el proyecto

## II-B. Conversión Analógica a Digital

Una vez que se lee el valor del sensor, este se encuentra en el rango de 0 a 1024, sin embargo es más sencillo para la lógica implementada trabajar con números más pequeños y que no varíen tanto. Es por esto que con ayuda del Arduino se leen los valores analógicos, se convierten a valores digitales fáciles de entender y luego se realiza una conversión al mapear este rango de valores del 0 al 2, donde 0 significa que no hay peligro ya que la llama no está cerca, 1 significa que empieza a detectar una llama y 2 significa que la llama es muy intensa al estar cerca del sensor.

## II-C. Procesamiento de la señal

Para procesar la señal, utilizamos un código de Arduino que nos permite tomar el valor mapeado y a partir de este generar los distintos comportamientos que debe tener el circuito según sea el caso. Cuando se recibe una señal de emergencia con un valor de 0, no se necesita encender ningún actuador, sin embargo si se muestra un mensaje en el *display* para indicar que no hay peligro.

En caso de que la señal de emergencia tenga un valor de 1, se emite una señal pequeña con ayuda del *buzzer* y se muestra en el *display* que hay una llama que requiere de la atención de las personas.

Finalmente, en caso de que la señal de emergencia tenga un valor de 2, significa que hay un peligro inminente y se debe de encender el actuador, por lo que se indica en el *display* que hay un peligro, se encienden las luces de los cuartos, se emite una señal sonora más larga con el *buzzer* y se activa el ventilador por medio de un *relay* durante 5 segundos para que pueda apagar la llama.

## II-D. Conversión Digital a Analógica

Para lograr accionar las respuestas a las situaciones mencionadas anteriormente, se debe de poder emitir una señal de activación, por esto es que según sea el caso, por medio de señales digitales se le indica a los pines respectivos del Arduino que se comporten como salidas, donde estas van a emitir señales analógicas de aproximadamente 5V y en el caso del *buzzer* también se modifica la frecuencia, las cuales se utilizan para accionar los dispositivos.

Esas se pueden apreciar como se mencionó en el *buzzer*, para encender los *leds* y para activar el *relay* que permita el accionar del ventilador al cerrar y completar el circuito que lo alimenta, permitiendo que este permanezca encendido por 5 segundos o hasta que la llama se apague, para nuevamente dejar de emitir estas señales y volver al estado en el que no hay presencia de fuego.

## II-E. Etapa de actuadores

Los actuadores que se utilizan para avisar sobre el peligro del fuego son *leds* para dar una señal de luz, un *buzzer* que emite una señal sonora según el tipo de peligro, un *display* que permite visualizar el nivel de peligro en el que se encuentra la casa.

Finalmente, se cuenta con un *relay* que permite la alimentación del ventilador que va a girar para poder apagar el fuego con el viento que este genera. Para el ventilador se utiliza un *relay* de un solo canal ya que este necesita una cantidad de tensión y corriente superior a la que puede ser suministrada por el Arduino, por lo que se utiliza una fuente externa para alimentarlo que suministre 10 voltios y una corriente de aproximadamente 0,03 amperios.

**II-E1. Actuador visual por medio de LEDs:** Una señal de 5V se transmite a través de un pin conectado al Arduino Mega. Este último, a su vez, envía la señal según el procesamiento que esté llevando a cabo en ese momento:

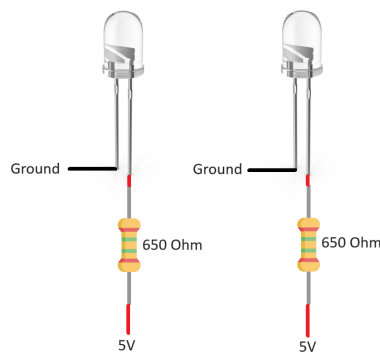


Figura 3. Actuador visual simple por medio de LEDs

**II-E2. Actuador sonoro mediante un Buzzer:** El actuador sonoro emplea un *Buzzer* Pasivo conectado a las terminales de 5V y tierra del Arduino Mega para su alimentación, junto con una resistencia de protección. Para controlar la alerta sonora, se utiliza una señal de datos que se transmite a través de un pin específico en el Arduino Mega, gestionado por el procesamiento interno del microcontrolador:

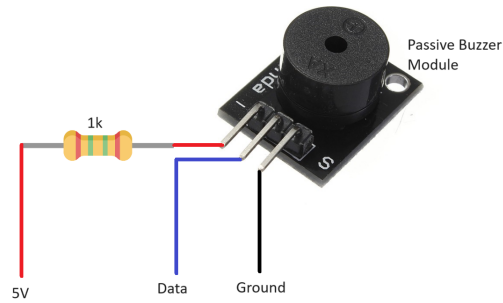


Figura 4. Actuador Sonoro mediante *Buzzer* pasivo

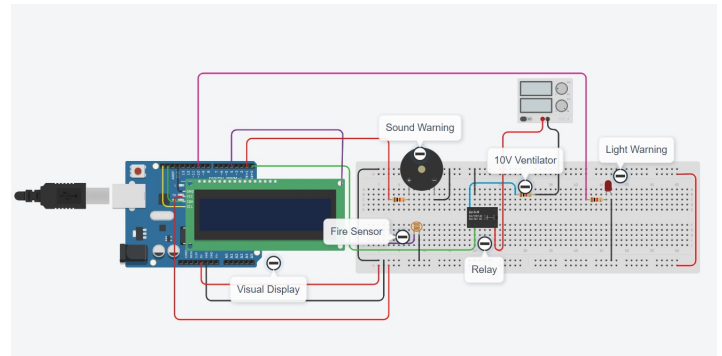


Figura 6. Simulación del sistema en Tinkercad

### III. RESULTADOS

#### II-E3. Actuador Principal para el Apagado de la llama:

Este es el actuador principal, y está diseñado para extinguir la llama detectada durante el procesamiento. Incorpora un ventilador TT-1225, que opera con una alimentación de aproximadamente 10V. Dado que el Arduino Mega no puede suministrar esta cantidad de tensión, se utiliza un relé de 1 canal. Este relé recibe los 10V de entrada y se controla mediante una señal de datos transmitida a través de un pin específico del Arduino Mega durante el procesamiento:

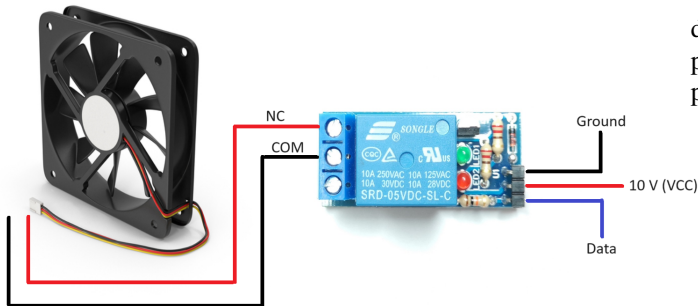


Figura 5. Actuador principal para el control de la llama

#### II-F. Simulación

A continuación se presenta el diagrama de simulación del sistema. Este fue elaborado en Tinkercad integrando todos los componentes de las diferentes etapas explicadas anteriormente en esta sección. Se muestran las conexiones necesarias para realizar el armado físico del sistema de detección y prevención de incendios.

A partir de los diseños realizados anteriormente, se procede a ensamblar los circuitos respectivos para realizar las mediciones de tensión provenientes del sensado de la variable física seleccionada.

En la figura 7, se muestra la disposición física de los componentes descritos en la sección de diseño, que incluyen: un sensor infrarrojo con un potenciómetro para calibrar la sensibilidad de la medición, el Arduino Mega con sus conexiones correspondientes a los pines, un Display para la presentación de mensajes personalizados controlado por el microcontrolador, y el encendedor utilizado para generar la señal infrarroja y activar el sistema.

Por otro lado, en la figura 8, se presenta una representación de la casa a través de una maqueta diseñada para ser fabricada por medio de corte láser. En su interior, incluye el actuador principal previamente descrito.

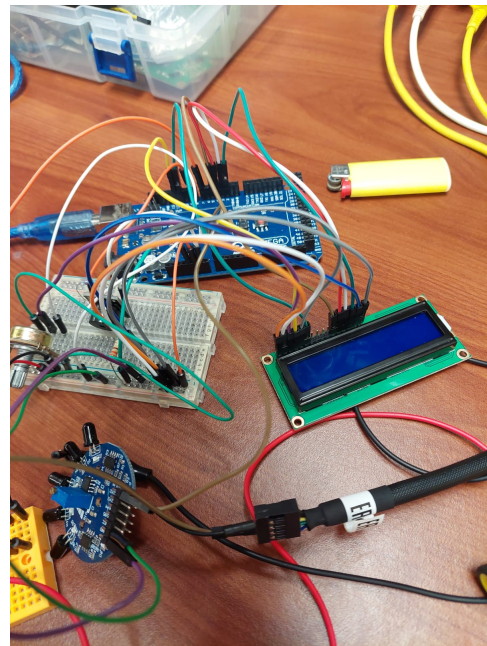


Figura 7. Integración de los componentes del sistema



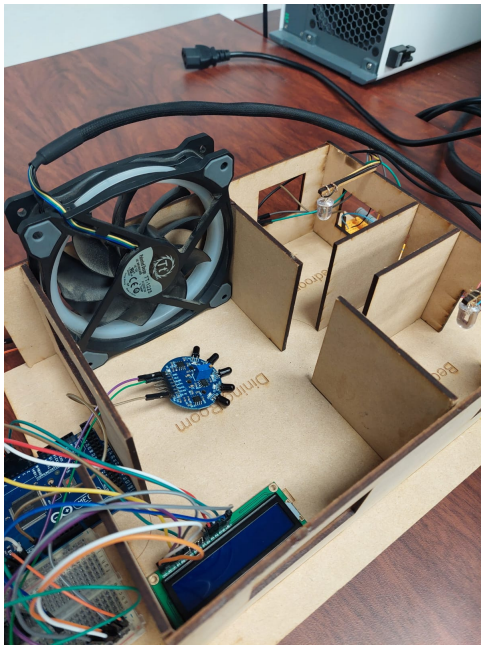


Figura 8. Modelo físico de la casa con actuador principal.

#### IV. CONCLUSIONES

A partir de las experiencias obtenidas en el desarrollo del proyecto, se puede concluir que la elaboración de diagramas detallados y específicos de los circuitos contribuye significativamente a la identificación y corrección de posibles errores. En nuestro caso, se destaca la importancia de este enfoque al detectar problemas como conexiones defectuosas en la alimentación de los componentes, cuya corrección resulta crucial para asegurar el comportamiento adecuado particularmente en el contexto de nuestro sistema de detección y control de incendios.

La fase de diseño y construcción de nuestro sistema nos brindó la oportunidad de consolidar y ampliar nuestros conocimientos teóricos adquiridos en clases anteriores. Exploramos conceptos fundamentales relacionados con señales y sistemas, sensado de variables físicas, convertidores ADC, procesamiento de señales, DACs, así como otros aspectos relevantes de la ingeniería electrónica.

La elección de utilizar el Arduino Mega como parte integral de nuestro sistema resaltó la importancia de utilizar un microcontrolador o un sistema abierto programable, como PIC, Arduino, Raspberry, para el procesamiento lógico requerido. Esto debido a que muchos de los sensores son compatibles con el Arduino, por lo que se concluye que es una excelente opción para este tipo de proyectos.

Tras la realización de pruebas del sistema y el análisis detallado de los resultados obtenidos, se pudo validar la teoría relacionada con señales mixtas en el contexto de sistemas de adquisición de datos. La verificación exitosa de la funcionalidad general del sistema, de acuerdo con los requisitos establecidos, respalda la solidez y eficacia de nuestra propuesta en el ámbito de detección y control de incendios residenciales.

#### REFERENCIAS

- [1] M. Mena. (2023) Cuerpo de bomberos reporta un aumento de incendios estructurales este 2023. [Online]. Available: <https://observador.cr/cuerpo-de-bomberos-reporta-un-aumento-de-incendios-estructurales-este-2023-problem>
- [2] A. Raj. (2018) What is adc - analog to digital converters. [Online]. Available: <https://circuitdigest.com/tutorial/what-is-adc-analog-to-digital-converters>
- [3] R. Tacsan. Descripción proyecto 3. [Online]. Available: [https://tecdigital.tec.ac.cr/dotlrn/classes/IDC/CE1112/S-2-2023.CA.CE1112.1/file-storage/view/Proyectos%2Fproyecto-3%2FEnunciado\\_Proyecto\\_%233.pdf](https://tecdigital.tec.ac.cr/dotlrn/classes/IDC/CE1112/S-2-2023.CA.CE1112.1/file-storage/view/Proyectos%2Fproyecto-3%2FEnunciado_Proyecto_%233.pdf)
- [4] Yg1006 - 5 channel flame sensor module. [Online]. Available: <https://www.microjpm.com/products/a5-channel-flame-sensor-module/>