

Sistema de medición y registro multiplexado de termocuplas vía WiFi

1st Matias Herrera

Laboratorio de Aerodinámica y Fluidos
Universidad Tecnológica Nacional Regional Haedo
Buenos Aires, Argentina
gmf-layf@frg.utn.edu.ar

2nd Gerardo Imbrioscia

Laboratorio de Aerodinámica y Fluidos
Universidad Tecnológica Nacional Regional Haedo
Buenos Aires, Argentina
gmf-layf@frg.utn.edu.ar

3rd Jonathan Angiano

Laboratorio de Aerodinámica y Fluidos
Universidad Tecnológica Nacional Regional Haedo
Buenos Aires, Argentina
gmf-layf@frg.utn.edu.ar

4th Agustín Avendano

Laboratorio de Aerodinámica y Fluidos
Universidad Tecnológica Nacional Regional Haedo
Buenos Aires, Argentina
gmf-layf@frg.utn.edu.ar

5th Pablo Caron

Laboratorio de Aerodinámica y Fluidos
Universidad Tecnológica Nacional Regional Haedo
Buenos Aires, Argentina
gmf-layf@frg.utn.edu.ar

Abstract—Las estufas de tipo *rocket* son conocidas por su diseño simple, bajo costo y sencillez de operación. A fin de poder parametrizar su funcionamiento en lo que respecta a la distribución de temperaturas, se diseñó e implementó un sistema de medición de temperaturas ,a través de un conjunto de termocuplas, y posterior registro. Debido a la cantidad de termocuplas a instrumentar, las cuales exceden las entradas digitales disponibles, se decidió utilizar multiplexores para unificar la trama de datos entrante.

La electrónica de medición y adecuación fue separada de la de resguardo, las que se comunican vía WiFi. De esta forma se redujo el nivel de exposición de electrónica a las fuentes de calor, reduciendo el tamaño del equipo que se debe proteger a altas temperaturas.

Index Terms—Temperatura, termocuplas, ESP, WiFi, Adquisición

I. INTRODUCCIÓN

Las estufas denominadas *rocket* son una alternativa económica de sistema de cocción a leña/carbón. Estos sistemas constan de un tubo central, generalmente de sección cuadrada, a modo de chimenea, un tubo lateral para la carga de combustible y una pieza móvil inferior que sirve de recolector de cenizas y entrada de aire, como se observa en la figura 1.

A fin de poder parametrizar el funcionamiento del diseño propuesto, se decidió la medición de temperatura en diferentes puntos estratégicos. Debido a la asimetría

geométrica de la estufa, se debe medir en una gran cantidad de puntos, lo que conlleva a utilizar varias termocuplas simultáneamente, superando la cantidad de entradas digitales disponibles. Para dar una solución a dicho problema, se diseñó y construyó un sistema de medición de termocuplas, adecuación haciendo uso de multiplexores, y posterior registro en memoria de los datos obtenidos.

II. DESCRIPCIÓN GENERAL

El objetivo general fue diseñar un sistema que permita tomar las mediciones de las termocuplas y registrarlas en una tarjeta de memoria junto con la fecha y hora de la medición. Dada la alta temperatura a registrar, se separó la electrónica en dos módulos: el de medición y de almacenamiento. Esto dio la ventaja de alejar la electrónica de adquisición de la fuente de calor, reduciendo el tamaño del modulo aislante térmico.

El modulo de medición es el encargado de tomar los datos de las termocuplas conectadas, acondicionar su señal y enviarlos mediante una comunicación WiFi al módulo de almacenamiento. Dicho módulo se encargará de recibir los datos mediante WiFi y almacenarlos en una tarjeta de memoria tipo SD junto con la fecha y hora de la medición. Un esquema de conexión se muestra en la figura 2).

III. DESCRIPCIÓN DE MÓDULOS

A. Módulo de medición

1) *Placa acondicionamiento de señal:* En base a la necesidad de medición de termocupas tipo K, se desarrolló y construyó una placa con la capacidad de conectar hasta cuatro sensores, con sus correspondientes conversores ADC [1]. A fin de verificar que el módulo de termocupas se encuentra con alimentación, se colocó un led, el cual enciende solamente al conectarse el sistema de transmisión de datos. La conexión a esta se realiza mediante el conector tipo IDC de diez terminales. La placa se puede ver en la figura 3.

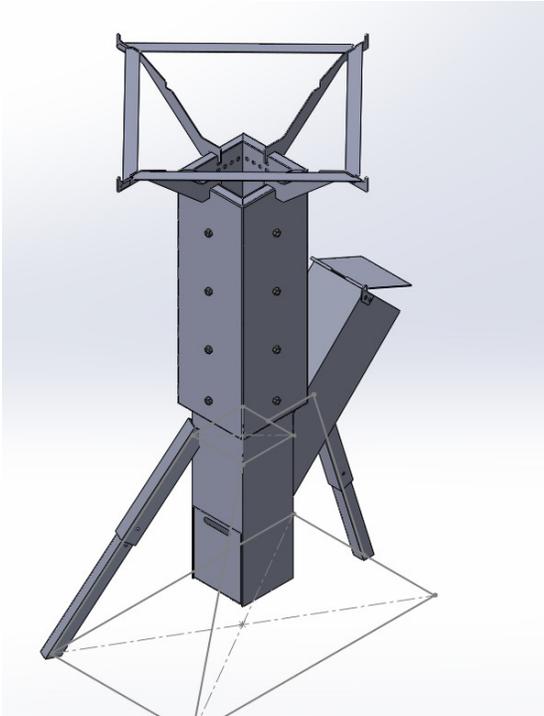


Fig. 1. Diseño de las estufas rocket.

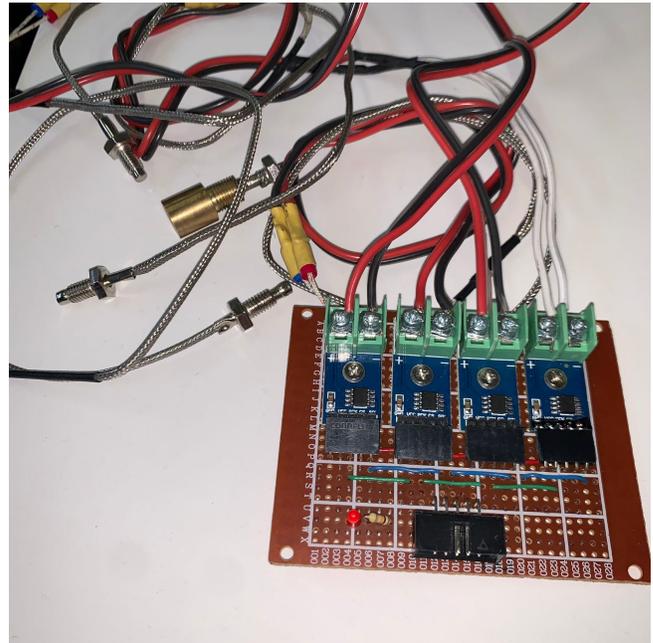


Fig. 3. Placa con termocupas conectadas

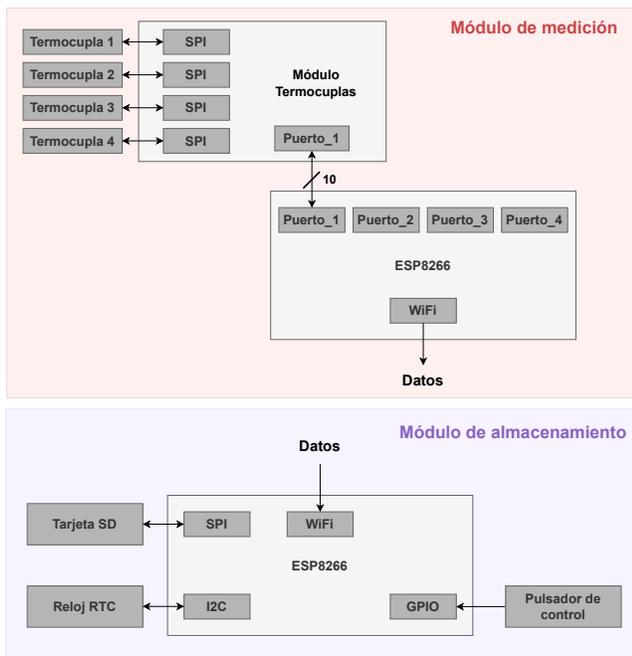


Fig. 2. Descripción general del sistema electrónico.

2) *Placa de transmisión de datos:* Este módulo está basado en la placa NodeMCU ESP8266 [2] y es el encargado de tomar las mediciones de las termocupas y enviar los datos al módulo de almacenamiento (receptor).

Dado que la cantidad de pines del ESP8266 no son suficientes para realizar la lectura de todas las termocupas, se utilizaron multiplexores para poder ampliar la cantidad máxima de termocupas conectadas a ocho, pudiendo medir el sistema hasta un máximo de dieciséis. En la placa se encuentran disponibles cuatro puertos de conexión para establecer la comunicación con las placas de termocupas como se observa en la figura 4. Este módulo se alimenta con una tensión de 5VDC en la bornera dedicada para ello con la polaridad indicada.

Al iniciar, la placa se conecta a la red WiFi creada por el módulo de almacenamiento, realiza la lectura de las termocupas conectadas y envía los datos mediante el protocolo 'UDP' al 'receptor'.

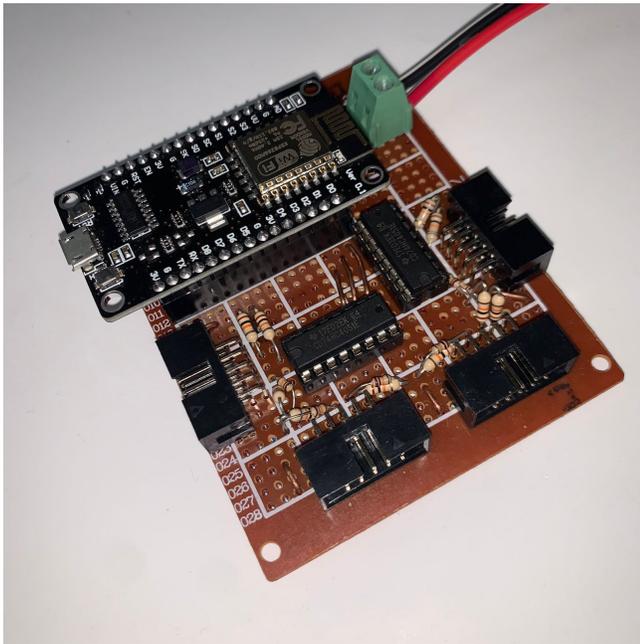


Fig. 4. Módulo de medición y sus puertos de conexión.

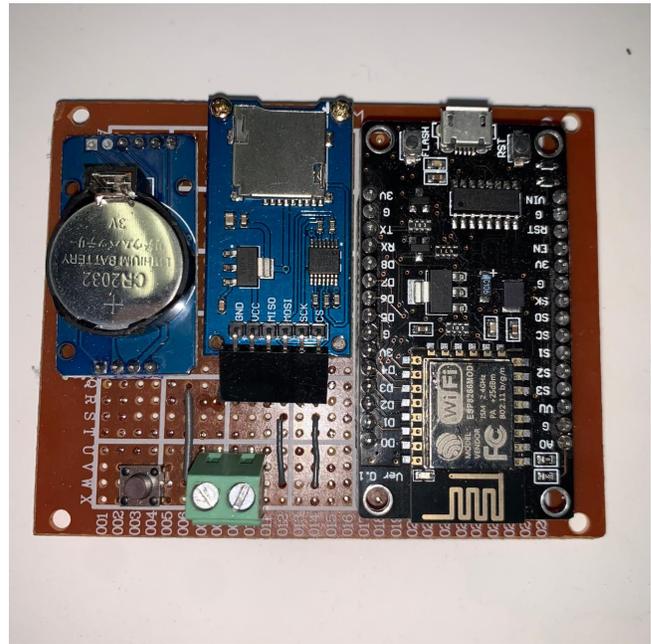


Fig. 5. Módulo de almacenamiento.

B. Módulo de almacenamiento

El módulo de almacenamiento, o receptor, es el encargado de recibir los datos y almacenarlos en la tarjeta de memoria SD junto con la fecha y hora de la medición.

Este modulo también basó en la tecnología ESP8266, el cual se alimenta con 5VDC desde la bornera o también desde el puerto micro USB. Se incorporó un reloj de tiempo real (RTC) [3] que permite tener la fecha y hora actualizada aunque se desconecte el dispositivo y así, evitar corrimientos en el tiempo. Para almacenar los datos se utilizó un dispositivo de lectura y escritura de tarjeta microSD [4].

Esta placa crea una red WiFi (Access Point) donde se conectará el Módulo de Medición para enviar los datos. La placa posee un led indicador para conocer el estado de la tarjeta de memoria SD y si se esta realizando el registro de datos. El inicio y finalización del ensayo se controla con un pulsador. El módulo se puede observar en la figura 5.

IV. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

A. NodeMCU ESP8266

Se utilizó este dispositivo como núcleo del módulo de medición y el de almacenamiento. La NodeMCU es una placa de desarrollo que posee nueve pines digitales para propósitos generales. Permite utilizar protocolos de comunicación tipo I2C, SPI y UART, y además controlar los multiplexores. Su característica mas importante es que tiene integrado el módulo WiFi, en el receptor opera en modo AP (Access Point) creando la red para la comunicación y en el transmisor en modo STA (Station) conectándose a esa red.

B. Termocuplas

En el sistema se utilizaron termocuplas tipo K con el convertor analógico digital MAX6675. La temperatura máxima que se puede medir con estas termocuplas es 800°C con una resolución de 0.25°C. La comunicación con el MAX6675 se realizó mediante el protocolo SPI. Los convertidores y las termocuplas se observan en la figura 3.

C. Multiplexores

Dado el requerimiento de medir un mínimo de ocho termocuplas, la cantidad de pines del ESP8266 no eran suficientes para esto. Para solucionar este limitante se agregaron dos multiplexores. Estos circuitos permiten que utilizando solo cinco pines digitales, el sistema elija con cual de las dieciséis termocuplas comunicarse. Se utilizó el 74HC4051 [5], multiplexor analógico de 8 canales con tres entradas digitales de selección y

un pin para habilitar o deshabilitar el dispositivo. El primer multiplexor se encarga de controlar las primeras ocho termocupas (Puerto 1 y 2) y el segundo de las ocho restantes (Puerto 3 y 4). Los módulos de acondicionamiento de termocupas utilizan una comunicación del tipo SPI, lo que permite a través del pin 'chip select' (CS) elegir de que termocupla tomará los datos el sistema. La placa de muestra en la figura 7.

V. COMUNICACIÓN ENTRE PLACAS

Para poder establecer la comunicación entre las placas se utilizó la tecnología de redes WiFi. El receptor al iniciarse crea una red WiFi, con un nombre y contraseña específicos. El transmisor se conecta a ésta red a través del protocolo 'User Datagram Protocol' (UDP). En nuestra aplicación particular, solo se envían datos desde el módulo de medición hacia el de almacenamiento, pero el protocolo UDP permite que el envío de información sea bidireccional.

Como corolario de la sección, se observa en la figura 7 el diagrama de conexión del módulo de medición, las conexiones del módulo de termocupas en la figura 8 y el diagrama del módulo de almacenamiento en la figura 6.

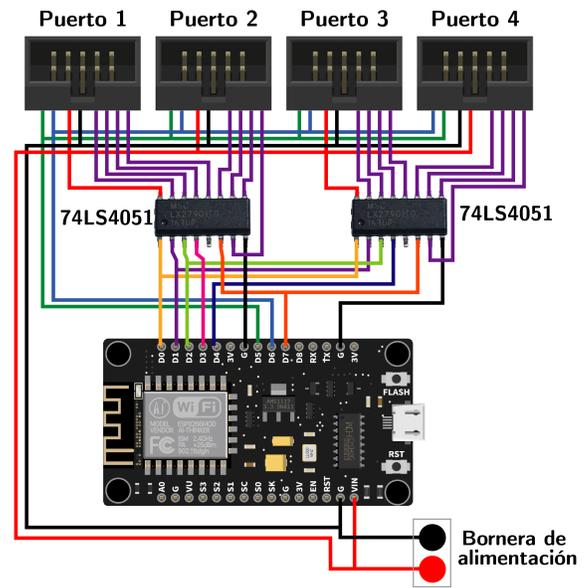


Fig. 7. Transmisor: diagrama de conexiones

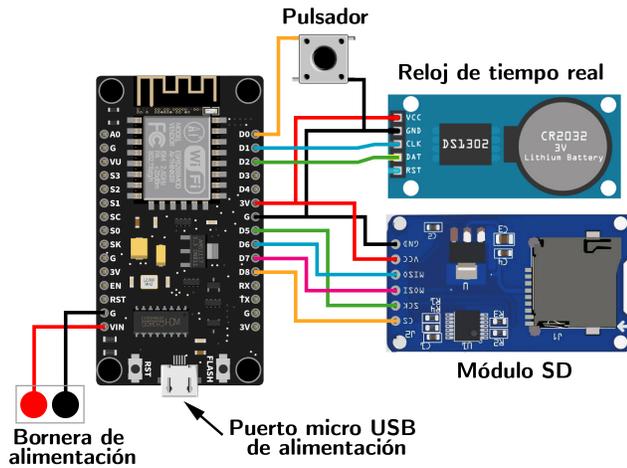


Fig. 6. Receptor: diagrama de conexiones

VI. FIRMWARE

Se desarrollaron dos firmwares para el sistema: uno correspondiente al módulo de almacenamiento y otro para el módulo de medición.

A. Módulo de medición

El módulo se inicia y establece la conexión a la red WiFi creada por el receptor. Si existe algún error de conexión, el led indicador comenzará a parpadear y el módulo reintentará conectarse. Cuando la conexión se establezca correctamente, se inicia la comunicación

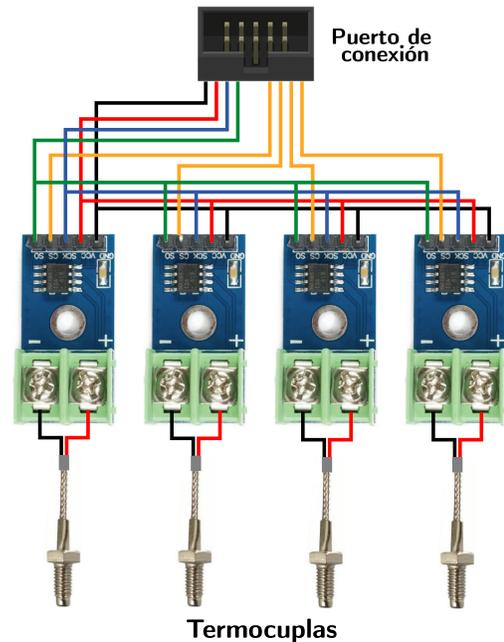


Fig. 8. Módulo de termocupas: diagrama de conexiones

con las termocuplas. El microcontrolador activa el primer multiplexor y apaga el segundo, efectúa la lectura de las primeras ocho (8) termocuplas y las almacena en un buffer. Seguidamente se deshabilita el primer multiplexor y se activa el segundo, realizando la misma operatoria descrita anteriormente. A continuación, se forma una trama con las mediciones de todas las termocuplas y se envía al módulo de almacenamiento mediante WiFi.

B. Módulo de almacenamiento

Al encenderse el dispositivo este verifica la conexión de la tarjeta SD. En caso de que ésta no esté insertada o tenga alguna falla el sistema no iniciará y el led indicador de la placa comenzará a parpadear. Si la tarjeta de memoria funciona correctamente, se crea la red WiFi con la que se realizará la comunicación entre los módulos.

Una vez finalizada la inicialización de la placa, el usuario puede operar el sistema. El led permanecerá apagado indicando que no se están almacenando datos en la tarjeta SD. Para comenzar el ensayo y registro de datos el usuario debe presionar el pulsador de la placa, luego el led se encenderá y permanecerá encendido durante todo el ensayo. Al presionar nuevamente el botón se finalizará el ensayo y el led indicador se apagará.

Cada vez que se comience un ensayo se creará un nuevo archivo en la tarjeta de memoria donde se guardarán las mediciones. El nombre del archivo será la fecha y la hora del comienzo del ensayo.

VII. ENSAYOS DE PRUEBA

Se realizaron una serie de ensayos de pruebas a temperatura ambiente para verificar el funcionamiento de todo el sistema. Dichos resultados se observan en la tabla I.

TABLE I
RESULTADOS OBTENIDOS

Fecha	Hora	Temp_1	Temp_2	Temp_3	Temp_4
15/08/2024	17:59:24	19.50	18.75	19.25	19.00
15/08/2024	17:59:44	20.00	18.50	19.00	19.50
15/08/2024	18:00:04	19.75	18.50	19.00	19.00
15/08/2024	18:00:24	19.75	18.75	19.25	19.25
15/08/2024	18:00:44	20.00	18.75	19.50	19.25
15/08/2024	18:01:04	20.25	18.50	19.50	19.25
15/08/2024	18:01:24	20.00	18.50	19.25	19.00
15/08/2024	18:01:44	20.00	18.25	19.50	19.25

Fecha	Hora	Temp_5	Temp_6	Temp_7	Temp_8
15/08/2024	17:59:24	19.00	20.00	18.75	19.50
15/08/2024	17:59:44	19.25	20.00	18.50	19.50
15/08/2024	18:00:04	19.25	20.25	18.75	19.75
15/08/2024	18:00:24	19.00	20.00	19.25	19.25
15/08/2024	18:00:44	19.00	20.25	19.00	19.75
15/08/2024	18:01:04	19.25	20.00	19.00	19.50
15/08/2024	18:01:24	19.25	20.00	18.75	19.75
15/08/2024	18:01:44	19.25	20.25	18.75	19.75

VIII. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se diseñó y construyó un sistema de medición y registro de temperaturas mediante termocuplas, de forma desacoplada vía transmisión WiFi. Este dispositivo resolvió una problemática puntual a la hora de estudiar el comportamiento y distribución de temperaturas en estufas tipo *rocket*, manejando una cantidad de sensores considerables.

REFERENCES

- [1] R. N. Tutorials. (2024) K-type thermocouple with max6675 amplifier. [Online]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/arduino-k-type-thermocouple-max6675/>
- [2] L. Llamas. (2024) Technical reference. [Online]. Available: <https://www.luisllamas.es/esp8266-nodemcu/>
- [3] A. Devices. (2024) Data sheet. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS3231.pdf>
- [4] R. N. Tutorials. (2024) Guide to sd card module with arduino. [Online]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/guide-to-sd-card-module-with-arduino/>
- [5] Nexperia. (2024) 74hc4051. [Online]. Available: <https://www.nexperia.com/products/analog-logic-ics/analog-switches-and-multiplexers/analog-switches/series/74HC4051-74HCT4051.html>