

MEDICIÓN DE NIVEL UTILIZANDO UN SENSOR INTELIGENTE E INTERNET DE LAS COSAS

Medina-Rodríguez Vicente, Rivera-Mejía José y Quiñonez-Moreno Rocío E.

Instituto Tecnológico de Chihuahua del TecNM

División de Estudios de Posgrado e Investigación

Ave. Tecnológico No. 2909 Chihuahua Chih. C.P. 31140

614-201-2000 ext. 2112 y 2114

E-mail: m21060377@chihuahua.tecnm.mx, jose.rm@chihuahua.tecnm.mx, rocio.qm@chihuahua.tecnm.mx

RESUMEN.

En el presente trabajo se presenta el desarrollo de un sistema de medición para medir el nivel de líquidos utilizando un sensor inteligente e internet de las cosas. Para el diseño de la medición de nivel se utilizó una arquitectura de alto nivel para internet de las cosas que consta de tres capas. La medición de nivel se basa en un sensor inteligente que utiliza un sensor de presión hidrostática de bajo costo. El sensor inteligente cuenta con tres funciones: procesamiento, compensación y comunicación WiFi. La información del nivel se guarda en una computadora y se envía a la nube desde donde se puede consultar la información por medio de dispositivos móviles.

La prueba del sistema de medición se realizó utilizando un contenedor de aproximadamente 200 l con agua. Demostrando que el sensor es lineal, tiene muy buena repetibilidad y que su medición es independiente de la forma del contenedor.

Palabras Clave: Sensores inteligentes, internet de las cosas, sensor de nivel, presión hidrostática.

ABSTRACT.

In this work, the development of a measurement system to measure the level of liquids using an intelligent sensor and the internet of things is presented. The level measurement design used a high-level architecture for the internet of things that consists of three layers. The level measurement is based on an Intelligent Sensor that uses a low-cost hydrostatic pressure sensor and has three functions: processing, compensation and WiFi communication. The level information is saved on a computer and sent to the cloud from where the information can be consulted through mobile devices.

Testing of the measurement system was carried out using a container of 200 l with water. Demonstrating that the sensor is linear, has very good repeatability and that its measurement is independent of the shape of the container.

Keywords: Intelligent sensor, internet of things, level sensor, hydrostatic pressure.

1. INTRODUCCIÓN

La medición y control de nivel de líquidos en tanques es una función muy importante en procesos industriales [1]. De tal manera que en la literatura disponible podemos encontrar diferentes trabajos enfocados a la medición de nivel de líquidos por diferentes principios de medición como el sensor de presión hidrostática basado en micro cavidades incrustadas en fibras ópticas [2] y el diseño de sensores para medir nivel, como el diseño de un sensor de nivel utilizando una fibra óptica basado en la rejilla de Bragg. El sensor muestra una respuesta altamente lineal en el rango de detección y una buena repetibilidad [3].

El disminuir errores en la medición de nivel es otro tópico importante de investigación como el trabajo para corregir el principal error de medición con sensores hidrostáticos por cambios en la temperatura [4]. Y un modelo matemático, que describe el movimiento de un fluido viscoso e incompresible ubicado en un nivel de punto con paredes absolutamente rígidas. Todo con el propósito de disminuir los errores por el método de medición [5].

En el desarrollo de sistemas de medición es importante el tomar en cuenta las características como los precios de los sensores, sus errores de medición y confiabilidad entre otras. Como se muestra en este artículo En este la comparación de los resultados obtenidos con un sensor de nivel capacitivo y un sensor de nivel ultrasónico. Mostrando resultados similares y enfatizando que el sensor ultrasónico más caro [6].

Actualmente el desarrollo de las comunicaciones ha logrado que podamos tener todo interconectado dando origen a los conceptos de internet de las cosas (IoT). El desarrollo de IoT conduce a la idea de la comunicación de máquina a máquina, lo que significa que dos máquinas pueden comunicarse entre sí y también todos los datos que antes estaban en un servidor privado ahora están disponibles en internet para que el usuario pueda acceder a ellos de forma remota. Hoy en día IoT y sus aplicaciones como en la agricultura de precisión es básicamente un concepto que insiste en proporcionar la cantidad adecuada de recursos en el tiempo exacto y durante el tiempo exacto. Estos recursos pueden ser cualquier cosa, como agua, luz, pesticidas, etc. Y el desarrollo de aplicaciones para interactuar desde cualquier

parte del mundo [7]. Todo esto ha traído muchas propuestas por diferentes autores de arquitecturas para lograr una buena eficiencia en el desempeño de estos sistemas. Por ejemplo, en este trabajo se presenta una visión centrada en la nube para la implementación mundial de internet de las Cosas. Las tecnologías habilitadoras clave y los dominios de aplicaciones que probablemente impulsarán la investigación de IoT en el mundo [8]. En este artículo se presenta una arquitectura integrada de internet de las cosas para redes de medidores inteligentes de servicios públicos como consumo de energía, agua y gas para implementarse en ciudades inteligentes. Las mediciones reales muestran los beneficios de la arquitectura IoT propuesta tanto para los clientes como para las empresas de servicios públicos [9].

El agua es siempre una parte crucial de la vida cotidiana. Debido a la situación ambiental global, la gestión y conservación del agua es vital para la supervivencia humana. En este artículo, se propone un sistema de monitoreo de agua basado en IoT que mide el nivel del agua en tiempo real, la señal se envía a una red social como X (antes Twitter). Además, se configuró un servidor en la nube como repositorio de datos y la medición de los niveles de agua se muestra en el tablero remoto [10].

En el presente trabajo se muestra la medición de nivel de agua en tanques o contenedores abiertos utilizando sensores inteligentes (SI) e IoT. Mostrando la aplicación de las nuevas tecnologías en el cuidado de este vital líquido al menor costo posible y con el mejor desempeño.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Sensores para medir nivel en líquidos.

Para la medición de nivel de líquidos tomando en cuenta las características del líquido se pueden utilizar principios de medición como: Desplazamiento, presión, peso, eléctricos, ultrasónicos, térmicos entre otros [11].

Para el desarrollo de este proyecto se utilizará un sensor de nivel para líquidos de tipo presión. Específicamente presión hidrostática en la cual una columna vertical de fluido genera una presión en el fondo de la columna debido a la acción de la gravedad sobre ese fluido y esta es independiente de la geometría de la columna o contenedor. Matemáticamente, de la Figura 1, la presión hidrostática P_{Hyd} o también llamada en este contexto presión de gravedad, para tanques abiertos, se define como la fuerza F por área A [12]:

$$P_{Hyd} = \frac{F}{A} \quad (1)$$

La masa m del líquido en la columna o contenedor, depende del volumen $=A.h$ y la densidad del líquido ρ .

$$m = Ah\rho \quad (2)$$

La fuerza F debido a la gravedad g es:

$$F = mg \quad (3)$$

Sustituyendo (2) y (3) en (1)

$$P_{Hyd} = \rho gh \quad (4)$$

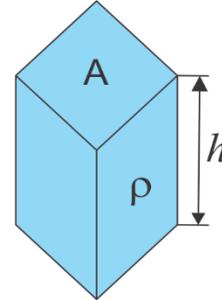


Figura 1. Columna o contenedor de líquido.

Algo muy importante a observar de (4) es que la presión hidrostática es la misma independiente de la forma del contenedor. Si la medición de nivel se desea hacer en tanques cerrados es necesario considerar el uso de otro medidor de presión entre la distancia del líquido y la altura de la tapa del contenedor [12].

2.2. Sensor inteligente.

La arquitectura del sensor inteligente a diseñar se muestra en la Figura 2. Las funciones que deberá de tener son la de procesamiento de datos, compensación y comunicación.

[1]. El procesamiento de datos deberá convertir la señal analógica del sensor, convertir la señal a unidades de volumen y transmitirla a algoritmo de compensación [13]. La comunicación seleccionada es WiFi.

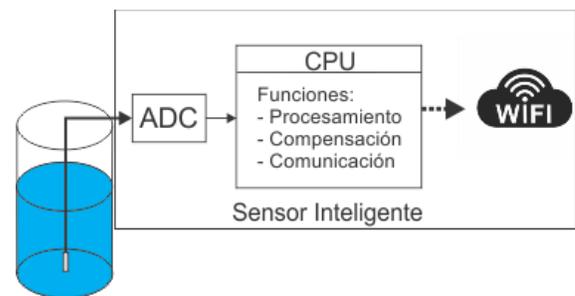


Figura 2. Arquitectura del Sensor Inteligente.

2.3. Arquitectura de alto nivel para IoT.

El avance en los términos de la disponibilidad de recursos de cómputo, paquetes de software, redes de comunicación y la continua reducción de tamaño físico del hardware ha hecho posible la integración de la tecnología de información y su comunicación, virtualmente de cualquier cosa, contribuyendo al surgimiento de un nuevo paradigma en informática conocido como internet de las cosas (IoT). En la literatura existen muchas propuestas de arquitecturas para IoT. Una propuesta de una visión de alto nivel muestra que la arquitectura de IoT es como una pila de tres capas, como se muestra en la Tabla 1 [14]:

Tabla 1.- Arquitectura de alto nivel para IoT.

Capas	Características o Elementos
Capa I. Cosas o Capa del Dispositivo	<ul style="list-style-type: none"> Componentes IoT. Procesadores, sensores, actuadores embebidos y puertos de conectividad / antenas. Software embebido para interactuar con la capa física
Capa II. Capa de conectividad	<ul style="list-style-type: none"> Comunicación de RED. Protocolos que permiten la comunicación entre cosa/dispositivo y/o la nube.
Capa III. Capa de aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> Cosa / Manejo y comunicación con el dispositivo Plataformas de aplicaciones Procesos de administración Análisis y manejo de datos Aplicaciones IoT.

Podemos observar que aplicando estos conceptos de la visión de alto nivel de la arquitectura de IoT facilita el desarrollo de proyectos. Los SI cumplen muy bien con los requisitos de la Capa I. Para la Capa II de conectividad depende de la aplicación, entre las más comunes esta Bluetooth, GSM, LoRa, RFID, DASH7, Wi-Fi, Z-Wave y Zigbee [14].

3. SENSOR IoT PARA MEDIR NIVEL DE AGUA.

Para el desarrollo del sensor IoT para medir nivel de agua se tomó como base la visión de alto nivel de la arquitectura para IoT [14].

Para la **Capa I, Capa de Dispositivos**. Se diseñó un sensor inteligente como el que se muestra en la Figura 2. Utiliza un sensor de nivel de presión hidrostática de la marca: Jectse, modelo: Jectse0gb5ker9mh-15, con las siguientes características: Acero inoxidable, rango de 5m, precisión de 0.5% a plena escala, señal de salida de 4mA a 20 mA, voltaje de alimentación de 12 a 32 Vdc, compensación de temperatura de -10oC a 70oC y nivel de protección IP68.

Para el CPU del SI se eligió un kit de desarrollo con el ESP-32. El ESP-32-S2 es una herramienta poderosa para desarrollar proyectos relacionados con internet de las cosas, *internet of things* (IoT). Sus principales características son [15]:

- CPU y Memoria. Es un microprocesador Xtesa® LX6 de 32-bits con un reloj de 240 Mhz y 600 Millones de Instrucciones por Segundo (MIPS). Cuenta con memoria de 448 KB de ROM, 520 KB de RAM y 16 KB de RTC.
- Periféricos. GPIOs, ADC, DAC, SPI, I2C, I2S, UART, CAN, IR, PWM, Sensor de contacto y sensor de efecto hall.
- Conectividad. Wi-Fi 802.11n (2.4 GHZ) arriba de 150 Mgps.
- Consumo de energía. Ultra bajo consumo de energía, Ultra-Low-Power (ULP). 100 en modo de suspensión (sleep mode).

Utilizando plataforma de desarrollo de ECLIPSE se desarrolló un programa en lenguaje C/C++ los algoritmos de procesamiento, compensación y comunicación de datos.

El algoritmo de procesamiento consiste en convertir la señal analógica a digital y convertir el valor de voltaje a unidades de volumen.

El algoritmo de compensación utilizado es el polinomial progresivo utilizando solo dos puntos de referencia, uno para corregir el error de offset y el otro el error de ganancia [13]. Esto facilitará a futuro su calibración.

Para la función de comunicación se desarrolló un algoritmo para conectar el ESP-32 a wifi y comunique el valor de la medición de nivel a demanda de una computadora personal.

Para la capa II, Conectividad. Aprovechando los recursos disponibles de comunicación del ESP-32 el SI se conecta a WiFi y este a su vez por una *router* a una red local con servicio de internet. Utilizando una computadora personal se desarrolló un programa utilizando LabWindows/CVI que se comunica con SI via WiFi obtiene el valor de nivel, genera un archivo local con la fecha, hora y valor del nivel. También se programó la rutina para subir esta información a la nube. Para guardar la información en la nube hemos utilizado dos lugares de alojamiento, los servicios de Microsoft Azure generando una base de datos SQL y FireBase de Google. FireBase permite el almacenamiento de información en la nube sin costo para aplicaciones como la aquí planteada.

Para la **Capa III Aplicaciones**. Al tener la información en la nube ya es sencillo el desarrollo de aplicaciones bajo demanda y poder utilizar cualquier dispositivo móvil o fijo para obtener la información del valor del nivel desde cualquier parte del mundo.

En la Figura 3, se muestra la arquitectura del sensor IoT para medir nivel.

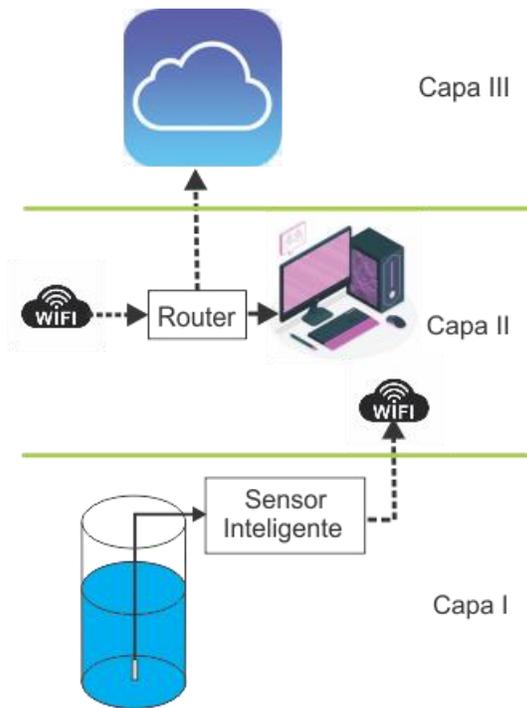


Figura 3. Arquitectura IoT para medición de nivel

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

La primera prueba del sensor de nivel fue sobre un contenedor de 0.55m de diámetro por 0.85m de alto, un volumen de aproximadamente 201.94 lt de líquido. Este caso se utilizó agua. El sensor se alimentó con 12 Vdc y utilizando amperímetro de la marca Fluke se procedió a registrar el valor de la corriente generada para diferentes valores del nivel de agua, desde 0.08m hasta 0.8m, medidos con un flexómetro comercial. Como se explicó anteriormente el sensor seleccionado genera una salida de 4 mA a 20 mA. Los resultados de esta prueba se muestran en la Tabla 2, en la primera columna se muestra el nivel del agua en metros, en la segunda columna se muestra el volumen del agua en litros y en la tercera columna se muestra la salida del sensor hidrostático en mA.

Tabla 2.- Prueba del sensor hidrostático a diferentes niveles de agua.

Nivel de Agua (m)	Volumen Agua (l)	Salida del sensor (mA)
0.08	19.01	4.293
0.20	47.52	4.625
0.30	71.28	4.971
0.40	95.03	5.313
0.50	118.79	5.587

0.60	142.55	5.929
0.70	166.31	6.261
0.80	190.07	6.574

La Figura 4 muestra la gráfica de la respuesta del sensor el volumen de agua en el eje X y la corriente de salida del sensor en el eje Y. Los asteriscos son los datos de la Tabla II. Como se puede observar la salida del sensor es lineal, por lo que utilizando dos puntos calculamos la pendiente de la recta y obtuvimos un valor de $m=0.0134$ y el valor de $b=4mA$. Por lo que la ecuación del sensor es:

$$I_{\text{Sensor}} \text{ (mA)} = 0.0134l + 4 \quad (5)$$

Donde l es el volumen en litros e I_{Sensor} es la salida del sensor en mA. En la Figura 4, la línea roja representa (5). Como se puede observar la salida del sensor es lineal y ya se cuenta con la información suficiente para programar el procesamiento de datos en el SI.

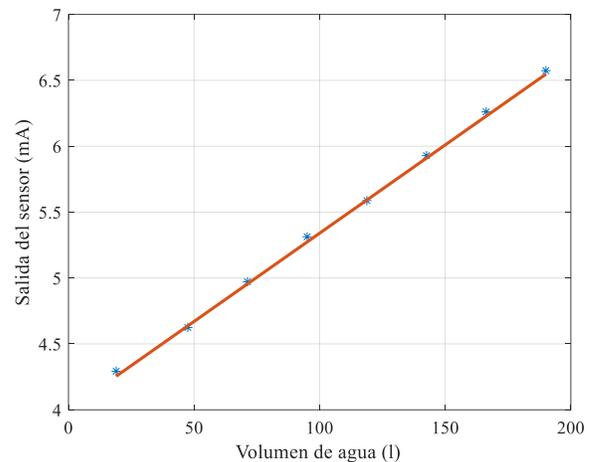


Figura 4. Respuesta del sensor hidrostático

Se realizó una prueba de repetibilidad del sensor hidrostático, con un nivel de agua de 0.8m ó 190.07 litros se sacó el sensor del contenedor y se volvió a sumergir 30 veces. Se obtuvo un valor promedio de $\bar{X} = 6.547$ mA y un error estándar de 5.31×10^{-4} mA. Por lo que consideramos que el sensor tiene una muy buena repetibilidad [16].

Por último, se desarrolló otra prueba al sensor hidrostático que consistió en colocándolo aleatoriamente en diferentes lugares del contenedor, como se muestra en los círculos rojos en la vista superior del contenedor como se muestra en la Figura 5. El nivel de agua se mantuvo a 0.80m y el valor de la corriente registrada fue de 6.574 mA en cualquier posición que se coloque. Lo que facilita su montaje en cualquier aplicación que se requiera.

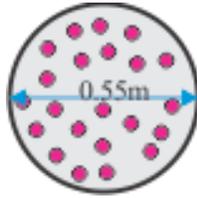


Figura 5. Posiciones de prueba del sensor hidrostático.

Utilizando una computadora personal y LabWindows/CVI se realizó un programa lenguaje C/C++ para comunicarse con el SI, leer la información y generar un archivo en una PC con la fecha, hora y el valor del nivel. Además, se generó una interfaz de usuario (GUI) como la que se muestra en la Figura 6. Con el botón de graficar se puede ver el histórico del día o seleccionar un archivo de datos históricos y analizar la información.

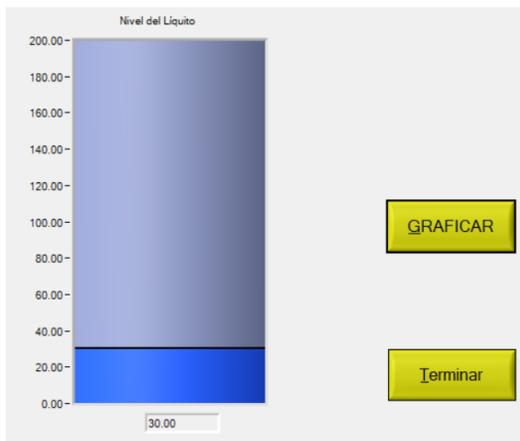


Figura 6. GUI para monitoreo de nivel en la RED local.

Utilizando *FireBase* de Google se guarda en la nube la misma información que en la computadora personal. Y actualmente se está trabajando en el desarrollo de App para Android que permitirá desplegar la información del nivel en dispositivos móviles con ese sistema operativo. El despliegue de la información sería semejante como el que se muestra en la Figura 6.

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo con base a la arquitectura de alto nivel de IoT se diseñó y se construyó la medición de nivel de líquidos basado en un SI e IoT. El SI utiliza un sensor de presión hidrostática de bajo costo y se construyó con tres funciones básicas: procesamiento, compensación y comunicación.

El sensor inteligente utiliza WiFi para comunicarse con una computadora personal, mostrar y almacenar la información. La computadora personal envía la información a la nube desde donde se tiene acceso con cualquier dispositivo móvil. Con las pruebas realizadas se demostró que la medición del sensor es lineal, tiene una buena repetibilidad y que la respuesta del sensor es independiente de la forma del contenedor del líquido.

Con este proyecto se muestra la aplicación de un sistema de monitoreo de una variable como el agua, que es de mucha importancia para la vida y que fácilmente se puede desarrollar un sistema de muchos SI para medir el nivel de agua y racionar su uso, creando mayor conciencia en el cuidado de este vital líquido.

6. REFERENCIAS

- [1] E.O. Doebelin, *Measurement Systems Application and Design*, New York, McGraw-Hill, 1990.
- [2] M. F.F. Domingues, T. de B. Paixao, E. F. Teixeira Mesquita, N. Alberto, A. R. frías, R.A.S. Ferreira, H. Varum, P.F. De la Costa Antunes y P.S. de Brito André. Liquid Hydrostatic Pressure Optical Sensor Based on Micro-Cavity Produced by the Catastrophic Fuse Effect. *IEEE Sensors Journal*, VOL. 15, NO. 10, pp. 5654-5658, Oct. 2015.
- [3] C. A. F. Marques, G.-D. Peng, y D. J. Webb. Highly sensitive liquid level monitoring system utilizing polymer fiber Bragg gratings. *Optics Express*, Vol. (23), No. 5, pp. 6058-6072. Jan. 2015. doi.org/10.1364/OE.23.006058.
- [4] H. Jia, G. Cheng, J. Li, H. Liu y J. Qian. A correction method for the ambient temperature-induced error in hydrostatic leveling systems and application. *Measurement*, Vol. 172, pp 1645-1660, Feb. 2021.
- [5] R V Tsvetkova, V V Yepin and A P Shestakov. Numerical estimation of various influence factors on a multipoint hydrostatic leveling system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 13-16 February 2017. Perm. Russian Federation. Pp. 1-9 DOI 10.1088/1757-899X/208/1/012046
- [6] A.G. Chupyra, G.A. Gusev, M.N. Kondaurov, A.S. Medvedko y R.V. Pilipenk. Bmp Capacitive and Ultrasonic Hydrostatic Level Sensors. The 10th International Workshop on Accelerator Alignment, KEK, Tsukuba, 11-15 Feb. 2008. Pp. 1-6
- [7] M. Dholu and K. A. Ghodinde, "Internet of Things (IoT) for Precision Agriculture Application," *2018 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, Tirunelveli, India, 2018, pp. 339-342, doi: 10.1109/ICOEI.2018.8553720.
- [8] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, M. Palaniswami. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*. Vol. 29, No. 7, pp 1645-1660, Sep. 2013.
- [9] J. Lloret, J. Tomas, A. Canovas y L. Parra. An Integrated IoT Architecture for Smart Metering. *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 12, pp. 50-57, December 2016, doi: 10.1109/MCOM.2016.1600647CM.
- [10] T. Perumal, M. N. Sulaiman y C. Y. Leong, "Internet of Things (IoT) enabled water monitoring system," *2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, Osaka, Japan, 2015, pp. 86-87, doi: 10.1109/GCCE.2015.7398710.
- [11] J. Rivera. *Instrumentación: Bases para la Automatización Total*. Trillas, 2da Edición, México, 2021.
- [12] Baumer. *Guideline for Hydrostatic Level Measurement*. Available: https://www.baumer.com/medias/_secure_/Baumer_Hydrostatic_Level_Measurement_Guideline_V1.10_EN.pdf?mediaPK=8995611443230.
- [13] J. Rivera-Mejía, M. Carrillo-Romero and G. Herrera-Ruiz, "Self-Compensation to Build Reconfigurable Measurement Systems",

- Instrumentation a Measurement Magazine, Vol.16, Issue 2, pp 10-19, April 2013. DOI: 10.1109/MIM.2013.6495675
- [14] Q.F. Hassan. Internet of Things A to Z, Technologies and Applications. IEEE press, Piscataway, NJ, 2018.
- [15] O. V. Ozan. Developing IoT Proyects with ESP32. 2021.
- [16] W.W. Hines y D.C. Montgomery. Probability And Statics In Engineering And Management Science, 3ed. Wiley and Sons, 1996.