



Revista Científica I+D Aswan Science

Página Web de la Revista: <http://www.revistascience.enterprisesadeg.org.pe>

DOI: <https://doi.org/10.51392/rcidas.v1i1.4>

Diseño e implementación de termohigrómetro basado en tecnología de Internet de las cosas para el almacenamiento y transporte de alimentos

Design and implementation of thermohygrometer based on Internet of Things technology for food storage and transportation

Projeto e implementação de termohigrômetro baseado na tecnologia da Internet das Coisas para armazenamento e transporte de alimentos

Pedro Nicoyani Mamani Ordoñez^{1*}, Jenny Maribel Hanco Zaga²

¹Consultor en informática y automatización para el sector agroindustrial, Puno - Perú

²Analista área control de calidad - AliSur SAC, Puno - Perú

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto diseñar e implementar un termohigrómetro con la plataforma IOT aplicado a la cadena de suministros alimentaria en las etapas de almacenamiento y transporte. La conexión se realizó mediante bus I2C, el cual permite conectar varios dispositivos en paralelo en los mismos pines SCL y SDA del microcontrolador ESP8266, inicialmente se configuró el software Arduino IDE, para poder realizar la programación de dicho microcontrolador, seguidamente se obtuvo las direcciones en hexadecimal asignadas para el sensor SHT31 y el display OLED, la programación se realizó a partir de las especificaciones de los fabricantes, así como del código proporcionado por los desarrolladores de las librerías requeridas, así como también las direcciones en hexadecimal obtenidas previamente. Los datos obtenidos con el sensor de temperatura y humedad relativa SHT31 además de mostrarlos alternadamente en el display OLED, se enviaron al servidor especializado IOT (<https://belniksys.com/SensorsIOT>) a intervalos de 20 segundos, dichos datos pueden ser exportados en una hoja de cálculo compatible con Ms Excel®, a partir de los datos exportados se construyó las curvas temperatura y humedad relativa, con las cuales es posible determinar la conservación o ruptura de los límites establecidos para temperatura y humedad en las etapas de almacenamiento y transporte de alimentos.

Palabra Claves: Humedad relativa, Industria 4.0, IOT, Temperatura, Programación

* Autor para correspondencia
pedronicoyani@gmail.com

HISTORIA DEL ARTÍCULO:

Recibido: 09 noviembre 2020

Revisado: 08 diciembre 2020

Aceptado: 09 diciembre 2020

Publicación en línea: 22 diciembre 2020



La revista científica I+D aswan science de [Enterprise Sadeg](http://www.revistascience.enterprisesadeg.org.pe) publica artículos y se distribuyen bajo una [licencia de Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

ABSTRACT

The objective of this work is to design and implement a thermohygrometer with the IOT platform applied to the food supply chain in the storage and transport stages. The connection was made through the I2C bus, which allows several devices to be connected in parallel on the same SCL and SDA pins of the ESP8266 microcontroller, initially the Arduino IDE software was configured, to be able to carry out the programming of said microcontroller, then the addresses were obtained in Hexadecimal assigned for the SHT31 sensor and the OLED display, the programming was carried out from the manufacturers' specifications, as well as the code provided by the developers of the required libraries, as well as the addresses in hexadecimal obtained previously. The data obtained with the SHT31 temperature and relative humidity sensor, in addition to being shown alternately on the OLED display, were sent to the specialized IOT server (<https://belniksys.com/SensorsIOT>) at intervals of 20 seconds, said data can be exported in A spreadsheet compatible with Ms Excel®, from the exported data the temperature and relative humidity curves were constructed, with which it is possible to determine the conservation or breach of the limits established for temperature and humidity in the storage and transport stages food.

Keywords: Relative humidity, Industry 4.0, IOT, Temperature, Programming

Resumo

O objetivo deste trabalho é projetar e implementar um termohigrômetro com a plataforma IOT aplicada à cadeia de abastecimento alimentar nas etapas de armazenamento e transporte. A conexão foi feita através do barramento I2C, que permite que vários dispositivos sejam conectados em paralelo nos mesmos pinos SCL e SDA do microcontrolador ESP8266, inicialmente foi configurado o software Arduino IDE, para poder realizar a programação do referido microcontrolador, então os endereços foram obtidos em Hexadecimal atribuído ao sensor SHT31 e ao display OLED, a programação foi realizada a partir das especificações dos fabricantes, bem como do código fornecido pelos desenvolvedores das bibliotecas necessárias, bem como os endereços em hexadecimal obtidos anteriormente. Os dados obtidos com o sensor de temperatura e umidade relativa SHT31, além de serem exibidos alternadamente no display OLED, foram enviados ao servidor IOT especializado (<https://belniksys.com/SensorsIOT>) em intervalos de 20 segundos, podendo ser exportados em Uma planilha compatível com Ms Excel®, a partir dos dados exportados foram construídas as curvas de temperatura e umidade relativa, com a qual é possível determinar a conservação ou violação dos limites estabelecidos para temperatura e umidade nas etapas de armazenamento e transporte de alimentos.

Palavras-chave: umidade relativa, indústria 4.0, IOT, temperatura, programação

1. Introducción

El almacenamiento y transporte de alimentos requieren un monitoreo y control adecuado de la temperatura y humedad, con el objeto de garantizar y asegurar la calidad de los alimentos a lo largo de la cadena de suministros (FAO, 2002). Obtener información en tiempo real, acorde con las tecnologías en la Industria 4.0 y la Internet de las cosas (IOT) por sus siglas en ingles "Internet of things", con el aprovechamiento de plataformas especializadas (Ignacio *et al.*, 2019), se ha convertido en una necesidad fundamental para las empresas del rubro, puesto que proporciona una fuente de datos

valiosa (base de datos) a partir de la cual la toma de decisiones es mucho más eficiente en cuanto se refiere a las condiciones de almacenamiento y transporte de los productos alimenticios (Cerro De Paz, Galisteo Fernández, Martín Seijas, & Membrilla Cobo, 2016), proporcionando además de una fortaleza importante para la empresa en su entorno.

Por ello, el presente trabajo tiene por objeto diseñar e implementar un dispositivo IOT para el monitoreo de la temperatura y humedad relativa a lo largo de la cadena de suministros alimentaria en las etapas de

almacenamiento y transporte. Para tal fin se usó el sensor de temperatura y humedad SHT31, microcontrolador ESP8266 en placa de desarrollo NodeMCU® v1.0, display OLED®, pulsadores y demás materiales requeridos. Para el diseño del dispositivo se diferenciaron dos tipos de implementación: en almacenamiento y en transporte, puesto que para transporte se requieren adicionalmente dispositivos con conexión GSM-WiFi además de módulo de lectura y escritura de memoria MicroSD®, mientras que en almacenamiento se requiere únicamente conexión WiFi disponible. Los datos son enviados a servidores especializados, los cuales a partir de una suscripción activa permiten gestionar la información, para obtener reportes en tablas, gráficos, etc. en formatos digitales. Para el presente trabajo se usó el servidor especializado: <https://belniksys.com/Sensor> con una suscripción gratuita temporal.

2. Métodos y materiales

2.1. Materiales

El sensor digital de temperatura y humedad relativa SHT31 permite realizar mediciones muy precisas. Posee mejores prestaciones comparativas, como mejor resolución, mayor precisión y un empaque más compacto (Sensirion Co, 2016).

Display Organic Polymer Light Emitting Diode (OLED) 0.9", es un sistema de visualización gráfica de matriz de puntos de 128 x 32 (WaveShare Co, 2018).

El ESP8266 - NodeMCU v1.0 es un microcontrolador diseñado por Espressif Systems®, es una solución de red WiFi autónoma que permite ser usado como puente desde un microcontrolador existente a WiFi, así como también es capaz de ejecutar aplicaciones de una manera autónoma e independiente. El módulo NodeMCU que incorpora al ESP8266, incluye un conector USB integrado y una amplia variedad de pines, permitiendo su conexión con un cable micro USB a una computadora, al igual que Arduino, con la posibilidad de ser programable con el Arduino IDE® (Handson Technology Co, 2017).

2.2. Diseño del dispositivo

Se utilizó el software libre de diseño electrónico Fritzing 0.9.3 disponible en <https://fritzing.org/>, es necesario instalar adicionalmente los componentes NodeMCU disponible en <https://blog.squix.org/>, además de componentes SHT31 y Display OLED disponibles en <https://www.adafruit.com/product/2857> y <https://www.adafruit.com/product/931> respectivamente. El diagrama obtenido se muestra en la figura N° 01.

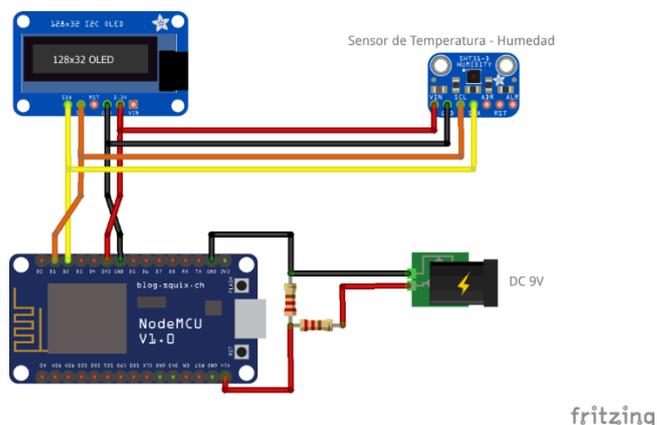


Figura N° 01:

Diagrama de conexión del dispositivo

Las conexiones respectivas entre la placa NodeMCU y los componentes básicos: Sensor de Temperatura - Humedad (SHT31), así como el Display OLED, se detallan en la figura N° 02.

NodeMCU		SHT31		OLED
D1	—	SCL	—	SCL
D2	—	SDA	—	SDA
3V	—	VIN	—	VCC
GND	—	GND	—	GND

Figura N° 02:

Conexiones básicas necesarias

2.3. Programación para el Termohigrómetro IOT Escaneo, determinación de direcciones SDA y SCL

La programación de la placa NodeMCU se realizó con el software Arduino IDE v1.8.0

configurado para compatibilidad con el microcontrolador ESP8266 siguiendo el procedimiento expuesto en <https://github.com/esp8266/Arduino>.

Con el microcontrolador ESP8266 centralizó los dispositivos con conexiones SDA y SCL (NXP Semiconductors Co, 2014), es decir permitió conectar varios dispositivos SDA-SCL en los mismos pines correspondientes del microcontrolador, asignándose una "dirección única" en hexadecimal para cada dispositivo identificado (Irazabal & Blozis, 2003). Para el caso del NodeMCU v1.0 los pines SCL y SDA corresponden a los pines digitales D1 y D2 respectivamente. Para la identificación o reconocimiento de la dirección asignada para el sensor SHT31 y el display OLED (Arduino Playground, 2018).

Con las direcciones determinadas para el sensor SHT31 y display OLED, se realizó la programación para la placa NodeMCU v1.0, las librerías requeridas por el programa, las dos primeras para el microcontrolador ESP8266, que vienen incluidas con la configuración inicial. Las dos siguientes (SPI.h y Wire.h) corresponde al bus I2C, la siguiente librería (Adafruit_SHT31.h) corresponde al sensor SHT31 y para el display OLED la última librería (U8g2lib.h), estas dos últimas están disponibles en: https://github.com/adafruit/Adafruit_SHT31 (SHT31) y <https://github.com/olikraus/u8g2> (OLED).

2.4. Inicialización de dispositivos I2C

Bloque Setup: En la primera línea se inicializo el sensor SHT31 en la dirección determinada previamente y de igual manera para el display OLED con la conexión WiFi especificada dentro del bloque Setup, estableciendo los parámetros correspondientes.

Bloque Loop: En este bloque se llevó a cabo la lectura de los valores de temperatura y humedad relativa obtenidos con el sensor SHT31, estos valores se muestran con el display OLED de manera alternada con espacio de un segundo.

Bloque SendPost: En este bloque se ejecutó en cada intervalo de tiempo especificado (Ej. 5 segundos), enviando los valores de temperatura y humedad con el método POST al Servidor elegido, con una estructura de datos establecida por el proveedor de dicho servicio:

clave_plataforma&temperatura&humedad.

3. Resultados y discusiones

3.1. Implementación del termohigrómetro

El termohigrómetro implementado se detalla en la figura N° 03 y cumple con los principios fundamentales de la plataforma IOT primero la agilidad se conserva la fiabilidad de los datos de los sensores, además de garantizar el diagnostico remoto (Amazon WS, 2016), segundo la escalabilidad con la instalación de termohigrómetros se logra abarcar el ámbito global en distintas ubicaciones físicas, además de garantizar un almacenamiento de datos duradero, tercero costos la plataforma utilizada proporciona un tiempo de uso gratuito, no obstante, el volumen de datos debe ser menor a 5 MB, pasado el tiempo de uso gratuito, solo se paga por el servicio utilizado tanto para envío de datos como para la generación de informes, cuarto seguridad es necesario la conservación de la confidencialidad de los datos, el envío de datos se realiza mediante el método POST, con conexión cifrada punto a punto proporcionada por la plataforma (BelNik Systems, 2020), el acceso a los datos e informes se realiza mediante el acceso por token's generados con una vigencia establecida

3.2. Control de temperatura y humedad relativa en almacenamiento

Los datos obtenidos en formato compatible con Ms Excel® para implementación en almacenamiento se muestran en la tabla N° 01 el cual incluye una fracción de tiempo representativa. Con los mismos datos de la tabla N° 01 se realizó la prueba de normalidad el cual se muestra en la figura N° 04.

Tabla N° 01:

Datos de temperatura (T) en grados Celsius y humedad relativa (HR), para implementación en almacenamiento

Tiempo	T (°C)	HR (%)
12:00:00	19	30
12:00:20	19.34	29.9
12:00:40	19.56	30.1
12:01:00	19.43	30.25
12:01:20	19.71	30.3
12:01:40	19.5	29.99
12:02:00	19.6	29.7
12:02:20	19.75	29.89
12:02:40	19.8	30.01
12:03:00	19.9	30.1
12:03:20	20.01	30.4
12:03:40	19.95	30.2
12:04:00	19.4	30.13
12:04:20	19.5	30.55
12:04:40	19.6	30.6
12:05:00	19.67	30.45
12:05:20	19.76	30.33
12:05:40	19.5	30.2
12:06:00	19.45	30
12:06:20	19.67	29.89
12:06:40	19.78	29.7
12:07:00	19.8	29.9
12:07:20	19.8	30.5
12:07:40	19.4	30.66
12:08:00	19.3	30.67
12:08:20	19.45	30.78
12:08:40	19.55	30.89
12:09:00	19.78	30.9
12:09:20	19.8	30.55

Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 03:

Termostato implementado, detalle de conexión con placa NodeMCU v1.0 (izquierda), lectura de temperatura en grados Celsius (centro) y lectura de humedad relativa (derecha)

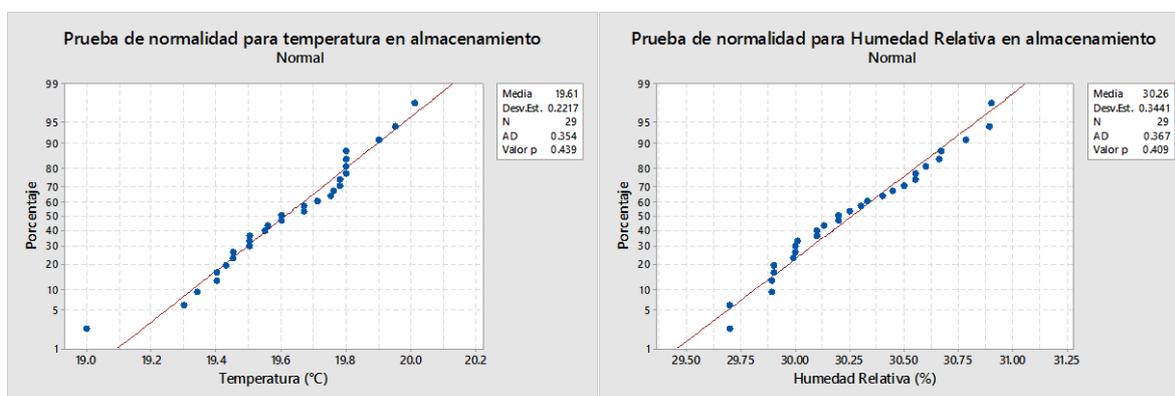


Figura N° 04:

Gráfico de prueba de normalidad para temperatura (izquierda) y humedad relativa (derecha) en almacenamiento

En la prueba de normalidad para la temperatura de almacenamiento se obtuvo un valor $p > \alpha$ por lo cual no se tiene suficiente evidencia para concluir que los datos no siguen una distribución normal y en la prueba de normalidad para la humedad relativa de almacenamiento se obtuvo un valor $p > \alpha$ por lo cual no se tiene suficiente evidencia para concluir que los datos no siguen una distribución normal.

Con los datos de la tabla N° 01 se construyó la gráfica mostrada en la figura N° 05 y se observa que los datos se encuentran dentro de los límites de control no presenta variaciones bruscas, tanto en los valores de temperatura como en los valores de humedad relativa (Cerro De Paz *et al.*, 2016). Las observaciones fuera de los límites de

control se deben a que en almacenamiento los cambios en temperatura y humedad no son significativos en intervalos de tiempo pequeños, puesto que los parámetros establecidos se mantienen casi fijos debido a la ausencia de perturbaciones que puedan provocar variaciones abruptas en la temperatura y humedad (Sarrocá González & Torres Gemil, 2006). No obstante, es necesario la instalación de termohigrómetros en almacenamiento con el fin de asegurar la inexistencia de dichas perturbaciones a la vez de garantizar un adecuado almacenamiento de los alimentos.

3.3. Control de temperatura y humedad relativa en transporte

Con los mismos datos en la tabla 03 se realizó la prueba de normalidad el cual se muestra en la figura N° 06.

Los datos obtenidos para implementación en transporte se muestran en la Tabla N° 02.

Tabla N° 02:

Datos de temperatura (T) en grados Celsius y humedad relativa (HR), para implementación en transporte

Tiempo	T (°C)	HR (%)
12:50:00	21.01	31.14
12:50:20	20.32	31.2
12:50:40	20.45	31.56
12:51:00	20.5	31.02
12:51:20	20.78	30.9
12:51:40	20.9	30.8
12:52:00	21.78	30.34
12:52:20	22.4	30.88
12:52:40	23.5	31.1
12:53:00	24.5	30.9
12:53:20	24.4	30.4
12:53:40	23.2	30.3
12:54:00	22.89	30.45
12:54:20	22.5	30.33
12:54:40	22	30.24
12:55:00	22.45	30.35
12:55:20	22.02	30.33
12:55:40	21.91	30.4
12:56:00	21.8	30.9
12:56:20	21.55	31.02
12:56:40	21.23	31.5
12:57:00	21.1	31.1
12:57:20	21	30.89
12:57:40	20.99	30.7
12:58:00	20.89	30.5
12:58:20	21	30.65
12:58:40	20.8	30.55
12:59:00	20.75	30.45
12:59:20	21	30.67

Fuente: Elaboración propia

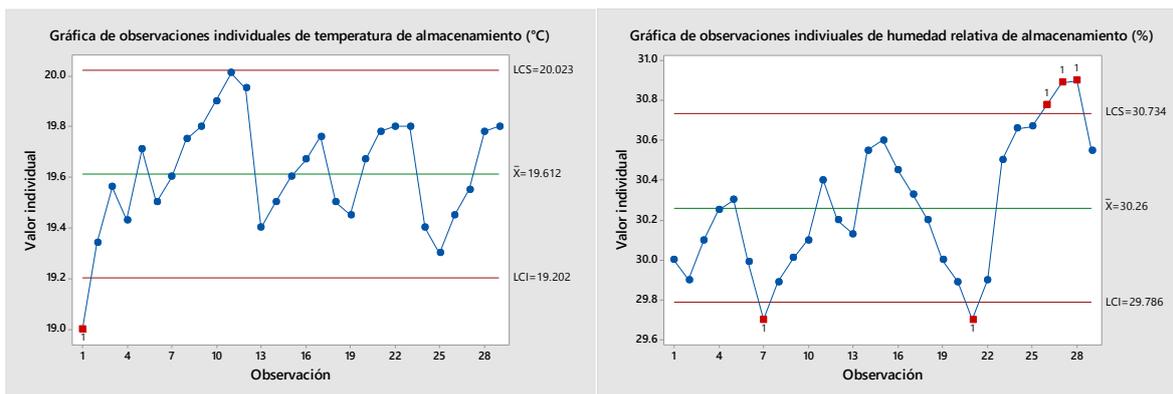


Figura N° 05: Gráfica de observaciones de individuales de temperatura (izquierdo) y Humedad relativa (derecha) obtenido de implementación en almacenamiento

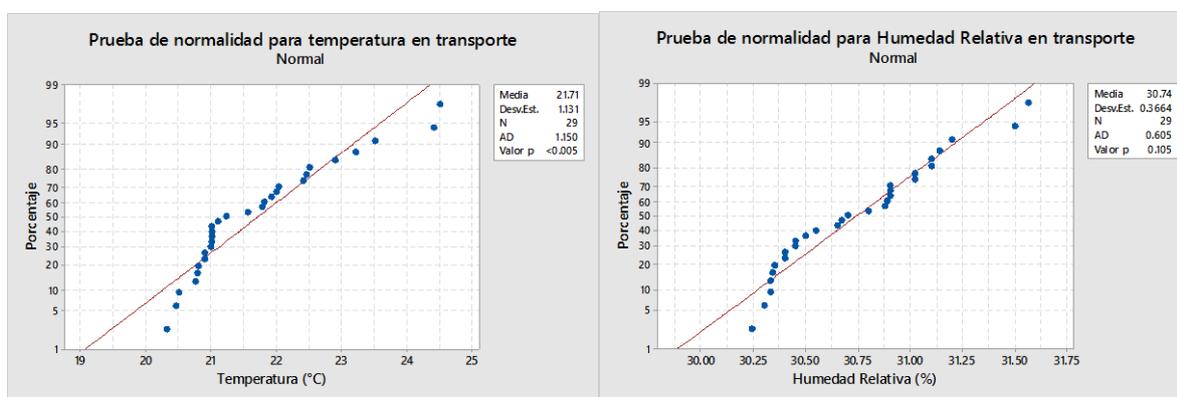


Figura N° 06: Gráfico de prueba de normalidad para temperatura (izquierda) y humedad relativa (derecha) en almacenamiento

En la prueba de normalidad para la temperatura de transporte se obtuvo un valor $p \leq \alpha$ por lo cual los datos no siguen una distribución normal, en la prueba de normalidad para la humedad relativa de transporte se obtuvo un valor $p > \alpha$ por lo cual no se tiene suficiente evidencia para

concluir que los datos no siguen una distribución normal.

Del mismo modo de lo realizado en la implementación en almacenamiento se construyó la gráfica mostrada en la figura N° 07 para la implementación en transporte.

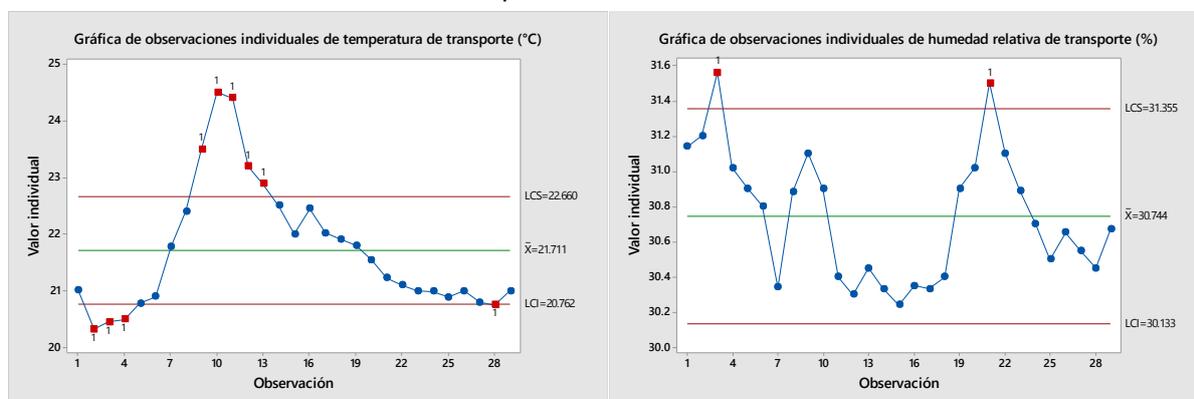


Figura 07: Gráfica de observaciones individuales de temperatura (derecha) y humedad relativa (izquierda) obtenido de implementación en transporte.

En la figura N° 07 se observa valores de temperatura fuera del límite de control, este tipo de variaciones son habituales en el transporte de alimentos, ocasionados principalmente por las condiciones ambientales externas (Díaz Bustamante & Aguilar Poémape, 2016).

4. Conclusiones

En cumplimiento del objetivo principal se consiguió implementar el termohigrómetro basado en la tecnología IOT, para la cadena de suministros de alimentos en las etapas de almacenamiento y transporte, asegurando el menor costo posible sin que la funcionalidad esperada no se vea afectada por ningún motivo.

En relación a la tecnología utilizada, se propone continuar con investigaciones y valoraciones, puesto que se han obtenido resultados aceptables con costo accesible para las empresas de la región.

Concluido el presente trabajo es posible afirmar que se han cumplido con las expectativas propuestas al inicio, con la recomendación de la continua mejora del dispositivo implementado y el aprovechamiento de tecnologías contemporáneas.

5. Bibliografía

- Amazon WS. (2016). Principios básicos de IoT.
- Arduino Playground. (2018). i2c Scanner. Retrieved October 15, 2020, from <https://playground.arduino.cc/Main/I2cScanner/>
- BelNik Systems. (2020). IOT. Retrieved from <https://belniksys.com/SensorIOT>
- Cerro De Paz, I., Galisteo Fernández, V., Martín Seijas, A., & Membrilla Cobo, C. (2016). FREEZE SENSE: Sensor IoT para monitorizar la cadena de frío en el transporte y almacenamiento de alimentos Codirector. Retrieved from https://eprints.ucm.es/39875/1/MEMORIA_FINAL_Freeze_Sense.pdf
- Díaz Bustamante, A. R., & Aguilar Poémape, J. R. (2016). Efecto De La Gestión Logística En La Rentabilidad De La Empresa Productora Y Comercializadora De Alimentos Ninalac Sac. Del Distrito De Tongod – Cajamarca En El Periodo Enero-Junio 2015.
- FAO. (2002). Sistemas de Calidad e Inocuidad de los Alimentos. In Manual de capacitación sobre higiene de los alimentos y sobre el sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (APPCC). Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/005/w8088s/w8088s00.htm>
- Handson Technology Co, L. (2017). NodeMCU User Manual V1.2. Hanson Technology, 1–22. Retrieved from http://www.handsontec.com/pdf_learn/esp8266-V10.pdf
- Ignacio, J., Luna, V., Javier, F., Rangel, S., Francisco, J., & Aceves, C. (2019). Aplicaciones de monitorización remota de variables con IoT Resumen. 41(134), 732–750.
- Irazabal, J. M., & Blozis, S. (2003). Integrated circuits. Electronic Products (Garden City, New York), 45(12), 81.
- NXP Semiconductors Co, L. (2014). UM10204 I2C-bus specification and user manual.
- Sarroca Gonzalez, R., & Torres Gemil, M. (2006). Manipulación y Almacenamiento de Alimentos.
- Sensirion Co, L. (2016). Datasheet SHT3x-DIS Humidity and Temperature Sensor. (August), 1–20. Retrieved from www.sensirion.com
- WaveShare Co, L. (2018). 0 . 91inch OLED Module User Manual.