

Diseño y construcción de dispositivo de medición de consumo energético de bajo coste para instalaciones industriales: evaluación y caso de estudio para empresa transportadora de productos alimenticios en Bogotá.

Design and construction of a low-cost energy consumption measurement device for industrial facilities: evaluation and case study for a food products conveyor company in Bogota.

María Catalina Bohórquez¹
Frank Rivero Niebla²
Nicolás Castañeda Álvarez³
Luis Carlos Rincones Martínez⁴

Como citar:
BOHORQUEZ RAMIREZ, M. C., RIVERO NIEBLA, F., CASTANEDA ALVAREZ, N., & RINCONES MARTINEZ, L. C. (2023). Diseño y construcción de dispositivo de medición de consumo energético de bajo coste para instalaciones industriales: evaluación y caso de estudio para empresa transportadora de productos alimenticios en Bogotá. *Revista Sennova: Revista Del Sistema De Ciencia, Tecnología E Innovación*, 8(1), 55–63. <https://doi.org/10.23850/23899573.6104>

- 1 MSc en Innovación Tecnológica de Edificaciones, Filiación institucional: DENKEN S.A.S, catalina@denkensas.com.
- 2 Ingeniero Electricista, Auditor Energético, Filiación institucional: DENKEN S.A.S, Frank_rivero@denkensas.com
- 3 Ingeniero Mecatrónico, Filiación institucional: DENKEN S.A.S, nicolas.castaneda@denkensas.com
- 4 Bacteriólogo, Magister en ciencias Microbiología, : Centro Biotecnológico del Caribe, SENA, lrincones@sena.edu.co

Resumen

En el siguiente artículo se describe el diseño y construcción de un dispositivo electrónico de bajo coste que permita la monitorización de datos en tiempo real del consumo energético para instalaciones industriales, tomando como caso de estudio la empresa Transportes P & M S.A.S localizada en Bogotá, Colombia. El desarrollo del dispositivo de medición energética se dio como resultado del “Proyecto de eficiencia energética en instalaciones frigoríficas” propuesto por Sena Innova (SENNOVA), (SENNOVA), en conjunto con BIOTEC - Grupo de Investigación del Centro Biotecnológico del Caribe. El dispositivo desarrollado consta de una serie de sensores dispuestos dentro de los cuartos de refrigeración y también dentro de los tableros eléctricos que controlan los dichos espacios. Por medio de una serie de microcontroladores (ESP32) conectados a los sensores, los datos son centralizados a una computadora de una sola placa (Raspberry pi) para luego ser procesados y enviados a un servidor web. Todo el desarrollo a nivel de hardware se programó utilizando el lenguaje Python, junto con las librerías necesarias para la lectura de los sensores utilizados.

Palabras clave: Sensor, microcontrolador, placa de circuito impreso, servidor, aplicación web.

Abstract

The following article describes the design and construction of a low-cost electronic device that allows real-time monitoring of energy consumption data for industrial facilities, taking as a case study the company Transportes P & M S.A.S. located in Bogota, Colombia. The development of the energy measurement device was the result of the “Energy efficiency project in refrigeration facilities” proposed by Sena Innova (SENNOVA), (SENNOVA), in conjunction with BIOTEC - Research Group of the Biotechnology Center of the Caribbean. The device developed consists of a series of sensors arranged inside the refrigeration rooms and also within the electrical panels that control these spaces. Through a series of microcontrollers (ESP32) connected to the sensors, the data is centralized to a single board computer (Raspberry pi) and then processed and sent to a web server. All hardware development was programmed using the Python language, along with the necessary libraries for reading the sensors used.

Keywords: Sensor, microcontroller, printed circuit board, server, web application.

Introducción

En la industria colombiana existe la necesidad de hacer más eficiente el gasto energético en procesos industriales, con especial énfasis en la industria que mantiene la cadena de frío para la conservación de los alimentos. En el estado del arte de la industria en Colombia, se pueden encontrar varios dispositivos que realizan la función de monitorear los circuitos eléctricos de las instalaciones industriales. Se pueden encontrar la serie de medidores A9MEM3200 de Schneider Electric, utilizados principalmente como contadores de consumo energético, en la mayoría de los casos, e integrados a un sistema BMS (Building Management System) en situaciones donde se requiera una mayor automatización en edificaciones. Este tipo de medidores tienen la capacidad de medir tensión, voltaje, potencia activa, reactiva y aparente, pueden comunicarse mediante protocolo serial RS485, y Ethernet. (para las versiones de gama alta).

En cuanto a la monitorización de cuartos de refrigeración, se pueden encontrar en el mercado colombiano empresas como “Thermoscan IP” una aplicación de escritorio la cual realiza el monitoreo local en tiempo real de la temperatura en cuartos frigoríficos. En esta aplicación se puede el estado de la temperatura visualizar en un diagrama y cuando no está en el rango adecuado, este envía una alarma por e-mail o un Pop-Up sonoro visual (PROGES PLUS, 2013).

También se pueden encontrar trabajos de investigación tales como “Monitor Remoto de Temperatura y Humedad”, un proyecto de fin de carrera realizado por Javier Lluesma Juan para la Universidad Politécnica de Valencia en 2011, donde se implementó un sistema que, mediante un sensor, medía continuamente las variables de humedad y temperatura ambiente de un invernadero y por medio de un microcontrolador dotado de una antena, transmitía de forma inalámbrica la información a un computador donde eran visualizados los datos obtenidos (Riunet.upv.es, 2012).

El objetivo de este proyecto consiste en realizar una medición en tiempo real del consumo energético y al mismo tiempo del estado de las variables físicas de temperatura y humedad en los cuartos fríos, así como el estado de apertura y cierre de las puertas, con el objetivo de realizar una correlación entre el consumo (desperdicio eléctrico) de los refrigeradores en el transcurso del día laboral, haciendo un énfasis en los momentos en los que se produce la llegada y salida de los productos alimenticios de los cuartos de conservación.

Metodología y Diseño

Las variables físicas que se pretenden medir son las siguientes: Voltaje, Corriente, Potencia activa, Potencia reactiva Potencia aparente (Multi-Loop Energy Meter, ADW210 Series, 2023), Temperatura (Tutorial sensor digital de temperatura DS18B20, 2023), Humedad (Thomas Liu, (s.f)).Apertura y cierre de puerta y Sensor de movimiento.

Los sensores seleccionados para la medición de las variables antes mencionadas se listan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Sensores

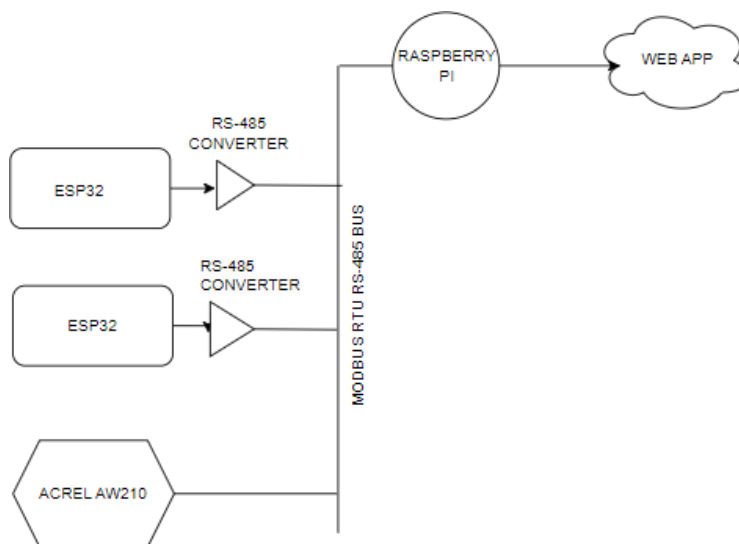
Temperatura	DHT22 [5], DS18B20 [4]
Voltaje, Corriente, Potencia	ACREL AW210 [3]
Humedad	DHT22
Puerta	SENSOR INFRARROJO Genérico
Movimiento	HIKVISION

Fuente: Elaboración propia

Para la etapa de captura y procesamiento de los datos. Se decide utilizar la placa de desarrollo ESP32 (Espressif., 2023) para leer los sensores de Temperatura, Humedad, Puerta y Movimiento.

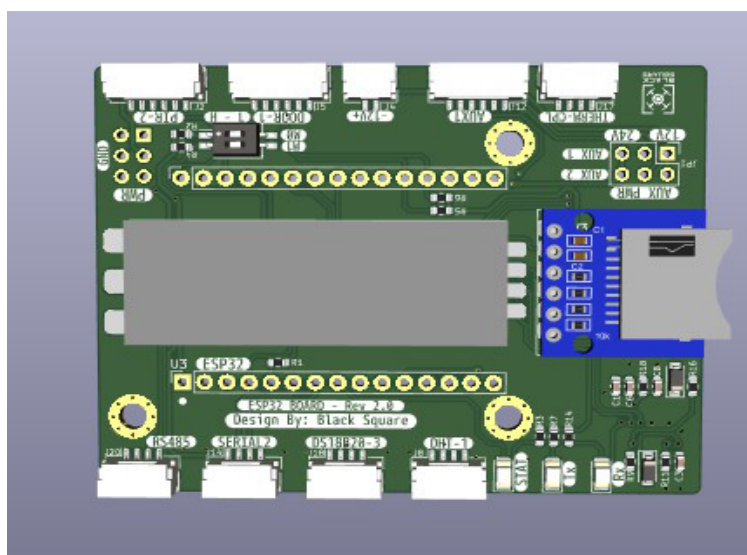
Se decide utilizar también una computadora de una sola placa Raspberry Pi modelo 4B (Raspberrypi, 2023) para la centralización y envío de datos al servidor web. El siguiente diagrama de bloques muestra la estructura del desarrollo del dispositivo:

Figura 1. Diagrama de bloques conceptual



Fuente: Elaboración propia

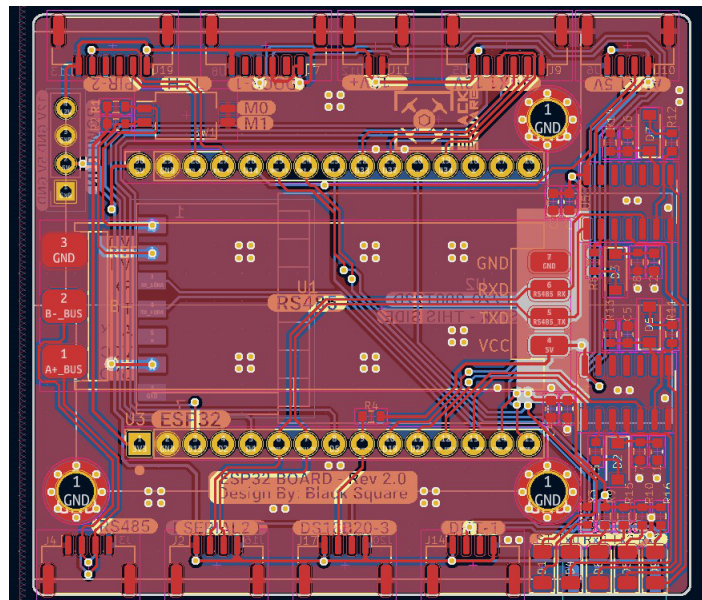
Figura 2. Diseño PCB ESP32



Fuente: Elaboración propia

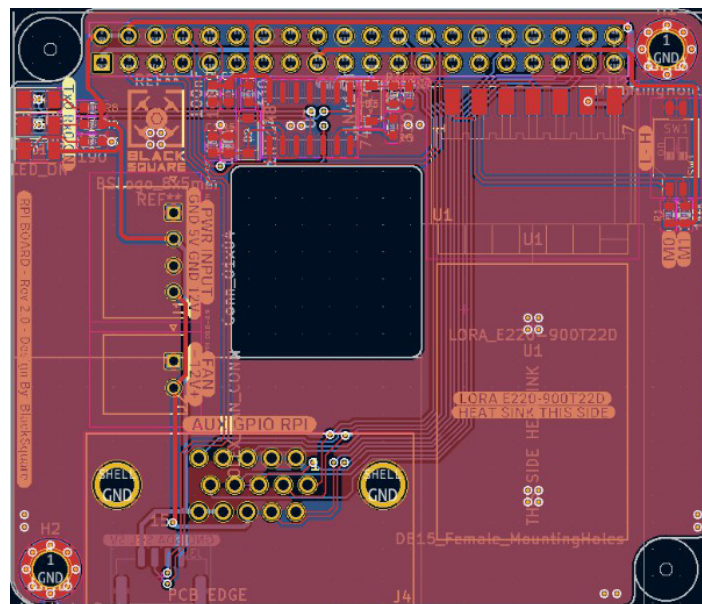
Para la tarjeta de desarrollo ESP32, se diseña una placa de circuito impreso (PCB) la cual lleva consigo los implementos necesarios para una conexión fácil y rápida de los sensores, además de llevar también embebido el conversor Serial a RS485 para la comunicación a través del protocolo Modbus (MODICON Inc, 1996). En la siguiente imagen se muestra el plano del diseño de la placa de circuito impreso para la tarjeta ESP32.

Figura 3. Diseño PCB ESP32



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Diseño PCB Raspberry pi



Fuente: Elaboración propia

Para la computadora Raspberry Pi, también se diseña una placa de circuito impreso (PCB) que cumple con la función de proveer fácil acceso a los puertos de conexión GPIO de la Raspberry Pi. El plano de la PCB se muestra en la siguiente imagen:

Acto seguido, se procede a diseñar las carcasas para proteger tanto al módulo ESP32 como al módulo Raspberry Pi. Las carcasas fueron diseñadas para ajustarse mediante

tornillos y ser fabricadas en impresión 3D. Las imágenes de las carcasas se muestran en las siguientes imágenes:

Figura 5. Case de la ESP32 con los conectores al descubierto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Case de la Raspberry Pi con los conectores al descubierto.

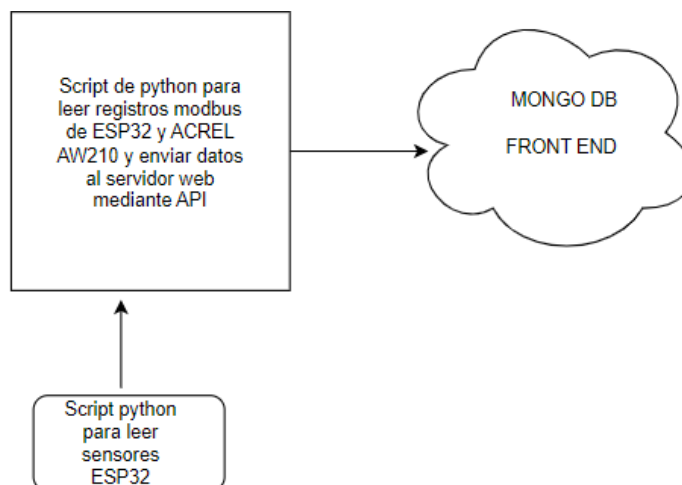


Fuente: Elaboración propia

Por el lado del soporte lógico, el lenguaje de programación utilizado a nivel de hardware fue Python, tanto para la Raspberry Pi como para la ESP32. El lenguaje provee de librerías que leen los sensores de manera sencilla y provee la documentación necesaria para poder implementarlo de una manera fácil.

La aplicación web fue programada utilizando la librería de React para el Front-end, y Mongo DB para el Back-end. El siguiente diagrama de bloques de la Imagen 6 muestra la arquitectura lógica de la aplicación web desde el punto de vista de hardware como del servidor web.

Figura 7. Diagrama de bloques del funcionamiento del dispositivo



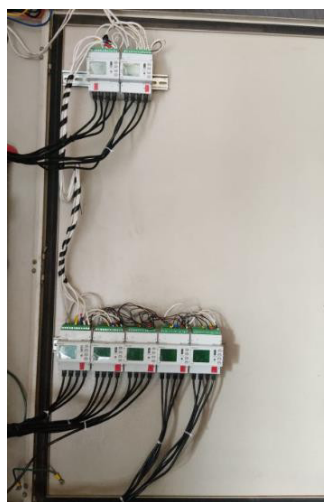
Fuente: Elaboración propia

Desde la aplicación Web, se tiene el control de elegir los tiempos de muestreo de los datos, se puede identificar por individual cada sensor instalado y acceder al comportamiento de la variable medida con su respectiva gráfica interactiva en tiempo real. Aparte se permite la generación de reportes automáticos de consumo energético por el periodo de tiempo que el usuario necesite. A continuación, se muestran los resultados de la medición de las variables propuestas y su interpretación.

Resultados y Discusión

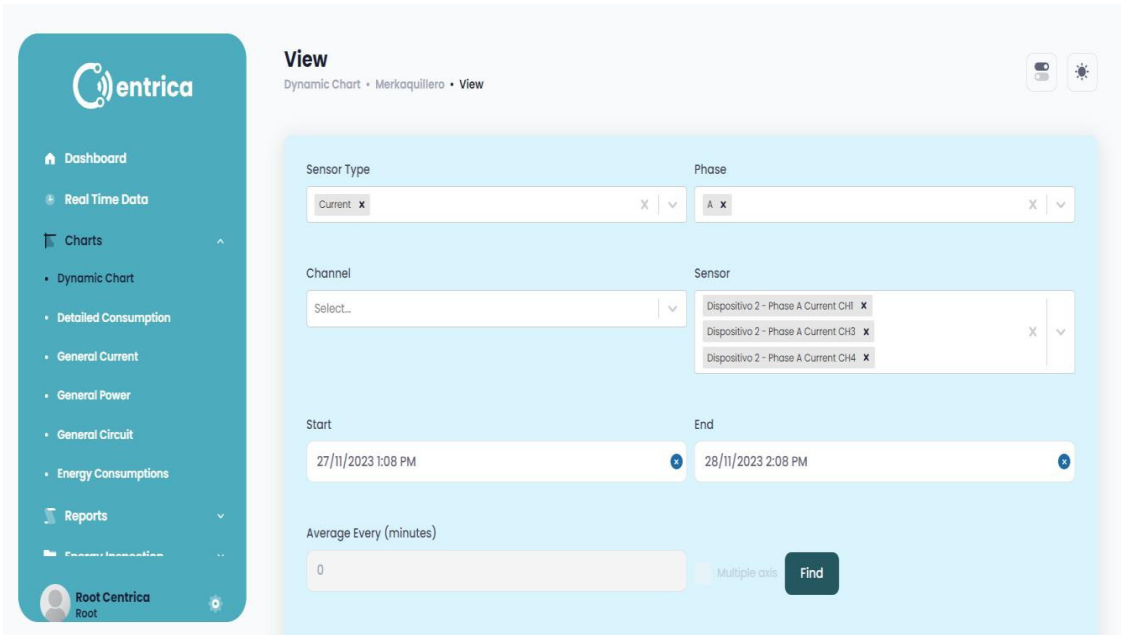
Los resultados del desarrollo del medidor se muestran en la siguiente imagen de la página web. Los datos tomados por los sensores y enviados al servidor se muestran de manera dinámica, permitiéndole al cliente elegir qué variables quiere ver y en qué ventana de tiempo quiere que le sean presentados los datos.

Figura 8. Dispositivos ACREL instalados en un tablero eléctrico.



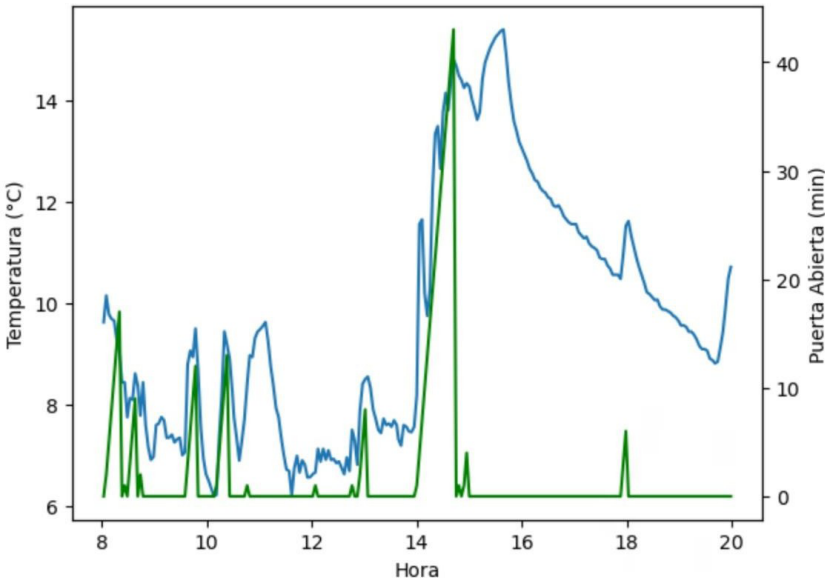
Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Dashboard de la aplicación web.



Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Datos graficados en tiempo real, tomados desde la aplicación web



Fuente: Elaboración propia

Para la discusión de los resultados, se toman como referencia los datos tomados el jueves 28 de noviembre de 2023. El criterio que se utilizó para seleccionar los datos se basó en que fuera un día hábil aleatorio en la empresa, y que fuera un día en que se presentaran eventos de almacenaje y descarga de alimentos en los cuartos de refrigeración.

En la Figura 10 se muestra para un cuarto de refrigeración, el comportamiento de las variables de temperatura en azul respecto del tiempo, y en verde se muestran los picos de

apertura de la puerta del cuarto de refrigeración respecto del tiempo. El eje de abscisas muestra la escala temporal medida en horas (en formato 24 horas).

En la imagen se evidencia el impacto que tiene la apertura de la puerta respecto a la temperatura del interior del cuarto de refrigeración. Lo primero que se evidencia es que, al momento de abrir la puerta del cuarto de refrigeración, se produce un intercambio de calor entre la temperatura ambiente y el cuarto frío, la temperatura del interior del cuarto tiende a nivelarse con la temperatura ambiente del exterior, sin importar qué tanto esfuerzo haga el circuito de refrigeración para mantener la temperatura del cuarto estable.

Lo segundo que se evidencia es que la gravedad en la afectación (subida) de la temperatura del cuarto frío es directamente proporcional al tiempo en que su puerta permanece abierta. Se muestra que alrededor de las 14:00 horas, la puerta se abre y permanece abierta hasta las 15:00 aproximadamente. Esto produce una subida de la temperatura del cuarto frío por encima de los 14 grados Celsius. Al sistema de refrigeración le toma unas 4 horas aproximadamente volver a estabilizar la temperatura dentro de la habitación, forzando al compresor del líquido refrigerante en trabajar continuamente produciendo un alto consumo energético.

Conclusiones

El estudio realizado muestra que el comportamiento de la temperatura dentro de las cámaras de refrigeración es muy sensible a los cambios de los estados de las puertas de acceso. Las compañías que trabajan con cuartos de refrigeración deben hacer un esfuerzo grande en la gestión de sus operaciones con el objetivo de minimizar el tiempo en que las puertas de acceso permanecen abiertas.

El dispositivo desarrollado les da a los administradores una herramienta para poder cuantificar el estado de temperatura dentro de los cuartos de refrigeración, esto es importante ya que la toma de decisiones está basada en la cantidad de información que se tiene disponible.

Referencias

- Espressif. (2023). ESP32. Recuperado de <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>
- MODICON Inc. (1996). Modbus protocol reference Guide. Recuperado de https://modbus.org/docs/PI_MBUS_300.pdf.
- Multi-Loop Energy Meter, ADW210 Series. (2023). Recuperado de <https://acrel-power.com/5-2-multi-loop-energy-meter-adw210-series.html>
- PROGES PLUS. (2013). "Thermoscan IP," PLUG AND TRACK. Recuperado de <https://www.proges.com/es/plug-and-track/sondas-de-temperaturas-entimepo-real/thermoscan-ip-control-de-la-temperatura.html>.
- Raspberrypi. (2023). Raspberry Pi 4. Recuperado de <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>.
- Riunet.upv.es. (2012). Monitor Remoto de Temperatura y Humedad. [Archivo PDF]. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10105/PFC%20-%20JAVIER%20LLUESMA%20JUAN%20-%20DISCA115.pdf>
- Thomas Liu. (s.f). Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302). [Archivo PDF]. Recuperado de <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- Tutorial sensor digital de temperatura DS18B20. (2023). Recuperado de https://naylampmechatronics.com/blog/46_tutorial-sensor-digital-de-temperatura-ds18b20.html