

Comprobación de la presión interna de un refrigerador con el uso del barómetro ESP8266 y BMP180

EDUCATIO PHYSICORVM



QVO NON ASCENDAM?

ISSN 1870-9095

Hernani Batista da Cruz¹, Richar Nicolas Durán¹, Samuel Correa Machado¹, João Alexandre Baptist da Cruz¹, Marcio José Kloste⁴, Ariangelo Hauer Dias², Silvio Luiz Rutz da Silva¹, Sani de Carvalho Rutz da Silva²

¹*Departamento de Física, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Avenida Carlos Cavalcanti, 4748, Uvaranas, Ponta Grossa, PR, Brasil.*

²*Departamento de Informática, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil.*

³*Depto. de Matemáticas, Universidad Tecnológica Federal de Paraná, Brasil*

⁴*Eje de control y procesos industriales, Campus Telêmaco Borba. Carretera PR 160, Km 19.5 - Parque Limeira - CEP 84269-090*

E-mail: hernanibc@gmail.com

(Recibido el 20 de julio de 2021, aceptado el 30 de agosto de 2021)

Resumen

En el 2015, al resolver un ejercicio de prueba de Examen Nacional de Educación Media (ENEM), nos encontramos con la siguiente pregunta: ¿Qué sucede dentro del refrigerador cuando lo abrimos y luego lo cerramos? Cuando intentamos abrirlo de nuevo, encontramos una cierta dificultad. El presente trabajo tiene como objetivo mostrar el fenómeno que ocurre en el interior del refrigerador a través de una demostración experimental que busca obtener los valores de temperatura y presión donde se puede dar respuesta a la pregunta inicial de cuánto es el valor de la diferencia de presión que se produce, así como para encontrar un valor experimental que exprese la fuerza requerida para abrir la puerta del refrigerador en el instante en que la presión interna es menor que la presión externa. Para ello, utilizamos un dispositivo experimental ESP8266, sensores de temperatura y presión BMP180, además de una base de datos que se recibe de los sensores. Es importante destacar que, debido a la pandemia provocada por el nuevo coronavirus, SARS-CoV2, para que todos los participantes de este estudio pudieran seguir la recopilación de datos, también se utilizó la plataforma Cayenne Device. Como resultado, podemos observar que la disminución de presión ronda los 150 Pa, y en el período en el que la presión interna es menor que la externa, una persona necesita imprimir una fuerza de aproximadamente 150 N o el equivalente a 3 paquetes de azúcar de 5 kg. Concluimos que esta investigación, además de resolver experimentalmente un ejercicio de la prueba ENEM, beneficia a los estudiantes que muchas veces tienen dificultades para relacionar los contenidos aprendidos en la escuela con los fenómenos vividos en nuestra vida diaria.

Palabras clave: Física, Sensores, Arduino, Demostración Experimental.

Abstract

In 2015, when solving a test exercise for the *Examen Nacional de Educación Media (ENEM)*, we were faced with the following question: What happens inside the refrigerator when we open it and then close it? When we try to open it again, we encounter a certain difficulty. This research aims to show the phenomenon that occurs inside the refrigerator through an experimental demonstration that seeks to obtain the values of temperature and pressure, to answer the initial question of how much is the value of the pressure difference that it is produced, as well as to find an experimental value that expresses the force required to open the refrigerator door at the instant when the internal pressure is less than the external pressure. To do this, we use an experimental device ESP8266, temperature and pressure sensors BMP180, as well as a database that is received from the sensors. It is important to note that, due to the pandemic caused by the new coronavirus, SARS-CoV2, so that all participants in this study could follow the data collection, the Cayenne Device platform was also used. As a result, we can observe that the pressure decrease is around 150 Pa, and in the period in which the internal pressure is less than the external one, a person needs to print a force of approximately 150 N or the equivalent of 5 packets of sugar of 5 Kg. We conclude that this research, in addition to experimentally solving an ENEM test exercise, also benefits students who often have difficulties in relating the contents learned in school with the phenomena experienced in our daily lives.

Keywords: Physics, Sensors, Arduino, Experimental Demonstration.

I. INTRODUCCIÓN

Es probable que ya te hayas topado con una situación en tu vida diaria, en la que, conociendo o no todos los conceptos involucrados en el fenómeno, tenías curiosidad por

cuantificar los valores de fuerzas o presiones que estaban involucradas en la situación observada.

De una pregunta realizada en el Examen Nacional de Educación Media (ENEM-2015), donde se preguntó a los estudiantes sobre el fenómeno que ocurre dentro de un

refrigerador, cuando se abre la puerta, se cierra rápidamente y luego se vuelve a abrir, percibimos que por un tiempo hay una marcada dificultad para abrir la puerta.

“Una persona abre su refrigerador, revisa lo que hay dentro y luego cierra la puerta de ese refrigerador. Luego intenta abrirla de nuevo, pero solo puede hacerlo después de ejercer una fuerza más intensa de lo habitual” (ENEM -2015).

¿Qué hizo que fuera difícil abrir el refrigerador y luego cerrarlo? Las alternativas ofrecidas como respuestas, fueron las siguientes: (a) disminuyó el volumen de aire dentro del refrigerador; (b) el motor del refrigerador está funcionando con potencia máxima; (c) aumenta la fuerza ejercida por el imán fijado en la puerta del refrigerador; (d) la presión dentro del refrigerador está por debajo de la presión externa; (e) la temperatura en el interior del refrigerador es inferior al valor existente antes de abrir.

Cuando se abre la puerta del refrigerador, considerando que estuvo cerrada por algún tiempo, por tanto, en equilibrio térmico interior. El proceso de abrir la puerta hace que entre el aire caliente que está afuera del refrigerador para equilibrar la temperatura más baja en el compartimento donde se encuentra el congelador. Pero cuando cerramos la puerta, esta masa de aire caliente queda confinada en el compartimento para que pueda funcionar el sistema de refrigeración. El sistema busca sacar esta energía térmica del compartimento a través de un sistema de gas confinado en un tubo que enrolla la pared interior del refrigerador, realizando intercambios térmicos con el medio ambiente.

Durante este proceso, en un intervalo de tiempo pequeño, como veremos más adelante, la presión interna del refrigerador se vuelve ligeramente inferior a la presión externa. Pero, ¿cuál es el valor de esta diferencia de presión?

A través de la demostración experimental desarrollado, que contó con un ESP8266 (microcontrolador) y un sensor barométrico BMP180, realizamos la medición experimental de la diferencia de esa presión interna, comparándolo con otro sistema que llamaremos control, el cual estaba colocado fuera del refrigerador.

Experimentos como el descrito, en las últimas décadas muestran las diversas curiosidades que experimentamos en nuestra vida diaria, donde la mayoría de estos temas están relacionados con fenómenos físicos, los cuales pueden ser interpretados y analizados en la búsqueda de resultados más cercanos a la realidad, precisamente por querer un poco más cerca de alguna verdad.

Con el rápido avance de nuevos recursos tecnológicos observados en los últimos años, la sociedad actual está cada vez más conectada, está rodeada de tecnologías que se pueden adaptar y utilizar para realizar mediciones, pruebas y ensayos en el mundo de la ciencia, como por ejemplo en la Física.

Actualmente, existen muchos equipos tecnológicos que pueden ayudar al desarrollo de la ciencia, por ejemplo, el uso de simuladores, sensores, entre otros. Según [1], la robótica puede ayudar en el desarrollo de las siguientes habilidades: razonamiento lógico; formulación y prueba de hipótesis; habilidades manuales y estéticas; relaciones interpersonales e intrapersonales; integración de conceptos aprendidos en diferentes áreas del conocimiento para el desarrollo de proyectos; investigación y comprensión; representación y

comunicación; trabajar con la investigación; resolución de problemas mediante aciertos y errores; aplicación de teorías formuladas a actividades concretas; uso de la creatividad en diferentes situaciones y capacidad crítica.

Así, el presente estudio describe un experimento de una acción cotidiana, que tiene lugar en intentar responder lo que acontece en el ambiente dentro y fuera de un refrigerador, utilizando el Arduino y sensores de temperatura y presión.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

A. Arduino

Según [3], Arduino apareció en el *Interaction Design Institute* de la ciudad de Ivrea, Italia, en 2005 con el profesor Massimo Banzi, junto con David Cuartielles, quien diseñó la placa y programó el software. Massimo contrató a un ingeniero local llamado Gianluca Martino para producir una serie inicial de doscientas placas y estudiantes de diseño que querían usar microcontroladores en algunos proyectos, pero querían una placa simple y económica para construir proyectos que requieran circuitos electrónicos y programación. Así, Arduino fue concebido con el objetivo de facilitar el uso para el desarrollo de proyectos electrónicos de forma sencilla, para personas que, a priori, no tenían grandes conocimientos de electrónica.

Arduino se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos independientes, se puede conectar a una computadora, a una red o incluso a Internet para recuperar y enviar datos de Arduino, además de actuar sobre ellos. En otras palabras, puede enviar un conjunto de datos recibidos de algunos sensores a un sitio web, datos que luego se pueden mostrar en forma de gráfico [4].

Arduino es una plataforma de hardware gratuita comúnmente llamada Arduino en Brasil, que consta de una sola placa, con soporte de entrada/salida incorporada, utiliza un lenguaje de programación simple que se origina en el cableado, que en esencia corresponde al lenguaje C/C++. El objetivo del proyecto Arduino fue crear herramientas accesibles, de bajo costo, flexibles y fáciles de usar por personas sin conocimientos de programación, que puedan ser utilizadas para el desarrollo de diversos tipos de objetos interactivos, o incluso para conectarse a una computadora.

B. Termodinámica de refrigeradores

La presión que ejerce un gas en un recipiente se debe a colisiones entre las moléculas de gas y las paredes del recipiente, como se indicó. [5]. La presión que ejerce el gas se puede obtener mediante la expresión:

$$P = \frac{F(N)}{A(m^2)}, \quad (1)$$

donde la fuerza es expresada en newton (N) y el área en metros cuadrados (m^2). Como resultado tendremos que la unidad de medida de presión que es pascal (Pa).

Considerando un volumen rectangular de volumen (V) y con (N) moléculas de gas con masa (m) y velocidad (v), el número de moléculas que chocan con la pared es [5]:

$$N_{col} = \frac{1}{2} \frac{N}{V} |v_x| \Delta t LA. \quad (2)$$

En la Figura 1, podemos ver un proceso en el que el volumen (V) disminuye, donde también hay una cantidad de partículas que chocan con las paredes que forman el volumen (V).

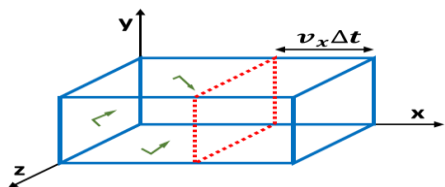


FIGURA 1. Contracción del gas y consecuente aumento del número de colisiones dentro del volumen V . Figura adaptada.

Considerando que todas las colisiones que ocurren son de tipo elástico, la cantidad de momento de las moléculas antes de la colisión es $+mv$, y después de que chocan, adquiere impulso, el cambio total en el impulso está dado por, en un intervalo de tiempo es, multiplicado por el número total de moléculas en segundo lugar, [5]: $+mv - mv \left| \Delta p \right| \Delta t 2mv_t$

$$\left| \Delta p \right| = \frac{N}{V} mv_x^2 \Delta t A. \quad (3)$$

Como se muestra en la ecuación (1) y reescribiendo la expresión para resaltar la fuerza (F), obtenemos la presión en el interior en una de las direcciones, en este caso en x , como siendo:

$$p = \frac{N}{V} m v_x^2. \quad (4)$$

Consideramos un refrigerador ideal, que funciona entre dos fuentes térmicas, una caliente y otra fría, y que en la naturaleza se produce el intercambio de gases de la fuente caliente a la fría. El enfriador funciona en la dirección opuesta y es necesario trabajar para eliminar la energía caliente y dispersarla en el medio ambiente. El intercambio de gases dentro de un refrigerador se produce por convección, el gas caliente de un alimento colocado en el interior del refrigerador sube, enfría y vuelve a descender.

En la figura 2, se muestra el funcionamiento del ciclo térmico en el interior de un refrigerador, en el que, para reducir la temperatura en el depósito frío, es necesario realizar un trabajo a través del motor, mueve un refrigerante a través de un tubo, parte del cual se puede ver en la parte trasera del refrigerador.

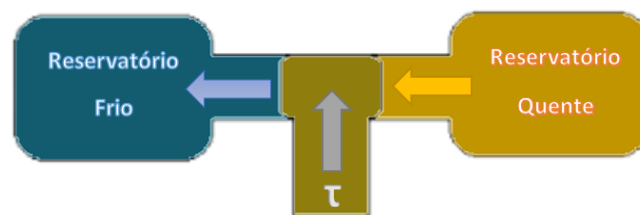


FIGURA 2. Contracción de gas y consecuente aumento de choques dentro del volumen V . Figura adaptada.

III. METODOLOGÍA

A. Materiales y Métodos

Para realizar la verificación experimental, se desarrolló una experiencia donde se utilizó los siguientes materiales:

- 2 protoboard;
- 2 ESP8266 v3;
- Cables de conexión (puentes);
- 2 BMP180.

Para la adquisición de datos, se crearon scripts para leer el sensor BMP180 utilizando el protocolo de comunicación I2C. El primer intento de realizar el experimento fue configurar los dos BMP180 en el mismo ESP8266, sin embargo, como ambos usan la misma dirección, la hoja de datos confirmó que no era posible configurar ambos en el mismo ESP8266. Incluso con los intentos de reescribir la biblioteca Adafruit_BMP085_U.h y el archivo Adafruit_BMP085_U.cpp, no tuvimos éxito.

Por lo tanto, elegimos el conjunto que hacía uso de dos juegos de microcontroladores y un barómetro. El aparato que se colocó dentro del refrigerador se alimentó con un powerbank.

De esta manera, el objetivo era que tuviéramos un valor de presión de referencia, y para que el análisis se realizaría comparando los valores de presión y temperatura dentro y fuera del refrigerador. Se programaron los conjuntos experimentales para que la adquisición funcionara como peer to peer (el sensor que se colocó en el refrigerador se denominó "INTERNO" y el sensor que quedó afuera del refrigerador se denominó "Control". El Interno envía una cadena de datos de presión y temperatura para el control. Cuando el Control detecta un paquete de datos, realiza la lectura y ensambla un URL para ingresar a un servidor local que ejecuta Apache, PHP7 y MySQL, de esta manera, los datos del sensor se almacenan en una tabla para su posterior análisis.

Debido al aislamiento social que requiere la nueva pandemia de coronavirus, SARS-CoV2. Para que todo el equipo pudiera seguir la ejecución durante la elaboración del experimento, se utilizó el Cayenne Device, una aplicación MQTT que posibilitó la observación remota de las variables medidas. El experimento se llevó a cabo tres (03) veces y los datos se analizaron con la ayuda de hojas de cálculo electrónicas.

Antes de cada recolección de datos experimentales, los dos sensores se colocaron uno al lado del otro, frente al

refrigerador, para obtener un valor de equilibrio entre los sensores, con monitoreo a través del Dispositivo Cayenne. Cuando se identificó que los dos sensores no variaban, pero su temperatura y presión más allá del lugar de las centésimas, se colocó el conjunto denominado Interno dentro del refrigerador.

La figura 3 muestra el montaje experimental ensamblado en esta investigación y que se compone de dos sensores ESP8266 y BMP180 montados en placas de prueba (Protoboard).

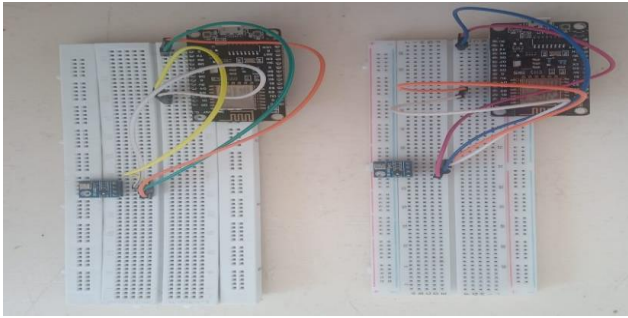


FIGURA 3. Aparato experimental compuesto por protoboard, módulo barométrico ESP8266 V3 y BMP180.

IV. RESULTADOS

Como resultado del experimento, es posible observar en la Figura 4, la evolución de la presión durante el proceso de recolección de datos mediante el cual, se observa que la presión promedio fue de 910.5 hPa en el tiempo total promedio de recolección de datos de 19,2 minutos 1150 s). La figura 4 muestra una caída de presión a 909 hPa.

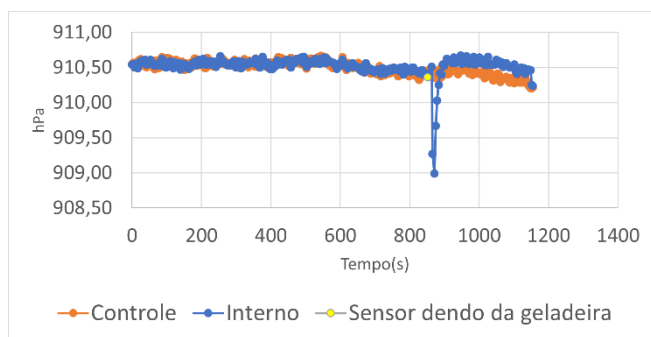


FIGURA 4. Evolución de la presión adentro y afuera del refrigerador durante la ejecución del experimento. Fuente: Autores (2021).

Aún en la Figura 4, podemos observar el tiempo total en la recolecta de datos. El conjunto Interno y Control se dejó en el exterior del refrigerador durante un período un poco más de 840 s. Luego, se colocó el conjunto Interior en el refrigerador y la puerta se cerró rápidamente. Es de destacar

que el penúltimo punto, mostrado en amarillo en la Figura 4, corresponde al momento de posicionar el sensor interno en el refrigerador. El fenómeno de interés, abrir y cerrar la puerta del refrigerador, se produce durante un intervalo de solo 2,73 minutos aproximadamente, y comprende el intervalo de 850 s a 1150 s desde la realización del experimento. En la Figura 5, mostramos los valores obtenidos con más detalles.

La Figura 5, se puede evidenciar que cuando cerramos la puerta del refrigerador, hay una disminución en la presión interna. Así, el valor que se puede ver en el gráfico de la Figura 5 representa un valor de aproximadamente 152 Pa. El intervalo de tiempo que tarda el sistema en volver a la situación de presión inicial es de unos 50 s.

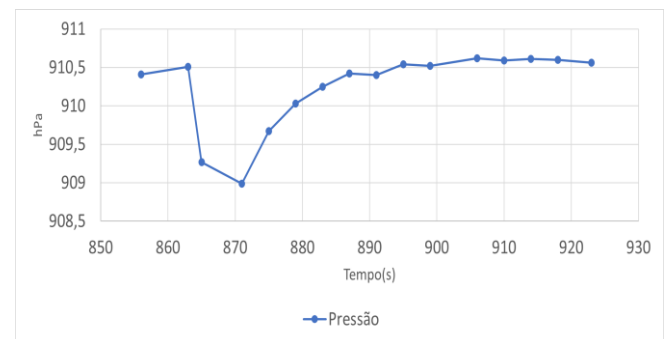


FIGURA 5. Énfasis en el período más relevante de presión durante el experimento. Fuente: Autores (2021).

Cuando la presión está en su valor más bajo, podemos obtener el valor de la fuerza máxima necesaria para abrir la puerta. La Figura 6, se muestra la variación de la Fuerza por tiempo.

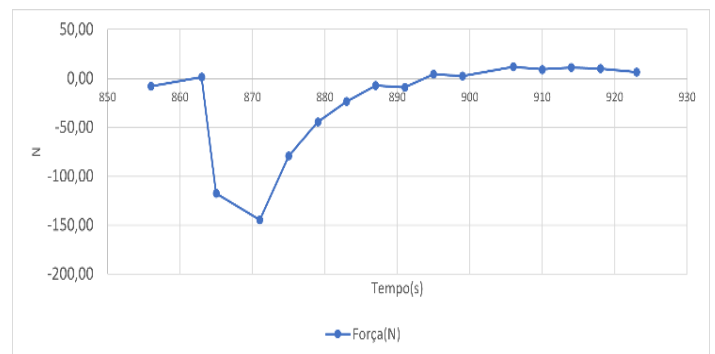


FIGURA 6. Variación de la Fuerza (N) en función del tiempo.

Es importante notar que, al observar la variación en la Fuerza, como se muestra en la Figura 6, podemos estimar una fuerza necesaria para intentar abrir la puerta del refrigerador durante el período en que el gas que está dentro del refrigerador se encuentra disminuyendo su volumen. Por tanto, considerando como ejemplo; una puerta de frigorífico con unas dimensiones de 0,6 x 1,6 m que da un área de 0,96 m², una persona necesitaría ejecutar una fuerza de 144,46 N, lo que da una masa de casi 3 paquetes de azúcar de 5 kg.

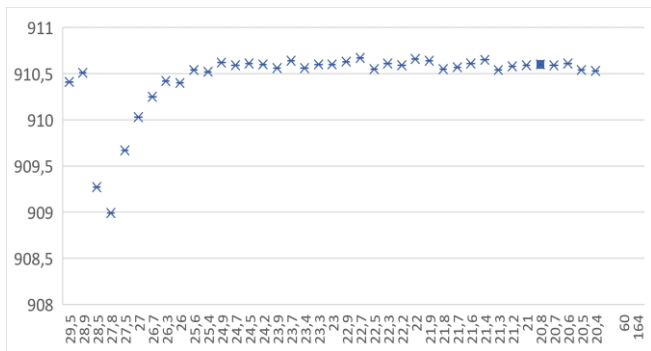


FIGURA 7. Relación entre presión y temperatura dentro del frigorífico Fuente: Autores (2021).

En la Figura 7, podemos ver cómo se comportó la relación entre temperatura y presión durante el período observado en el experimento. Desde el momento en que se colocó el sensor dentro del refrigerador hasta entonces, podemos ver cómo la temperatura y la presión volvieron al equilibrio.

V. CONCLUSIONES

Sobre la pregunta realizada en el ENEM, y la que dio origen a esta investigación que estuvo enfocado con relación a lo que pasa dentro del refrigerador, nos habíamos quedado con la misma preocupación: ¿Cuál sería el orden de magnitud de la fuerza necesaria en aplicar para que la puerta del refrigerador recién cerrada se vuelva a abrir? Conocíamos el comportamiento del gas dentro del refrigerador, pero ¿cuál sería la caída de presión dentro del él?

Con la finalización del experimento, fue posible estimar el valor de la presión ejercida sobre la puerta del refrigerador

durante el procedimiento de apertura, cierre y reapertura de la puerta, así como obtener un valor experimental aproximado de la fuerza necesaria para intentar superar esta disminución de presión interna.

Con la realización experimental, fue posible dar respuesta a la inquietud inicial. Muchos de nuestros estudiantes a veces les resulta difícil relacionar las fuerzas físicas experimentadas con nuestra vida diaria, y no se dan cuenta de lo maravilloso que es comprender estos fenómenos. Encontrar que una diferencia de presión de tan solo 140 Pa, sabiendo que 1 atm de presión a la que estamos sometidos básicamente todo el tiempo, es de 105 Pa, es suficiente para experimentar la dificultad de abrir la puerta de un frigorífico, así como la fuerza aplicada a el área del refrigerador.

VI. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a CAPES por su apoyo en la concesión de becas de Maestría y Doctorado.

REFERENCIAS

- [1] Zilli, S. R. *et al.*, *Robótica educativa en la escuela primaria: perspectivas y práctica* (2004).
- [2] Da Fonseca, E. G., Alexandre, S., *Tutorial sobre cómo comenzar con proyectos utilizando el kit de desarrollo Arduino* (2011).
- [3] Evans, M., Noble, J. y Hochenbaum, J., *Arduino en acción*, (Editorial Novatec. San Pablo, 2013).
- [4] Mcroberts, M., *Arduino básico*, (Editorial Novatec, São Paulo, 2015).
- [5] Tipler, P. A., Vuela, G., *Física para científicos e ingenieros, 6ª edición* (LTC., Río de Janeiro, 2012).