

Diseño de Sistema para la Detección Temprana de Incendios Forestales

Tobías Fonseca Cruz
Escuela de Ingeniería Electrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
tobiasfonsecac@gmail.com

Resumen—El informe presenta el desarrollo y resultados de la primer versión de un sistema para la detección temprana de incendios forestales. Utiliza sensores de gases, humedad relativa y temperatura, y es alimentado por una batería de litio. Mediante un ESP32 se suben los datos a una base de datos en caso de exceder los parámetros definidos. El sistema funcionó según lo esperado y da paso a una siguiente versión que busque ser más eficiente en el consumo de potencia y buscar mejoras en el programa y el PCB.

Palabras Clave—DHT22, DS18B20, ESP32, MQ2, WiFi

I. INTRODUCCIÓN

La Comisión Nacional de Emergencias (CNE) define un incendio forestal como un fuego que se propaga sin control a través de vegetación rural o urbana y pone en peligro a las personas, los bienes y el medio ambiente, estos constituyen la causa más importante de destrucción de bosques [1]. En ocasiones pueden durar poco tiempo, sin embargo si se presentan las condiciones adecuadas el incendio puede ser de gran magnitud y propagarse rápidamente [2].

El inicio de un incendio forestal puede ser de 3 orígenes: forma malintencionada, fortuitamente o natural. La mayoría de las veces se dan como consecuencia de acciones humanas tales como deforestación, agricultura y negligencia. Dentro de las repercusiones de los incendios forestales se encuentran la emisión de gran cantidad de contaminantes, hollín que puede ser transportado grandes distancias y generar que los sumideros de carbono se conviertan en fuentes de gas invernadero [2].

Debido a la crisis climática, se espera que para el 2050 la cantidad de incendios forestales aumente en un 30 %, por lo que se hace un llamado a los gobiernos para implementar estrategias de prevención, preparación y asignar presupuestos adecuadamente ante tal fenómeno. Los países pobres se ven afectados de gran manera por la poca capacidad de respuesta y por el alto costo de la reconstrucción de las zonas afectadas [3].

El Sistema de Alerta Temprana de Incendios Forestales (SATIF) del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica permite evaluar variables que afectan la probable ocurrencia y potencial comportamiento del fuego. El proyecto surge de la donación del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF) y además de obtener las condiciones de

riesgo, busca crear una cultura y educación en la población para evitar la ocurrencia de incendios. El SATIF es capaz de medir la temperatura, la humedad relativa, velocidad del viento y cantidad de lluvia. Según estas variables, clasifica el riesgo de un potencial incendio para predecir características como la velocidad de avance, altura de las llamas, entre otros [4].

El sistema pretende mejorar las soluciones existentes añadiendo la capacidad de detectar gases producidos por la combustión de los incendios forestales. Busca ser una alternativa de bajo costo, autónoma y de fácil integración que permita ser instalada en zonas propensas a incendios por entidades como bomberos u organizaciones interesadas.

II. METODOLOGÍA

A continuación, se dará una descripción detallada del diseño y selección de componentes para la medición de variables, transmisión de la información y distribución de potencia.

II-A. Sensores

Las variables por medir corresponden a temperatura, humedad relativa y gases provocados en incendios.

- **Temperatura:** El sensor DS18B20 permite medir temperatura con una resolución de 9 (0.5°C) a 12 bits (0.0625°C), un rango de medición de -55°C hasta +125°C, fuente de voltaje de 3 a 5.5V. Este sensor trabaja con el protocolo 1-Wire, cuya salida digital se conecta a V_{cc} mediante una resistencia de *pull-up*. Para más detalles consultar su **hoja de datos**.
- **Humedad relativa:** El sensor DHT22 permite medir la humedad relativa con una precisión de $\pm 2\%$ y una resolución de $\pm 0.1\%$. Es capaz de trabajar con fuentes de 3.3 a 6V. Además, permite leer temperatura sin embargo con una resolución menor comparada al DS18B20 anteriormente mencionado. El sensor transmite datos a través de una salida digital conectada a V_{cc} con una resistencia de *pull-up*. Para más detalles consultar su **hoja de datos**.
- **Gases:** Algunos de los contaminantes que se emiten durante la combustión de biomasa corresponden a dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, hidrocarburos y partículas de humo [5]. Por tanto, se opta por el sensor MQ2, el cual es sensible a gases como alcohol, propano, monóxido de carbono, metano, gas LPG y humo. El sensor opera a 5V y necesita de un

precalentamiento recomendado de 48 horas. Su consumo de potencia es menor a 800mW y permite una resistencia de carga ajustable. A diferencia de los sensores de temperatura y humedad, el MQ2 tiene una salida analógica en función de la concentración del gas detectado. En la Figura 1 se muestran las curvas de sensibilidad del sensor ante distintos gases. Para más detalles consultar su **hoja de datos**.

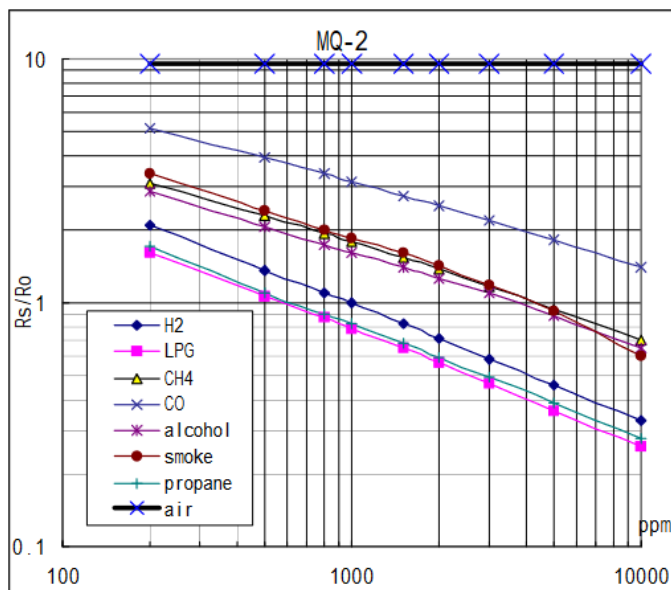


Figura 1. Características de sensibilidad de sensor MQ2. Medidas a 20°C, humedad 65 %, concentración de oxígeno 21 % y $R_L = 5k\Omega$.

II-B. Microcontrolador

El microcontrolador ESP32 DevKit V1 de 30 pines contiene gran diversidad de funcionalidades en sus puertos como GPIO, ADC, Touch, PWM, UART, I2C, entre otros. Además, cuenta con un módulo de WiFi y BLE integrado, ADC con resolución de 12 bits, tamaño reducido; por lo que es una opción favorable frente a otros microcontroladores como el Arduino UNO.

II-C. Potencia

Para determinar los componentes requeridos para alimentar tanto los sensores como el microcontrolador es importante definir los voltajes de operación de cada uno de los componentes:

Cuadro I
VOLTAJES DE OPERACIÓN DE LOS COMPONENTES

Componente	Voltaje (V)
ESP32	7-12
DHT22	3.3-6
DS18B20	3-5.5
MQ2	5

Por tanto, los sensores DHT22 y DS18B20 se pueden alimentar de la salida a 3.3V del ESP32. Se requiere de una alimentación de mínimo 7V para el ESP32 y otra alimentación de 5V para el sensor MQ2.

Primero, para obtener la fuente de 7V:

- **Batería:** se necesita una batería de gran capacidad para poder alimentar el sistema durante la noche, por lo que se opta por una batería de polímero de litio de 6600mAh ([enlace](#)).
- **BMS (Battery Management System):** para cargar y distribuir la potencia de la batería se escoge la placa **Sunny Buddy** de Sparkfun, la cual permite la carga con panel solar.
- **Buck converter:** es necesario para elevar el voltaje de salida de la batería a 7V requeridos por el ESP32. El convertidor escogido corresponde al **XL6009E1**, este permite un rango de entrada de 3.5V a 30V y uno de salida de 5V a 30V.

Para obtener la fuente de 5V se agrega un regulador de voltaje **LM7805** conectado a la fuente de 7V ya diseñada. Se utiliza el circuito de la Figura 2 para proveer de energía al sensor MQ2.

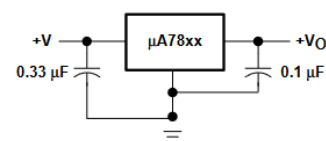


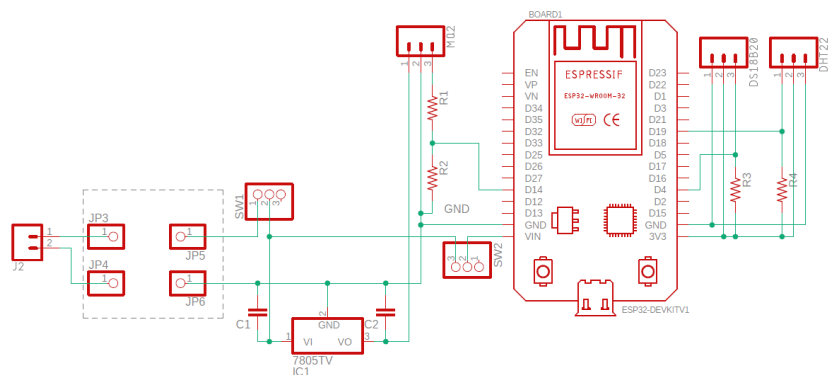
Figura 2. Regulador de salida fija

II-D. Diagrama esquemático

En la Figura 3 se muestra el diagrama de conexión utilizado. A continuación se da una breve descripción de las terminales y componentes:

- J2: corresponde a la entrada de voltaje proveniente del BMS.
- JP3, JP4, JP5 y JP6: corresponden a los puertos de conexión para el buck converter.
- SW1: switch de dos estados para encender o apagar todo el sistema.
- SW2: switch de protección para desconectar el ESP32 de la alimentación en caso que se necesite utilizar la conexión por USB.
- R1 (2.7kΩ) y R2 (3.3kΩ): divisor de voltaje para acondicionar la señal de salida de 5V a 3.3V, esto debido a que el ESP32 trabaja con voltajes de 3.3V, si se aplica un voltaje mayor se corre el riesgo de dañarlo.
- R3 y R4 (4.7kΩ): ambas resistencias de *pull-up* para los sensores DS18B20 y DHT22, respectivamente.
- C1 (0.33μF) y C2 (0.1μF): capacitores para la fuente regulada de 5V, como se muestra en el diagrama de la Figura 2.

Para la conexión de la entrada de voltaje y los sensores (MQ2, DS18B20 y DHT22) se utilizan terminales de tornillo de 2 y 3 pines según correspondan. Para el ESP32 se utilizan pinhead hembras que permitan la fácil conexión y desconexión de la placa.



II-E. Placa de circuito impreso (PCB)

En la Figura 4 se muestran las conexiones realizadas para la fabricación del PCB. Las pistas utilizadas tienen ancho de 0.4 mm, se utiliza un isolate de 0.508 mm y se agregan dos agujeros de montaje de 3 mm de diámetro. La placa utiliza únicamente una capa, en este caso bottom, y tiene un tamaño total de 8.476x4.57 cm.

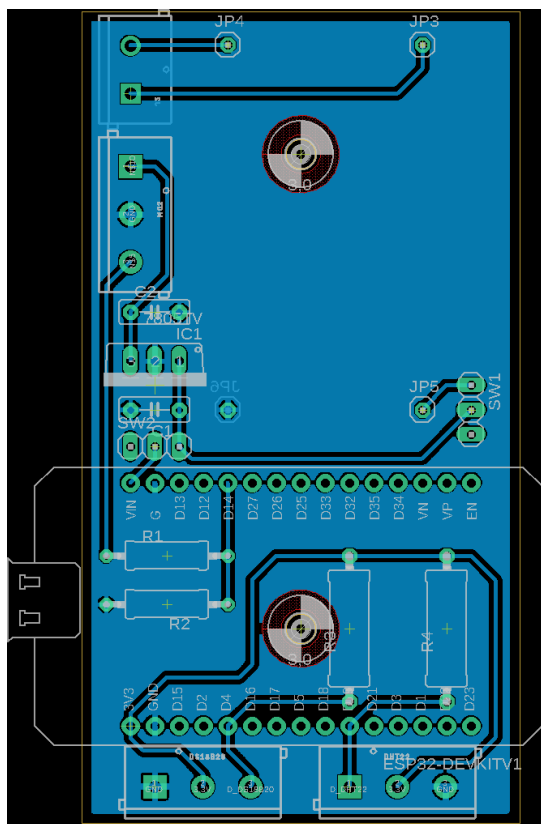
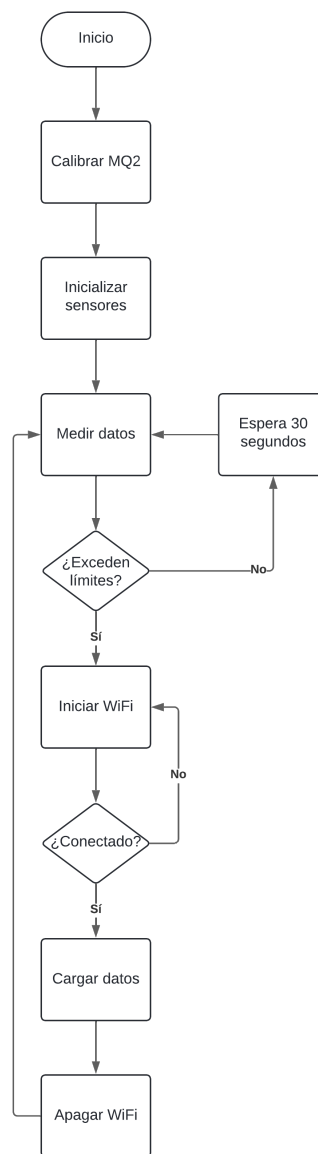


Figura 4. Diseño de placa impresa



II-F. Programa

El diagrama de flujo de la Figura 5 establece las funciones a realizar por el programa.

Figura 5. Diagrama de flujo del sistema

Como se observa, para que se envíe un dato alguna de las tres variables deben exceder los límites establecidos. En este caso se definen los siguientes:

- Temperatura mayor a 40°C
- Humedad relativa menor a 30 %
- Concentración de partículas de humo mayor a 1000ppm

En el momento que se exceda al menos uno de los límites definidos, la placa activa el módulo de WiFi para conectarse a la red definida. Es necesario asegurarse de una correcta conexión, por lo que se debe verificar el estado de la conexión. Si se conectó a la red, se procede a cargar los valores a la base de datos, se apaga el WiFi y vuelve a medir.

El programa utilizado, códigos de apoyo y archivos de Eagle se encuentran en el repositorio al cual se puede acceder con el siguiente [enlace](#).

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al realizar pruebas iniciales con los componentes montados en protoboard fue posible observar pérdidas de voltaje provocadas por la misma protoboard y los jumpers. Esto afectó principalmente al sensor MQ2 dado que su salida es analógica. Los sensores DHT22 y DS18B20 no presentaron problemas al ser utilizados en protoboard. Para evitar los problemas de pérdidas se decidió proceder con la manufactura de la placa impresa.

Una vez soldados los componentes en la placa (Figura 6), al realizar las primeras pruebas aún hubo problema para leer datos del sensor MQ2. Tras indagar en la documentación del ESP32, el microcontrolador posee dos bloques ADC, uno de ellos se reserva para ser usado por el módulo WiFi que a su vez estaba siendo utilizado para hacer lectura del sensor MQ2. Para solucionarlo, el programa se modificó de tal manera que primero hace lectura de los datos, verifica si está fuera de rango y si lo está activa el WiFi para enviar los datos.

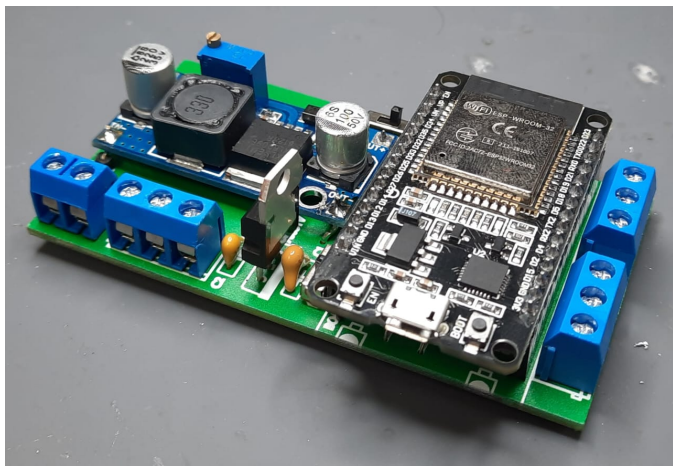


Figura 6. Componentes montados y soldados en placa impresa

En cuanto a potencia, el sistema logra funcionar correctamente con la batería de litio seleccionada durante varias horas.

La medición de las variables y el envío hacia la base de datos es correcta. En la Figura 7 se muestra un ejemplo de los datos obtenidos.

temperature	humidity	co	smoke	Datetime
25.31	75.2	136	61	2024-06-23 14:26:09
25.25	75.2	89	34	2024-06-23 14:26:17
25.19	76.3	42	23	2024-06-23 14:26:25

Figura 7. Recepción en la base de datos

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para evitar problemas entre el módulo WiFi y el sensor MQ2, es preferible hacer lectura con el primer bloque de ADC del ESP32. Esto implica modificar el pin tanto en el programa como en la placa impresa.

Corregir la ubicación de pines del Buck Converter, ya que no fue exacta y fue necesario adaptar pines para poder conectarlo a la placa impresa.

Utilizar una distinta base de datos que permita la comunicación sin necesidad de tener una computadora adicional como host.

Realizar pruebas con panel solar y batería para verificar el funcionamiento durante las 24 horas del sistema. Aunque la batería es de alta capacidad, es necesario analizar el comportamiento del sistema tanto en días soleados como nublados para determinar si se necesita una batería de mayor capacidad o hacer más eficiente el consumo de potencia del sistema

REFERENCIAS

- [1] Comisión Nacional de Emergencias. ¿qué es un incendio forestal? [Online]. Available: https://cne.go.cr/reduccion_riesgo/informacion_educativa/recomendaciones_consejos/incendio_forestal.aspx
- [2] ¿qué es un incendio forestal y por qué es tan peligroso? [Online]. Available: <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2024/02/que-es-un-incendio-forestal-y-por-que-es-tan-peligroso>
- [3] Los incendios forestales aumentarán un 30
- [4] Sistema de alerta temprana de incendios forestales (satif). [Online]. Available: <https://www.imn.ac.cr/alerta>
- [5] R. W. Manso-Jiménez. Emisiones de gases y partículas producto de los incendios forestales en cuba entre 1989 y 1999. [Online]. Available: https://www.produccion-animal.com.ar/incendios_y_uso_del_fuego/41-gases.pdf