



# Sistema didáctico de refrigeración por compresión acondicionado con IoT para la adquisición y análisis de datos en tiempo real

## IoT-Driven didactic compression cooling system for real-time data acquisition and analysis

Leyva-Returneta, José Gustavo (Corresponding author)

Universidad Veracruzana  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Departamento Termo fluidos, México  
E-mail: [guleyva@uv.mx](mailto:guleyva@uv.mx)  
<https://orcid.org/0000-0001-5123-0111>

Aldana-Franco, Fernando

Universidad Veracruzana  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Departamento de Electrónica y Control, México  
E-mail: [faldana@uv.mx](mailto:faldana@uv.mx)  
<https://orcid.org/0000-0003-4532-8782>

Álvarez-Sánchez, Ervin Jesus

Universidad Veracruzana  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Departamento de Electrónica y Control, México  
E-mail: [eralvarez@uv.mx](mailto:eralvarez@uv.mx)  
<https://orcid.org/0000-0002-0790-0429>

Aldana-Franco, Rosario

Universidad Veracruzana  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Departamento de Mecánica, México  
E-mail: [raldana@uv.mx](mailto:raldana@uv.mx)  
<https://orcid.org/0000-0002-0503-6024>

### Resumen

La principal ventaja de los laboratorios remotos es la capacidad para operar y monitorear equipos reales a distancia, incluyendo las perturbaciones del entorno, dando como resultado una mejora en el proceso de aprendizaje al permitir el análisis, la observación y la interpretación de los resultados. Este trabajo presenta el desarrollo de un laboratorio remoto mediante un sistema didáctico de refrigeración por compresión, diseñado para el monitoreo en tiempo real de variables termodinámicas utilizando tecnología IoT. El sistema implementa sensores de temperatura y presión en las entradas y salidas clave del compresor, evaporador, condensador y válvula de expansión, permitiendo la recolección de datos mediante tarjetas de desarrollo Mega2560 y ESP32. Los datos adquiridos se transmiten de manera inalámbrica a la plataforma ThingSpeak, la cual proporciona una interfaz visual intuitiva para la supervisión y análisis de cada punto censado. Este sistema permite evaluar las referencias de temperatura, presión y el Coeficiente de Rendimiento (COP) del ciclo de refrigeración en tiempo real, bajo la suposición de un flujo másico constante. La implementación de este sistema destaca por su bajo costo y por la utilización de un servidor gratuito, lo que facilita su replicación y adopción en entornos educativos. Además, este proyecto fortalece la infraestructura de laboratorios de ingeniería al permitir la manipulación remota de los equipos, promoviendo así el aprendizaje activo y la accesibilidad a recursos de laboratorio de alta calidad.

**Descriptores:** Laboratorio remoto, refrigeración por compresión, Internet de las cosas (IoT), monitoreo en tiempo real, sensores de temperatura y presión, ThingSpeak, Arduino.

### Abstract

The main advantage of remote laboratories is the ability to operate and monitor real equipment remotely, including environmental disturbances, resulting in an improvement in the learning process by allowing analysis, observation and interpretation of the results. This work presents the development of a remote laboratory using a didactic compression refrigeration system designed for real-time monitoring of thermodynamic variables using IoT technology. The system implements temperature and pressure sensors at key inputs and outputs of the compressor, evaporator, condenser and expansion valve, allowing data collection using Mega2560 and ESP32 development boards. The acquired data is transmitted wirelessly to the ThingSpeak platform, which provides an intuitive visual interface for monitoring and analysis of each sensed point. This system allows the evaluation of temperature, pressure and Coefficient of Performance (COP) references of the refrigeration cycle in real time, under the assumption of a constant mass flow. The implementation of this system stands out for its low cost and the use of a free server, which facilitates its replication and adoption in educational environments. In addition, this project strengthens the engineering laboratory infrastructure by allowing remote manipulation of equipment, thus promoting active learning and accessibility to high quality laboratory resources.

**Keywords:** Remote laboratory, compression refrigeration, Internet of Things (IoT), real-time monitoring, temperature and pressure sensors, ThingSpeak, Arduino.

## INTRODUCCIÓN

El empleo de laboratorios remotos es una práctica que se ha incrementado en numerosas instituciones de educación superior. Estos laboratorios en línea se presentan como una opción ante la dificultad de estar físicamente presentes, y su utilización se ha incrementado en los últimos años. Es relevante resaltar que, en el ámbito de la educación en ingeniería, un cambio significativo hacia la enseñanza en línea ha sido la incorporación de laboratorios remotos en el proceso educativo (Villalobos & Romero, 2023).

El internet de las cosas (IoT) aporta una gran oportunidad a los usuarios, manufactureras, empresas e instituciones educativas, ya que tiene una amplia aplicación en distintos sectores como: Dispositivos IoT para el monitoreo remoto de pacientes, permitiendo la supervisión continua y en tiempo real de las condiciones de salud (Baker *et al.*, 2017), el uso de redes de sensores inalámbricos eficientes en el consumo de energía para la agricultura de precisión, destacando cómo IoT mejora la gestión de recursos agrícolas (Jawad *et al.*, 2021), otro claro ejemplo es la arquitectura de red inteligente basada en 5G e IoT para mejorar la infraestructura de atención médica en ciudades inteligentes, abordando desafíos como la seguridad, la privacidad y la integración de tecnologías emergentes (Ahad *et al.*, 2020).

El objetivo de la IoT es la vinculación entre entidades físicas y digitales, generando de esa forma una adecuada comunicación de entrada y salida de información, acciones y tecnologías para ser capaz de crear nuevos servicios y aplicaciones (Miorandi *et al.*, 2012).

Mora, 2015 menciona que existen tres componentes principales que interactúan entre sí para conformar el IoT, estos son los siguientes:

1. El hardware que son los dispositivos de comunicación y envío de señales como los sensores y actuadores que registran y controlan los sistemas.
2. La plataforma del middleware que simplemente es el software que permite el intercambio de datos e información entre aplicaciones y herramientas computacionales.
3. El objeto que permite una fácil visualización, interpretación, análisis y procesamiento de los datos recolectados otorgando respuestas de distintos tipos. Además de que debe estar diseñada para ser accesible desde distintos dispositivos.

Los resultados de la investigación de Vujovic & Maksimovic (2015) han mostrado que la introducción de nuevos métodos y estrategias de enseñanza y aprendizaje

puede elevar el nivel de calidad de todo el proceso educativo en ingeniería y garantizar la transmisión de conocimientos y habilidades duraderas que son aplicables a la resolución de problemas del mundo real, así mismo, el estudio de Mircea *et al.* (2021) propone un modelo de evaluación basado en seis hipótesis, las cuales se validan mediante modelización de ecuaciones estructurales (SEM) utilizando datos del sistema educativo rumano y encuestas, con ello identifica los beneficios y desafíos de adoptar el IoT en la educación superior, abordando aspectos como la conectividad, la atracción de recursos, las actividades de enseñanza y aprendizaje, la seguridad de los datos y las políticas educativas. Concluye con recomendaciones y direcciones futuras para el desarrollo de universidades inteligentes, contribuyendo a la comprensión teórica y práctica del impacto del IoT en la educación

Una gran aplicación y área de mejora por parte de la IoT es en los laboratorios, donde la tecnología permite tener laboratorios virtuales y laboratorios remotos. Ambos comparten una arquitectura web cliente-servidor. Sin embargo, los laboratorios remotos ofrecen el acceso a equipos reales, permitiendo aprovechar y actualizar los laboratorios convencionales. La principal ventaja de los laboratorios remotos es la capacidad para operar y monitorear equipos reales a distancia, incluyendo las perturbaciones del entorno, dando como resultado una mejora en el proceso de aprendizaje al permitir el análisis, la observación y la interpretación de los resultados. Además de que los laboratorios remotos ofrecen seguridad para los usuarios y a su vez para los equipos (Vargas *et al.*, 2020).

Queda claro que los laboratorios remotos son un complemento en la formación experimental en áreas de ciencias e ingeniería. Dentro sus principales ventajas ofrecen la posibilidad de ver los fenómenos con mayor claridad llevando a un mejor entendimiento y asimilación de conceptos, además de que pueden reducir los costos para las universidades y ahorrar tiempo de movilización de los alumnos. Sin embargo, hay que señalar que estos laboratorios son solo un complemento y que no sustituyen a los laboratorios tradicionales. Y para que el aprendizaje en experimentación remota y virtual sea efectivo, es importante contar con una plataforma adecuada, así como con un tutor o docente que realice un seguimiento en el proceso de formación (Triana *et al.*, 2020).

Actualmente el Laboratorio de Termofluidos cuenta con un equipo de refrigeración abandonado, ya que no se utiliza debido a la falta de modernización y una funcionalidad limitada. Este sistema, aunque aún funcional en términos básicos, no está equipado con tecnologías actuales que permitan su integración con

las herramientas de medición y control modernas. Integrar IoT en el sistema de refrigeración ofrece una serie de beneficios significativos que impactarán positivamente tanto en el funcionamiento del laboratorio como en la formación de los estudiantes, ya que, al equipar el sistema de refrigeración con sensores IoT y una plataforma de monitoreo como ThingSpeak, se permitirá la supervisión en tiempo real de variables críticas como temperatura y presión. Esto facilitará a los estudiantes la realización de experimentos más precisos y detallados, permitiendo un análisis más profundo del rendimiento del sistema.

Es por ello que el objetivo de este trabajo es diseñar un equipo didáctico de refrigeración por compresión para el monitoreo de variables mediante la IoT, donde sean identificables los tres componentes del IoT, siendo el hardware las tarjetas de desarrollo y los sensores que recopilan información del sistema, el middleware la plataforma de ThingSpeak que recibe los datos censados y, por último, la herramienta de visualización o interfase de usuario mediante ThingSpeak, ya que permite crear una interfaz para visualizar los datos.

Para este trabajo es importante definir los sensores térmicos y piezoeléctricos, debido a que serán utilizados para reemplazar a los termómetros y manómetros análogos. Los sensores de presión tienen distintas clasificaciones dependiendo el método que se utiliza para convertir la señal de presión, sin embargo, el sensor de interés en este trabajo es aquel que utiliza galgas extensiométricas.

### ESTADOS DEL ARTE

La relevancia del uso del Internet de las Cosas (IoT) en la creación y desarrollo de recursos didácticos enfocados a la enseñanza de ingeniería, ha evolucionado a lo largo de los últimos años. El IoT da acceso a la recolección remota de variables físicas en tiempo real, lo cual abre nuevas oportunidades para el desarrollo de sistemas educativos que sean interactivos, en especial bajo contextos donde se tenga un acceso limitado al uso de laboratorios físicos o en casos donde se busque reducir el costo operativo (Hercog *et al.*, 2023).

Gracias al uso de microcontroladores de bajo costo, como el ESP32 y Arduino, se ha facilitado la aplicación de sistemas de recopilación de datos en entornos educativos. Hercog *et al.* (2023) dan a conocer el desarrollo de dispositivos IoT basados en el ESP32 para laboratorios, donde destacan su versatilidad, su conectividad inalámbrica y su bajo costo. Esto brinda una gran oportunidad a aplicaciones didácticas de ingeniería mecatrónica y automatización. Además, Kalamaras *et al.* (2025) demostraron que el ESP32 es funcional para el monitoreo de variables físicas como son: la temperatura y el pH de un biorreactor, lo cual confirma su potencial para la recopilación de datos en sistemas físicos reales.

En cuanto a la enseñanza de sistemas térmicos, especialmente en temas de refrigeración y termodinámica aplicada, Shehadi (2020) creó una unidad de entrenamientos a partir de un aire acondicionado portátil, añadiendo sensores de presión y temperatura, para que de esta forma pueda demostrarse el funcionamiento de los ciclos termodinámicos.

Adicionalmente, el desarrollo de dispositivos para la recopilación de datos de variables físicas como la presión y la temperatura ha sido objeto de múltiples investigaciones. Un ejemplo de ello, Ladino *et al.* (2022) diseñaron sondas PTH (presión, temperatura y humedad) para plataformas aéreas no tripuladas, destacan la precisión en la medición en contextos distribuidos. De igual forma, Pekař *et al.* (2015) diseñaron un sistema de adquisición de temperatura de bajo costo para laboratorios educativos, demostrando la viabilidad de integrar tecnologías inteligentes en la formación de ingenieros sin requerir infraestructura cara y pesada.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema de adquisición de datos consta de distintos dispositivos y materiales, la mayoría de ellos ya han sido mencionados, sin embargo, es importante describirlos nuevamente para que haya un adecuado entendimiento sobre cómo funcionan en conjunto dentro del sistema de adquisición de datos y procesamiento de señales.

Los elementos que conforman el sistema de adquisición de datos y monitoreo están mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Materiales del sistema IoT.

Procesamiento de señales	Conectividad	Censado de temperaturas	Censado de presión	Conexiones	Potencia	Montaje
Placa de desarrollo mega 2560	Placa de desarrollo esp32	4 termopar tipo k 2 módulo max6675 2 módulo max31855	4 sensores de presión HK1100C 1.2 MPa-174 PSI	Cable UTP	Fuente de poder de 5 volts Fuente de poder de 7-12 volts	PCB Base de placa

El termopar tipo k (Figura 1a) fue elegido en este trabajo para saber la temperatura del sistema en puntos específicos gracias a su amplio rango de temperaturas y a su bajo costo, respecto a otros termopares. La adquisición que se realizó de los termopares ya incluía el módulo max6675 (Figura 1b) para que fuese posible utilizar un microcontrolador para procesar y ver los datos.

El módulo max6675 (Figura 1a) es una interfaz electrónica que recibe la señal analógica que entrega el termopar y la convierte a una señal digital para ser leída por un microcontrolador. Este circuito integrado está diseñado para ser utilizado con el termopar tipo k y de esta forma facilitar su conexión con los microcontroladores por medio de una comunicación SPI unidireccional. El módulo posee un convertidor analógico digital (ADC) de 12 bits, una compensación de unión fría, un controlador digital y una interfaz serial digital compatible con SPI. Estos módulos fueron desarrollados por MAXIM Integrated Products Inc., sin embargo, los que se consiguen actualmente son genéricos (Geek Factory, 2023).



Figura 1. a) Termopar tipo K, b) módulo max6675, (Tecneu, 2022b).

En el sistema de refrigeración se presentan temperaturas por debajo de los 0°C, y aunque el termopar tipo k es capaz de medir esas temperaturas, el módulo max6675 no puede procesar esas señales, por lo que es necesario hacer uso de un módulo max31855 (Figura 2), que es la versión mejorada del max6675.

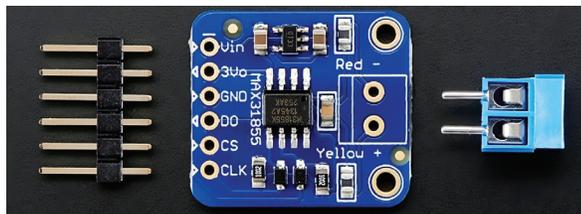


Figura 2. Módulo max31855, (Adafruit, 2023).

El Sensor Presión Industrial HK1100C 1.2 MPa-174 PSI Transductor con rosca G1/4 fue el que se utilizó para medir la presión en el sistema, ya que es ideal para trabajar con fluidos no corrosivos a diferentes temperaturas, está elaborado con materiales de alta calidad, principalmente en acero inoxidable, de uso industrial.

Compatible con cualquier tipo de Microcontrolador que realice la lectura analógica como PIC o Tarjetas de desarrollo Arduino (Figura 3).



Figura 3. Sensor de presión HK1100C.

Para el procesamiento de señales se empleó la tarjeta mega 2560 genérica basada en la Arduino mega 2560, esto con el objetivo de reducir costos y tener un gran número de pines de entrada y salida. Esta tarjeta se encargará de recibir las señales de salida de los sensores descritos en los párrafos anteriores y las procesará a valores de presión y temperatura para posteriormente enviarlas por comunicación serial a otra tarjeta de desarrollo con conexión a internet, que será el medio de comunicación con ThingSpeak (Figura 4).



Figura 4. Tarjeta de desarrollo genérica basada en la Arduino mega 2560, (RANTEC ELECTRONICS, 2022).

Para lograr la comunicación entre la tarjeta de desarrollo y la plataforma ThingSpeak es necesario hacer uso del internet, por lo que es necesario un módulo Wi-Fi o una tarjeta de desarrollo que tenga el módulo integrado. En este caso, se hace uso de la tarjeta ESP32 NodeMCU-32 BT+WiFi 38 Pines (Figura 5), la cual se conectará mediante una comunicación serial a la tarjeta mega 2560 y posteriormente se encargará de publicar los datos en ThingSpeak.



Figura 5. ESP32 NodeMCU-32 BT+WiFi 38 Pines, (TresD Print Tech, 2023).

Para el caso del sistema virtual de adquisición de dato y análisis se optó por ThingSpeak, ya que es una plataforma de servicios que permite subir información a la nube para ser analizada y visualizada. Este servicio es parte de la IoT y es capaz de mostrar una visualización de los datos que son enviados hacia él desde distintos dispositivos mediante internet. Incluso tiene la capacidad de ejecutar el código de MATLAB tras analizar los datos (Figura 6), (The MathWorks, 2023).

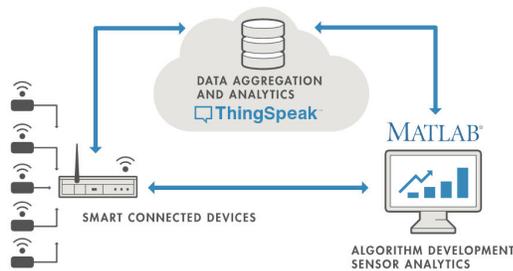


Figura 6. Esquema básico de la conexión de ThingSpeak, (The MathWorks, 2023).

#### CICLO DE REFRIGERACIÓN

El ensamblaje del sistema de refrigeración se realizó siguiendo el recorrido que debe hacer el refrigerante partiendo del compresor. Para eso fue necesario identificar la tubería de descarga, de admisión y de servicio del compresor (Figura 7).

Para el caso de la admisión y descarga se le colocó con plásticero una sección de tubo de 3/8" con una tuerca cónica en un extremo para poderlo conectar a la tubería del sistema; en el caso de la tubería de servicio se colocó una sección de tubería con una válvula de seguridad.

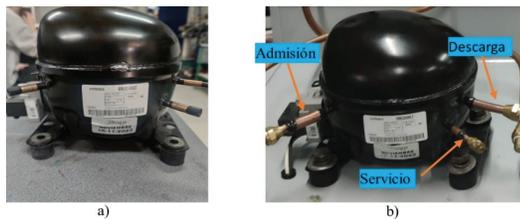


Figura 7. a) Compresor de fábrica, b) compresor con conexiones. Fuente propia.

Los sensores de temperatura poseían una camisa rosca la cual era muy pequeña por lo que sería necesario utilizar muchas reducciones para lograr colocarlos, por lo que se decidió retirar dicha camisa y unir con plásticero los termopares a un niple 3/8" macho flare a 1/8" hembra npt, de esta manera el termopar quedo un poco dentro de la tubería principal para obtener un mejor censado (Figura 8).

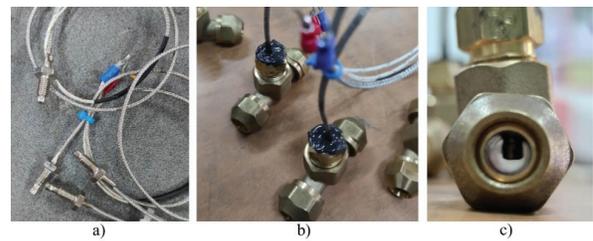


Figura 8. a) Termopar con camisa rosca, b) termopar unido al niple con plásticero y c) vista transversal del termopar en la te. Fuente propia.

La colocación de los sensores de presión se utilizó con una reducción 3/8" macho flare a 1/4" hembra npt que va conectada a una te de 3/8" que posee dos conexiones macho y una hembra. Estas conexiones en te las utilizan todos los sensores y aunque la cantidad de hilos de la rosca del sensor no eran los mismos que los de la reducción a 1/4", con utilizar cinta teflón era suficiente para que sellara (Figura 9).

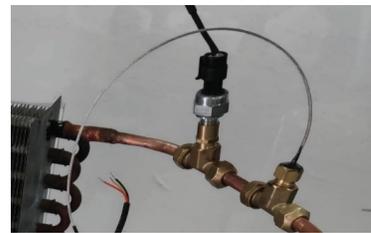


Figura 9. Puesta de sensor de presión y temperatura. Fuente propia.

Para colocar los manómetros se utilizaron conexiones en te de 3/8" con todas sus conexiones macho y se utilizó una sección de tubo para que el manómetro quedara en una mejor posición y clara visibilidad (Figura 10).

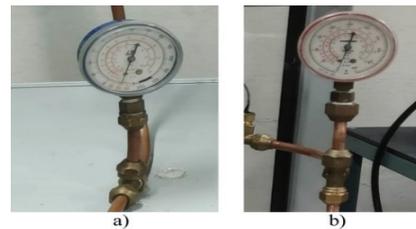


Figura 10. a) Manómetro de baja presión, b) manómetro de alta presión. Fuente propia.

Finalmente, el sistema de refrigeración quedó presentado en la Figura 11.



Figura 11. EDR presentado. Fuente propia.

### ELECTRÓNICA Y PROGRAMACIÓN

De acuerdo con el diagrama de conexión de pines especificadas, se procedió a realizar el diseño en digital del diagrama de conexiones para la PCB (Figura 12), donde se muestran la conexión de los módulos de los sensores de temperatura, los sensores de presión (los cuales se conectan con borneras), la placa mega2560, el esp32 y las fuentes de alimentación.

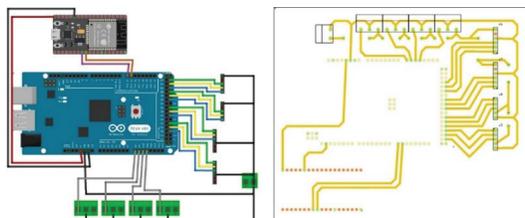


Figura 12. Diseño de la PCB. Fuente propia.

### COMUNICACIÓN SERIAL MEGA2560 Y ESP32

Para realizar la comunicación serial entre las tarjetas se elaboraron dos códigos (Figura 13), uno para la mega2560 y otro para la esp32. El código de la mega2560 genera valores aleatorios y los almacena en una cadena. Posteriormente se hace uso de la librería `Separator.h` para verificar que funciona correctamente y mostrar en pantalla de forma ordenada los valores uno por uno. Finalmente, la cadena es enviada a la esp32 por el puerto serial 3.

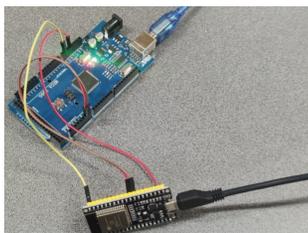


Figura 13. Comunicación serial. Fuente propia.

Una vez que el esp32 recibe los valores, procede a separar la cadena de igual forma que en el mega2560 y los muestra en pantalla, de esta manera se puede verificar

que los datos que fueron enviados por la mega2560 son los mismos que muestra la esp32.

### CENSADO Y ENVÍO DE DATOS A THINGSPEAK

Una vez que todos los componentes fueron probados y el funcionamiento de cada código se verificó, se procedió a realizar los dos códigos que hacen posible el censo de presión y temperatura para posteriormente ser visualizados en ThingSpeak (Figura 14).

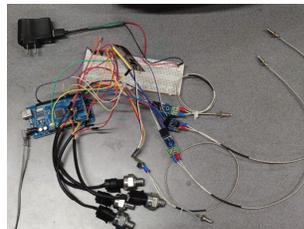


Figura 14. Prueba de todos los sensores y envío de información. Fuente propia.

El código de la mega2560 comprende lo que es el censo de todos los sensores de presión y termopares, almacenándolos en una cadena separados por comas de forma similar al código anterior. Después procede a enviar la cadena al esp32 por el puerto serial 3.

El contador que se utilizó se debe al tiempo de actualización de ThingSpeak en su versión gratuita, el cual corresponde a 15 segundos por mínimo y se dio un margen para evitar problemas de actualización en la página web.

Por parte del código del esp32 se requiere el uso de la librería `Separator.h`, además de las librerías `ThingSpeak.h` y `WiFi.h` para realizar el envío de los datos. Se establece una conexión a una red de internet mediante Wifi y se colocan los valores del canal de ThingSpeak al que se deberán enviar, así como su llave de escritura, ambas obtenidas desde el centro de configuración de la cuenta de ThingSpeak. Una vez que la esp32 recibe una señal por el puerto serial 2, procede a extraer los valores de la cadena y posteriormente son asignados los valores a cada campo correspondiente que previamente se definió en ThingSpeak.

### RESULTADOS

Como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, ThingSpeak es la plataforma encargada de mostrar los valores censados por el sistema de adquisición de datos del EDR. Este sistema fue diseñado e implementado con elementos relativamente económicos y de fácil acceso. En la Tabla 2, se detalla el costo en pesos mexicanos de los componentes utilizados en el sistema, clasificados según su función.

Tabla 2. Costos del sistema de adquisición de datos.

Categoría	Componente	Costo unitario	Cantidad	Costo Total
Procesamiento de señales	Placa de desarrollo Mega 2560	\$700.00	1	\$700.00
Conectividad	Placa de desarrollo ESP32	\$250.00	1	\$250.00
Censado de Temperaturas	Termopar tipo K	\$75.00	4	\$300.00
	Módulo MAX6675	\$150.00	2	\$300.00
	Módulo MAX31855	\$175.00	2	\$350.00
Censado de presión	Sensor de presión HK1100C 1.2 MPa-174 PSI	\$500.00	4	\$2,000.00
Potencia	Fuente de poder de 5 volts	\$500.00	1	\$500.00
	Fuente de poder de 7-12 volts	\$800.00	1	\$800.00

Total general: \$5,200.00

ThingSpeak permite recibir y enviar información a través de internet y almacenar la información en la nube, donde a su vez, la exporta en formato CSV. Su forma de visualización es mediante gráficas o en forma de manómetros, pantallas numéricas o indicador de lámpara.

A la fecha de este trabajo, al crear una cuenta gratuita en la plataforma se tiene acceso al envío de información desde o hacia ThingSpeak con un total de 3,000,000 veces al año, un intervalo mínimo de actualización de 15 segundos, un máximo de 4 canales con 8 espacios cada uno y un límite de 3 canales privados compartidos (The MathWorks, 2023)

En este caso, no es necesario tener una actualización continua de los valores en la plataforma debido a que el sistema de refrigeración se vuelve estable después de unos momentos en operación, por lo que la velocidad de actualización de información no resulta un problema, sin embargo, si en algún momento se necesitara cambiar el tiempo que tardan en enviarse los datos a la plataforma, este se puede modificar en el código de Arduino en la variable “timerDelay”.

En la Figura 15 se muestra parte del arreglo que se realizó para la visualización de los valores censados. Este arreglo está acomodado en pares de datos, presión a la izquierda y temperatura a la derecha, siendo estos los pares de valores correspondientes a un punto en específico del sistema, los cuales ya se mostraron previamente en el diagrama del EDR en el capítulo 3. El uso de los campos para cada sensor se puede ver en la Figura 16.

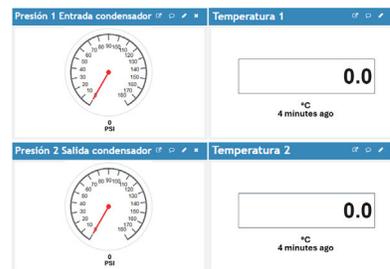


Figura 15. Captura de pantalla parcial de la visualización de datos en ThingSpeak. Fuente propia.

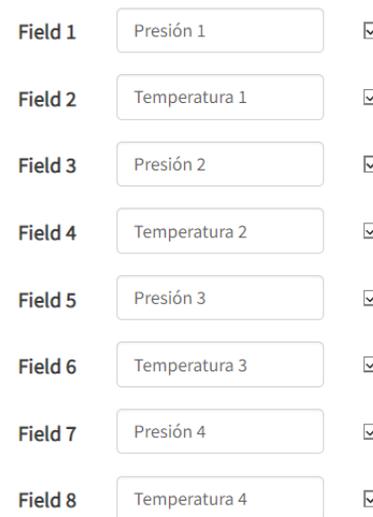


Figura 16. Asignación de campos del canal de ThingSpeak. Fuente propia.

Como se puede apreciar en el código del esp32, es necesario tener clara la asignación realizada en ThingSpeak, debido a que la misma asignación se debe realizar en el código. De no verificar esto cuidadosamente se puede presentar un cruce de datos (Figura 17).



Figura 17. Captura de pantalla de la visualización de datos en ThingSpeak por gráficas. Fuente propia.

Por otro lado, las gráficas de cada campo se van construyendo conforme los datos son actualizados, esto permitirá que se observe la evolución de la temperatura y presión dentro del sistema. Sin embargo, el uso de esta opción de visualización con la intención mencionada obliga a que haya un encargado de entrar a la cuenta de ThingSpeak cada vez que el equipo se utilice para eliminar la información previa y de esta manera ver de nuevo la evolución de los valores de temperatura y presión del equipo. Esto no supone ningún problema gracias a que en todo momento que se realicen prácticas con el EDR, debe estar presente un encargado de llevarla a cabo, por lo que este mismo será quien limpie la base de datos del canal de ThingSpeak (Figura 17).

El sistema propuesto facilita la recopilación de variables termodinámicas (temperatura, presión y entalpía) de manera remota y en varios puntos y momentos del ciclo de refrigeración, esta recopilación se obtiene mediante sensores conectados a una plataforma ESP32 con conectividad WiFi. Estas variables se almacenan de forma automática, simulando condiciones reales de operación, lo cual aporta al aprendizaje práctico.

Estas variables se visualizan en gráficas de temperatura y presión, exhibiendo su comportamiento en la entrada y la salida del condensador. Se aprecia un comportamiento estable en los primeros minutos de operación; la temperatura de entrada se mantiene próxima a los 58°C con una desviación inferior a  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ , mientras que la presión oscila alrededor de 8.4 bar; a la salida del condensador la temperatura promedia en 32.8°C y la presión se queda en valores similares a los de la entrada. Esto es característico en condensadores reales, donde la caída de presión es mínima. Este comportamiento demuestra que el sistema ha alcanzado condiciones de cuasi-estado estacionario, dando la posibilidad de tomar mediciones representativas para el análisis energético y para el cálculo del Coeficiente de Desempeño (COP) del ciclo.

En las mediciones de ThingSpeak se logra observar la repetición en las mediciones con variaciones cíclicas

pequeñas en temperatura y presión, esto comprueba que el sistema didáctico reproduce de forma confiable los fenómenos físicos separados; esto es de suma importancia para entornos educativos debido a que permite a las y los estudiantes repetir mediciones, graficar y realizar cálculos de forma consistente. Aunado a ello, la baja dispersión temporal sugiere una calibración de los sensores y un diseño térmico estable del condensador didáctico capaz de reproducir ciclos de refrigeración controlados en laboratorio (Figura 18).

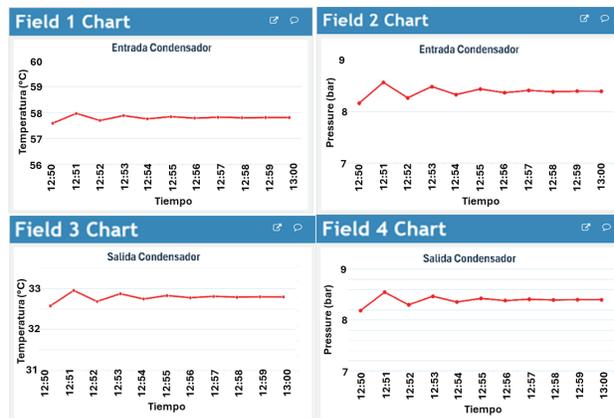


Figura 18. Mediciones de estabilidad del condensador. Fuente propia.

Debido a los cambios de temperatura en la entrada del condensador varían de 57.8°C a 87.4°C entre las series de datos, se muestra que el entorno gráfico simula la acumulación térmica por compresión continua de forma realista, brindando una visualización clara del desequilibrio térmico transitorio en condiciones semiestacionarias.

En la Tabla 3 se resumen las mediciones capturadas por el sistema. Se realizaron dos pruebas para determinar las entalpías con base en los datos recopilados. Los valores registrados de presión reflejan un comportamiento típico: Baja presión en la salida del evaporador (1.65-2.49 bar) y alta presión en la entrada del condensador (8.4-12.7 bar), validando la función del compresor en el ciclo. Se observa un incremento significativo entre la temperatura de salida del evaporador (7.8-11.8 °C) y la entrada del condensador (57.8-87.4 °C), consistente con el proceso de compresión en el ciclo termodinámico. La temperatura desciende en la salida del condensador (32.8-49.6 °C) debido a la liberación de calor hacia el ambiente. Estos patrones son coherentes con los principios de la segunda ley de la termodinámica. Este mismo proceso podría aplicarse a los datos del evaporador, de la válvula de expansión y del compresor una vez alcanzada su estabilización térmica.

Adicionalmente, se calculó el valor estimado de entalpía en cada punto mediante interpolación, usando los valores obtenidos con los sensores indirectos y valores obtenidos por las propiedades del refrigerante. El sistema permite ver las magnitudes y asociarlas a procesos específicos como la evaporación, la compresión y la condensación; esto mejora la comprensión del ciclo del sistema.

Teniendo en cuenta que las condiciones del condensador se mantienen constantes, los datos obtenidos durante el régimen estacionario (como los de la primera prueba de la Tabla 3) pueden usarse para los cálculos de

la capacidad de refrigeración del equipo, que está dada por el calor absorbido en el evaporador (QB). En cambio, la carga de refrigeración corresponde a la energía térmica que contiene el medio que se desea refrigerar. El trabajo ejercido por el compresor sobre el fluido refrigerante (W) puede estimarse como la diferencia entre el calor disipado por el condensador (QA) y el calor absorbido por el evaporador (QB). El calor absorbido en el evaporador (QB), el calor expulsado en el condensador (QA) y la potencia o trabajo ejercido sobre el fluido refrigerante (W), El coeficiente de operación (COP) se calcula de acuerdo con la ecuación (1).

Tabla 3. Medición de variables para cálculo del COP.

Ubicación	Test 1			Test 2		
	T (°C)	P (bar)	h (kJ/kg)	T (°C)	P (bar)	h (kJ/kg)
Salida del evaporador	7.8	1.7	408.7	9.8	2.1	513.5
Entrada del condensador	57.8	8.4	443.0	72.6	10.6	556.6
Salida del condensador	32.8	8.4	246.4	41.2	10.6	309.6
Entrada del evaporador	6.5	1.8	407.2	8.2	2.3	511.6
Entrada a la válvula de expansión	20.0	8.0	235.0	25.1	10.1	295.3

Fuente propia.

$$COP_R = \frac{q_L}{W_{neto, entrada}}$$

$$COP_R = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = 5.064 \quad (1)$$

$$\dot{W} = \frac{1}{4}hp = 0.186425 \text{ kJ/s}$$

Para el cálculo del flujo másico, uno de los métodos más utilizados es mediante la ecuación (2) el intercambio de calor en un elemento del circuito por el que corre el refrigerante, por ejemplo, en el evaporador o en el condensador, conociendo el flujo de aire y sus temperaturas antes y después de pasar por el radiador, así como las temperaturas y presiones a la entrada y salida del radiador se puede calcular el flujo de refrigerante.

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}}{h_2 - h_1}$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}}{h_2 - h_1} = \frac{0.186425 \text{ kJ/s}}{443 - 408.7 \text{ kJ/kg}} \quad (2)$$

$$m = 5.435 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

La implementación de tecnología basada en IoT en entornos educativos, ha sido explorada con diversos enfoques, como en el trabajo de Hercog *et al.* (2023) donde se desarrolló una arquitectura modular de bajo costo usando ESP32, orientado a la automatización y electrónica de entornos educativos, destacando la adaptabilidad del microcontrolador a múltiples sensores como el de humedad y temperatura. La validación experimental reporta una precisión del  $\pm 2\%$  en los sensores de temperatura y una latencia de comunicación inferior a 500 ms. No obstante, su alcance se limita a prácticas generales sin interacción con sistemas termodinámicos reales, ni análisis energético, y su visualización está confinada a redes locales sin almacenamiento estructurado en la nube. Los resultados obtenidos son consistentes con lo documentado por Shehadi (2020), destacando que el uso de unidades de refrigeración didácticas aporta a la formación de ingenieros en el análisis de sistemas térmicos.

Estos resultados permiten comentar que el avance continuo en tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) ha llevado a innovaciones significativas en numerosos campos, incluyendo la educación y la gestión de recursos. La aplicación de estas tecnologías en sistemas de

refrigeración, especialmente en entornos educativos, ha abierto nuevas oportunidades para mejorar el aprendizaje práctico y la gestión de datos en tiempo real. En este análisis, comparamos el proyecto del refrigerador didáctico con IoT para el laboratorio de termofluidos con investigaciones previas en sistemas de refrigeración inteligentes.

Prapulla *et al.* (2015), investigan un sistema de refrigerador inteligente que monitorea en tiempo real el contenido del refrigerador y notifica al usuario cuando algún producto tiene baja cantidad. Utiliza sensores de presión y resistencias dependientes de la luz (LDR). El sensor de presión envía una alerta cuando la presión está por debajo de 0.5 kg, y los sensores LDR monitorean los recipientes con líquidos. El sistema utiliza SMS y correos electrónicos para notificar al usuario sobre productos escasos y facilita la compra de estos artículos mediante enlaces a vendedores en línea. Por otro lado, Deepi *et al.* (2016), diseñan un sistema de refrigerador inteligente que detecta tanto la cantidad como la calidad de los alimentos. Además, revisa la fecha de vencimiento y el deterioro de los productos. El sistema emplea un sensor de celda de carga, un microcontrolador STM32F103x8, un módulo Wi-Fi ESP8226 y una aplicación Android. El microcontrolador STM32F103x8 Cortex M3 ARM gestiona los datos del sensor y transmite la información al teléfono Android utilizando tecnología IoT.

Farr *et al.* (2014) emplea FridgeCam y el Proyecto de Código de Colores en lugar de sensores tradicionales. FridgeCam ayuda a reducir el acaparamiento de alimentos al mejorar el conocimiento del suministro de alimentos, mientras que el Proyecto de Código de Colores fomenta el consumo de alimentos olvidados mediante la mejora de la conciencia sobre su ubicación. El sistema utiliza un módulo Wi-Fi y una placa Arduino UNO, con datos enviados a la nube. Un sensor de olor detecta gases de alimentos en descomposición, manteniendo la frescura y reduciendo el desperdicio, finalmente, Nasir *et al.* (2018) analizan el desafío del desperdicio de alimentos por descomposición y propone una solución mediante un sistema de refrigerador inteligente. Utiliza un módulo de sensores que incluye una celda de carga, un sensor de olor, módulos de control y transmisión para monitorizar los alimentos dentro del refrigerador. El sistema notifica al usuario sobre la condición y cantidad de los alimentos a través de SMS o correo electrónico. La combinación del Internet de las Cosas (IoT) con la evolución de las cocinas inteligentes promete reducir el desperdicio de alimentos y mejorar la gestión de inventarios en el hogar.

Aunque los estudios revisados abordan el tema de los refrigeradores inteligentes desde diversas perspecti-

vas, con un enfoque en la notificación al usuario y la reducción de desperdicio de alimentos, el proyecto del refrigerador didáctico con IoT para el laboratorio de termofluidos se distingue por su enfoque educativo. Este proyecto integra múltiples sensores para el análisis en tiempo real y se utiliza como una herramienta pedagógica para enseñar conceptos de ingeniería y termodinámica, mientras que los estudios revisados se centran más en la gestión de alimentos y la reducción del desperdicio en el contexto doméstico.

Para propiciar la transferencia de tecnología en el proyecto de integración de IoT en el sistema de refrigeración del laboratorio de Termofluidos, se abordaron varias áreas de investigación clave. Estas áreas facilitaron la implementación exitosa del proyecto y prepararon el terreno para la transferencia de tecnología a otros contextos educativos e industriales, por ejemplo, se investigó cómo integrar sensores IoT y plataformas de monitoreo en el sistema de refrigeración para permitir el seguimiento y control en tiempo real, permitiendo seleccionar y configurar los sensores adecuados, como los módulos MAX6675 y MAX31855 para la medición de temperatura, y se estableció la conexión con ThingSpeak para la visualización de datos. Este enfoque permite a otros laboratorios y sistemas adoptar tecnologías similares para mejorar el monitoreo y la gestión de equipos industriales. Así mismo, se exploraron y aplicaron protocolos de comunicación adecuados para transmitir datos entre sensores IoT y la plataforma de monitoreo. La adopción de protocolos de comunicación estandarizados facilita la integración de nuevas tecnologías en sistemas existentes y mejora la interoperabilidad.

### CONCLUSIONES

Este estudio ha demostrado la viabilidad y efectividad de integrar tecnologías IoT en un sistema didáctico de refrigeración por compresión, proporcionando una herramienta robusta para la adquisición y análisis en tiempo real de variables termodinámicas clave. La implementación de sensores de temperatura y presión conectados a través de placas de desarrollo como la Mega2560 y ESP32 han permitido la recolección y transmisión eficiente de datos hacia la plataforma ThingSpeak, lo que facilita la visualización y monitoreo remoto del sistema.

La actualización del sistema de refrigeración resultó ser una mejora significativa para el laboratorio de Termofluidos, convirtiéndolo en un espacio más atractivo y funcional para la investigación y enseñanza. Esto también puede servir como un modelo para futuros proyectos de modernización en otros laboratorios.

Uno de los principales logros de esta investigación fue la validación de un sistema educativo que no solo mejora la comprensión teórica de los estudiantes, sino que también refuerza su capacidad para interactuar con equipos reales de manera remota. Esto es particularmente relevante en el contexto actual de la educación a distancia, donde los laboratorios virtuales y remotos se han convertido en una necesidad para garantizar la continuidad del aprendizaje experimental.

Además, el bajo costo y la posibilidad de replicar este sistema en otras instituciones educativas destacan su potencial para ser ampliamente adoptado, democratizando el acceso a recursos de laboratorio de alta calidad. La posibilidad de manipular los equipos a distancia no solo mejora la seguridad, sino que también optimiza el uso del tiempo y los recursos disponibles, haciendo que este tipo de herramientas sean indispensables en la formación de ingenieros.

Finalmente, este proyecto sienta las bases para futuras investigaciones y transferencia de tecnología, se recomienda explorar el uso de modelos de aprendizaje automático para mejorar la predicción de fallos y el análisis de patrones complejos en los datos recolectados. La implementación de técnicas avanzadas de visualización de datos también facilitará la interpretación de los resultados por parte de los estudiantes, promoviendo una comprensión más profunda y precisa del desempeño del sistema. Se sugiere investigar métodos más sofisticados para el ajuste dinámico del sistema de refrigeración en función de las condiciones operativas y las predicciones de demanda. Implementar y evaluar algoritmos para el control adaptativo permitirá una optimización más efectiva del consumo energético en tiempo real, adaptando el sistema a las variaciones de demanda y mejorando la eficiencia operativa. Esto no solo contribuirá a una mayor sostenibilidad, sino que también puede reducir costos operativos significativos.

Para evaluar plenamente el impacto educativo de la integración de IoT en el laboratorio, es recomendable realizar estudios más detallados que incluyan encuestas y análisis del desempeño académico de los estudiantes. Investigar cómo estas tecnologías afectan las habilidades prácticas y la preparación profesional de los estudiantes proporcionará una visión integral sobre los beneficios educativos de la tecnología. Estos estudios ayudarán a garantizar que la integración de IoT en el laboratorio sea eficaz para mejorar la formación práctica y profesional de los estudiantes.

### REFERENCIAS

- Adafruit. (2023). Thermocouple amplifier MAX31855 breakout board (MAX6675 upgrade). Recuperado de <https://www.adafruit.com/product/269>

- Ahad, A., Tahir, M., & Yau, K. L. A. (2020). 5G-based smart health-care network: Architecture, taxonomy, challenges and future research directions. *IEEE Access*, 7, 167691-167710. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2950874>
- Baker, S. B., Xiang, W., & Atkinson, I. (2017). Internet of things for smart healthcare: Technologies, challenges, and opportunities. *IEEE Access*, 5, 26521-26544. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2775180>
- Deepti, S., & Preet, J. *et al.* (2016). IoT Based Smart Refrigerator System. *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE)*, 5(7), 5.
- Geek Factory. (2023). MAX6675 Módulo interfaz para termopar tipo K. Recuperado de <https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos/max6675-modulo-interfaz-para-termopar-tipo-k/>
- Farr-Wharton, G., Hee-Jeong, J. C., & Foth, M. (2014). Technicolouring the fridge: reducing food waste through uses of colour-coding and cameras. En Proceedings of the 13th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM '14). Association for Computing Machinery, New York, USA, 48-57. Recuperado de <https://doi.org/10.1145/2677972.2677990>
- Hercog, D., Lerher, T., Trunti, M., & Težak, O. (2023). Design and implementation of ESP32-Based IoT devices. *Sensors*, 23(15), 6739. <https://doi.org/10.3390/s23156739>
- Triana-Ortiz, K. N., Herrera-Muñoz, D. C., & Mesa-Mendoza, W. N. (2020). Importancia de los laboratorios remotos y virtuales en la educación superior. Documentos de Trabajo. *ECBTL*, 1(1). <https://doi.org/10.22490/ECBTL.3976>
- Jawad, H. M., Nordin, R., Gharghan, S. K., Jawad, A. M., & Ismail, M. (2021). Energy-efficient wireless sensor networks for precision agriculture: A review. *Sensors*, 21(15), 5392. <https://doi.org/10.3390/s21155392>
- Kalamaras, S. D., Tsitsimpikou, M.-A., Tzenos, C. A., Lithourgidis, A. A., Pitsikoglou, D. S., & Kotsopoulos, T. A. (2025). A Low-Cost IoT system based on the ESP32 microcontroller for efficient monitoring of a pilot anaerobic biogas reactor. *Applied Sciences*, 15(1), 34. <https://doi.org/10.3390/app15010034>
- Ladino, K. S., Sama, M. P., & Stanton, V. L. (2022). Development and calibration of Pressure-Temperature-Humidity (PTH) probes for distributed atmospheric monitoring using unmanned aircraft systems. *Sensors*, 22(9), 3261. <https://doi.org/10.3390/s22093261>
- Mircea, M., Stoica, M., & Ghilic-Micu, B. (2021). Investigating the impact of the Internet of Things in higher education environment. *IEEE Access*. Advance online publication. Recuperado de <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3060964>
- Miorandi, D., Sicari, S., de Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7), 1497-1516. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.02.016>
- Mora-González, S. (2015). *Entendiendo el Internet de las cosas*. InvestigaTEC, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Nasir, H., Aziz, W., Ali, F., Kadir, K., & Khan, S. (2018). The implementation of IoT based smart refrigerator system. 2nd International Conference on Smart Sensors and Application (ICSSA), Kuching, Malaysia, 48-52. Recuperado de <https://doi.org/10.1109/ICSSA.2018.8535867>
- Pekař, L., Dostálek, P., Navrátil, P., & Oborný, Z. (2015). Low-cost intelligent educational laboratory temperature data acquisition and control device. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 9, 103-112.
- Prapulla, S. B., Shobha G., & Thanuja, T. C. (2015). Smart refrigerator using internet of things. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, 2(7), 1795-1801.
- RANTEC ELECTRONICS. (2022). Tarjeta Mega 2560 Smd compatible con Arduino con cable USB. Recuperado de [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-830120931-tarjeta-mega-2560-smd-compatible-con-arduino-con-cable-usb-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-830120931-tarjeta-mega-2560-smd-compatible-con-arduino-con-cable-usb-_JM)
- Shehadi, M. (2020). Refrigeration cycle educational training unit development. En: ASEE Annual Conference & Exposition. American Society for Engineering Education. Recuperado de <https://doi.org/10.18260/1-2--35134>
- Tecneu. (2022a). Tecneu. Sensor de presión agua, aire, aceite, gas 174psi. Recuperado de [https://www.tecneu.com/products/sensor-de-presion-agua-aire-aceite-gas-174psi?\\_pos=1&\\_sid=2b79d5525&\\_ss=r](https://www.tecneu.com/products/sensor-de-presion-agua-aire-aceite-gas-174psi?_pos=1&_sid=2b79d5525&_ss=r)
- Tecneu. (2022b). Tecneu. Termopar tipo K + módulo Max6675. Recuperado de [https://www.tecneu.com/products/termopar-tipo-k-modulo-max6675?\\_pos=3&\\_sid=c8ccb57cf&\\_ss=r](https://www.tecneu.com/products/termopar-tipo-k-modulo-max6675?_pos=3&_sid=c8ccb57cf&_ss=r)
- The MathWorks, Inc. (2023). Learn more about ThingSpeak. Recuperado de [https://thingspeak.com/pages/learn\\_more](https://thingspeak.com/pages/learn_more)
- TresD Print Tech. (2023). ESP32 NodeMCU-32 BT+WiFi 38 Pines. Recuperado de <https://tresdprinttech.com/mx/tarjetas-serie-esp/367-esp32-nodemcu-btwifi-puerto-antena-externa-38-pines-0732064780610.html>
- Vargas, J., Cuero, J., & Torres, C. (2020). Laboratorios remotos e IOT una oportunidad para la formación en ciencias e ingeniería en tiempos del COVID-19: Caso de Estudio en Ingeniería de Control. *Espacios*, 41(42), 188-198. <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n42p16>
- Villalobos-Molero, Á., & Romero-Alonso, R. (2023). Laboratorios remotos en educación superior: Una revisión bibliográfica sistematizada. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, 35, e7. <https://doi.org/10.24215/18509959.35.e7>
- Vujović, V., & Maksimović, M. (2015). The impact of the internet of things on engineering education. 2nd International Conference on Open and Flexible Education (ICOFE), Hong Kong, 135-144.

**How to cite:**

Leyva-Retureta, J. G., Aldana-Franco, F., Álvarez-Sánchez, E. J. & Aldana-Franco, R. (2025). Sistema didáctico de refrigeración por compresión acondicionado con IoT para la adquisición y análisis de datos en tiempo real. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 26(04), 1-12. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2025.26.4.028>