

RESEARCH ARTICLE

Control fuzzy de temperatura para un horno industrial con internet industrial de las cosas IIoT

Guillermo Raúl Tumalli Naranjo ^{1*}  Byron Xavier Lima Cedillo ¹ 

¹ Universidad Estatal Península de Santa Elena, Maestría en Electrónica y Automatización, Santa Elena, Ecuador

✉ Correspondencia: guillermo.tumallinaranjo1443@upse.edu.ec  + 593995247492

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj73175>

Resumen: El control preciso de la temperatura en los hornos utilizados en procesos industriales es crítico para garantizar la calidad y eficiencia en la producción. Sin embargo, muchas industrias carecen de herramientas adecuadas para lograr un control óptimo, lo que puede afectar el rendimiento de los procesos. Este trabajo, se propone el desarrollo de un prototipo de control de temperatura para un horno industrial basado en la lógica Fuzzy (Fuzzy Logic) y el Internet Industrial de las Cosas (IIoT). El sistema utiliza un sensor de temperatura PT100, que convierte una señal analógica en un rango de 0°C a 450°C a una señal de 4-20 mA, compatible con un PLC. Dependiendo de la temperatura, el sistema controla una válvula proporcional cuando está por debajo del set point y un ventilador cuando está por encima, gestionando el proceso mediante una aplicación móvil. El prototipo demostró ser más eficiente que los sistemas tradicionales, mejorando el control de temperatura y, en consecuencia, optimizando la producción. Además, se comprobó la adaptabilidad del sistema a diferentes entornos industriales al ajustar el tipo de sensor para alcanzar valores de temperatura más elevados, como los 1200°C necesarios en la producción de Clinker para cemento. Por lo tanto, con el uso de lógica Fuzzy e IIoT en el control de temperatura industrial ha permitido alcanzar una mayor eficiencia operativa y flexibilidad en distintos procesos productivos, lo que contribuye a mejorar la calidad y el rendimiento general en la industria.

Palabras claves: Temperatura, Prototipo, Control Fuzzy, IIoT, Set Point.

Fuzzy temperature control for an industrial oven with industrial internet of things IIoT

Abstract: Precise temperature control in ovens used in industrial processes is critical to guarantee quality and efficiency in production. However, many industries lack adequate tools to achieve optimal control, which can affect process performance. This work proposes the development of a temperature control prototype for an industrial oven based on fuzzy logic and the Industrial Internet of Things (IIoT). The system uses a PT100 temperature sensor, which converts an analog signal in a range of 0°C to 450°C to a 4-20 mA signal, compatible with a PLC. Depending on the temperature, the system controls a proportional valve when it is below the set point and a fan when it is above, managing the process through a mobile application. The prototype proved to be



Cita: Tumalli Naranjo, G. R., & Lima Cedillo, B. X. (2024). Control fuzzy de temperatura para un horno industrial con internet industrial de las cosas IIoT. Green World Journal, 07(03), 175.

<https://doi.org/10.53313/gwj73175>

Received: 25/August/2024

Accepted: 26/September/2024

Published: 28/September/2024

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial
editor@greenworldjournal.com

Editor's note: CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2024 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.

Creative Commons Attribution (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

more efficient than traditional systems, improving temperature control and, consequently, optimizing production. Furthermore, the adaptability of the system to different industrial environments was verified by adjusting the type of sensor to reach higher temperature values, such as the 1200°C required in the production of Clinker for cement. Therefore, the use of fuzzy logic and IIoT in industrial temperature control has made it possible to achieve greater operational efficiency and flexibility in different production processes, which contributes to improving quality and general performance in the industry.

Keywords: Temperature, Prototype, Fuzzy control, IIoT, Set Point.

1. Introducción

Actualmente en el control de temperatura de un horno industrial, se puede evidenciar el tradicional control manual o PID; que son controles que se han acentuado en la industria por su facilidad de implementación y por la amplia información que existe sobre los mismos. Un control manual permite una activación y desactivación instantánea, pero siempre deben existir la presencia de un operador para que la respuesta sea la adecuada. Por otro lado, utilizar un sistema PID permite un mejor control en base al error que se genera en el sistema y esto permite que se corrija el mismo, generando una mejor respuesta, sin la necesidad de que exista en todo momento la presencia de un operador, y como el objetivo de una planta siempre será mejorar el error del sistema, se deben buscar otras opciones, y una de esas es la lógica Fuzzy [1]. Por lo tanto, la industria al igual que la tecnología debe innovar y buscar otras alternativas para mejorar su productividad; algo que se logra al mejorar la respuesta del sistema, y esa es una ventaja que ofrece la lógica Fuzzy, y que cada vez va tomando más fuerza por su robustez ante el error del sistema y corrección del mismo [2].

Pero no solo mejorar la respuesta del sistema es lo que busca la industria, sino también, busca como enviar los datos que se están generando en tiempo real, y esa es una de las ventajas que ofrece el IIoT; ya que se envían los datos de forma inalámbrica y son accesibles desde cualquier lugar, con tan solo contar con una conexión a internet [3]. Enviar la información de sensores y actuadores de un sistema en funcionamiento, por ejemplo: temperatura, presión, humedad, etc. Es lo que se logra con el IIoT, y que es de gran ayuda al querer controlar cualquier variable y dar un seguimiento al trabajo de una industria [4]. Por ende, combinar lógica Fuzzy con el internet de las cosas, brinda a la industria lo que se busca, como se menciona en [5] por ejemplo, esta combinación nos permitiría tener el control total de una casa y hacer que la respuesta ante cualquier situación sea inmediata, algo que en la actualidad es de gran ayuda.

Otro ejemplo de aplicación de IIoT y control se puede evidenciar en [6], donde se realiza un control de temperatura y se envía los datos a través de IIoT, sin embargo, no se realiza el control de temperatura basado en lógica Fuzzy, pero es un sistema que se acerca a la investigación del presente trabajo. Actualmente, el IIoT y la automatización industrial van de la mano, y como se evidencia en [7], la tecnología IIoT nos permite realizar el seguimiento de varios procesos industriales, con el afán de tener un seguimiento en tiempo real de nuestra empresa. En [8] podemos notar como la lógica Fuzzy ayuda a sistemas para gestionar la energía y optimizar fuentes de energía renovable; ya que, la lógica Fuzzy, ayuda a mejorar de forma significativa el uso de esta energía. En [9] podemos notar que la lógica Fuzzy también se aplica en la agricultura, y esto nos permite entender que este control está presente en varios sistemas, debido a que ayuda a mejorar la respuesta del sistema. Y en [10] podemos notar que la tecnología IIoT se aplica para el control de temperatura para pasteurizar leche; sin embargo, ninguno de los trabajos e investigaciones se centran en el control Fuzzy de la temperatura para un horno industrial, y mucho menos lo combinan con el internet industrial de las cosas; lo que hace que el presente trabajo sea de total interés y relevancia, al implementar una nueva opción para el seguimiento y control dentro de la industria, además, que permite obtener los datos del sistema en tiempo real, logrando de esta manera, brindar a todos lo

involucrados en el proceso, mejorar el producto a obtener y tener el menor error posible en la producción.

Lo que se pretende lograr con la implementación de un prototipo de control Fuzzy integrado con el internet industrial de las cosas (IIoT), es controlar la temperatura de un horno industrial de manera más precisa y eficiente en comparación a los sistemas de control manual, mejorando la calidad del producto obtenido. Para la cual se debe ir cumpliendo parcialmente con los siguientes objetivos: desarrollar un modelo de lógica Fuzzy en MATLAB para el control de temperatura de un horno industrial, recopilar datos para ajuste automático de parámetros de control, integrando sensores y actuadores, desarrollar una interfaz de control en tiempo real, accesible a través de dispositivos conectados a Internet y supervisar la respuesta del sistema de control Fuzzy-IIoT en la precisión del control de temperatura, con la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones de operación.

Para implementar el prototipo de control, se debe en primera instancia desarrollar el modelo Fuzzy en MATLAB, considerando variables como la temperatura medida y la temperatura deseada, que representan el error a ser controlado como entrada, para obtener una salida adecuada y que controle el sistema correctamente. Luego, se debe recopilar datos de cómo trabajan los sensores en la toma de temperatura, para de esta manera ajustar los parámetros de control y tener un correcto funcionamiento, permitiendo a la aplicación basada en IIoT, realizar un seguimiento y control adecuado de todo el proceso. Con todos los parámetros ajustados y evidenciando que el control Fuzzy está dando los resultados esperados, se procede a desarrollar la aplicación para el control desde la nube; esta aplicación, se desarrolla en V-Net que es propia del módulo Wecon IoT utilizado para montar el prototipo de control, y que tiene un entorno bastante amigable con los usuarios, y que, a su vez, permite realizar un control y seguimiento desde el celular con solo contar con la aplicación móvil. Finalmente, se realiza una supervisión en tiempo real del control Fuzzy de temperatura desde el teléfono celular, para de esta manera evidenciar cambio de temperatura y activación de salidas, además, de poder realizar control desde la aplicación móvil, demostrando la aplicación de IIoT para el control Fuzzy de temperatura para un horno industrial.

Es importante mencionar que el combinar lógica Fuzzy con el internet industrial de las cosas para el control de temperatura, permite manejar de manera adecuada problemas como la incertidumbre y variación que se puede presentar en la industria; ya que, este sistema se adapta en tiempo real a las condiciones de trabajo en las que se encuentra gracias a contar con una aplicación que nos permite tener un seguimiento y control del proceso en todo momento. Todo esto permite evidenciar que el control Fuzzy funciona de mejor manera, respecto a un control manual o PID, que muchas veces se presenta dentro de la industria en este tipo de procesos.

El presente trabajo evidencia que el prototipo del control Fuzzy de temperatura para un horno industrial con internet industrial de las cosas se implementó sin mayor problema, dando a conocer en la sección 1 todos los documentos que tienen información relevante sobre el tema y su relevancia dentro de la industria en la actualidad; luego en la sección 2 se dan a conocer los materiales y métodos utilizados para alcanzar los objetivos del trabajo y evidenciar su impacto. Con el prototipo desarrollado se proceden a realizar pruebas, para dar a conocer en la sección 3 los resultados obtenidos que satisfacen la hipótesis planteada al inicio del trabajo; luego en la sección 4 se detallan los posibles trabajos que se generan a partir de la presente investigación, ya que, se abren nuevos campos e ideas que se pueden implementar y desarrollar, y finalmente se dan a conocer en la sección 5 las conclusiones que se obtienen a partir del trabajo realizado y que permiten visualizar el alcance del mismo.

2. Materiales y métodos

Los materiales que se utilizaron para este trabajo son los siguientes:

PLC S7 – 1200 (Controlador Lógico Programable)

Es un controlador de tipo industrial que funciona como computador de estado sólido. Es el encargado de monitorear las entradas y salidas, y el cual indica las acciones a ser realizadas a partir de un control lógico. El CPU que internamente tiene el PLC es el que gobierna todas las acciones que realiza el PLC, mientras que el controlador lógico programable es el que está en contacto directo con el entorno de trabajo [3].

Módulo de entradas y salidas analógicas SM 1232

Es un módulo de expansión de la familia SIMATIC S7 – 1200, que permite incorporar señales del tipo analógico a la entrada y salida de un PLC. Esto le permite interactuar al mismo, con sensores y actuadores que generen este tipo de señales, como, por ejemplo: temperatura, presión y flujo [42].

Sensor de temperatura PT100

Al tener en cuenta la información de [43], la PT100 es un detector de temperatura de resistencia; lo que quiere decir, que varía la resistencia eléctrica de un alambre, en este caso aluminio, a medida que el mismo varía su temperatura. Al ser PT100, quiere decir que su resistencia inicial es 100 ohmios cuando la temperatura es de 0 °C.

Módulo Wecon IoT.

Como se menciona en [44], es un dispositivo que se conecta a la nube a través de Ethernet. Nos permite interactuar con varias marcas de PLC, desarrollar un sistema SCADA en la nube, y recibe y envía los datos a través de una aplicación móvil disponible para Android y iOS. Es el módulo que se encarga de realizar la conexión entre el PLC y la nube.

Router TP-Link Archer C24

Dado que es un dispositivo de la marca TP-Link [45], se dice que es un router pequeño y compacto que sirve para permitir la conexión a internet dentro de departamentos y casas pequeñas. Es un pequeño distribuidor de direcciones IP, si se conecta dispositivos de forma directa al mismo.

Metodología.

Dado la naturaleza del problema en el cual se quiere implementar un prototipo del control de temperatura para un horno industrial basado en el internet industrial de las cosas, la investigación tendría un diseño no experimental, transeccional descriptivo; para lo cual, se tiene como referencia inicial el siguiente diagrama de bloques del sistema.

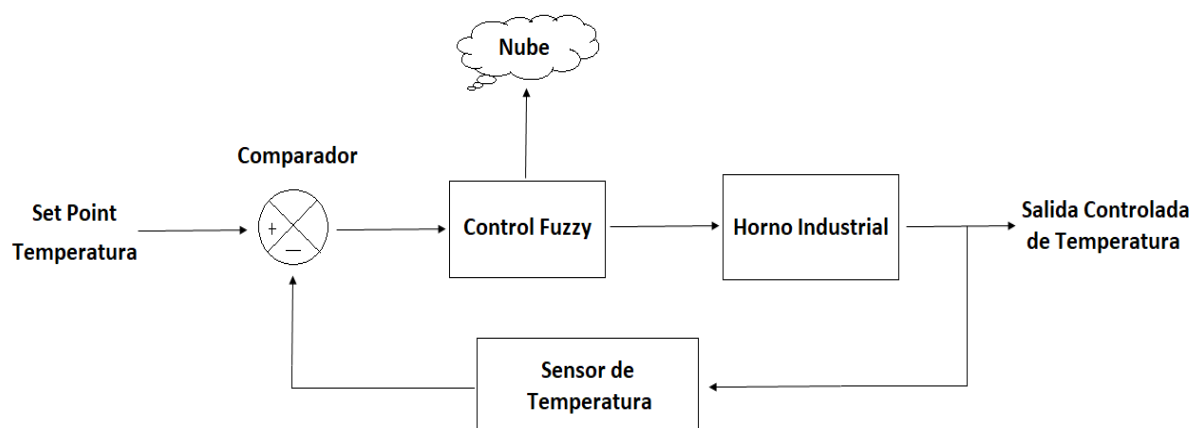


Figura 1. Vista completa del sistema en diagrama de bloques

El estudio tiene un enfoque no experimental; debido a que, el sistema se desarrolla en un ambiente simulado puesto que es un prototipo; ya que, se tienen los materiales de forma física, y es palpable el sistema configurado; sin embargo, el sistema no está montado en el ambiente real

de trabajo, y por lo tanto, no se están realizando pruebas de forma controlada, en las cuales se manipule las variables para observar los resultados que presentaría el control de la temperatura en el entorno real de trabajo.

Al ser transeccional, indica que se analiza el sistema en un instante en particular, esto hace referencia al momento que se realizan las pruebas de funcionamiento, y, por lo tanto, funciona bajo ciertas condiciones en específico, pero el sistema como tal no trabaja a largo plazo, y no se evidencia como responde el mismo ante esta situación. El control funciona correctamente en todas las pruebas realizadas, pero no funciona continuamente durante un largo intervalo de tiempo y no se obtienen datos respecto a esta situación del sistema. También es descriptivo; debido a que, el fin de este trabajo es mostrar cómo funciona el control Fuzzy de temperatura para un horno industrial basado en el internet industrial de las cosas, detallando cómo funciona el control y su dependencia de las variables de entrada y salida que se necesitan, y luego como todo esto es llevado a la nube para poder realizar un seguimiento y control en tiempo real; pero como tal, no se encuentra trabajando en un entorno industrial, para verificar su respuesta en este entorno y así producir ciertos resultados.

Considerando que se quiere tener un enfoque claro de cómo responde nuestro sistema en su estado actual de funcionamiento, este tipo de enfoque es adecuado para nuestro trabajo; ya que, no intervenimos en el sistema en su funcionamiento y obtenemos datos de respuesta a partir del instante y momento en el que se toman los datos, a través del trabajo del sistema implementado. Al ser un prototipo no se manipulan directamente las variables independientes, ni se asignan aleatoriamente condiciones experimentales. Por lo que, no podría tener un diseño experimental. Dado que es un diseño no experimental, transeccional descriptivo se observan y se describen las variables de interés en un momento dado, y no se interviene o se modifican las condiciones existentes.

Para implementar el control fuzzy, se debe en primera instancia desarrollar el modelo Fuzzy en MATLAB, considerando variables como la temperatura medida y la temperatura deseada, que representan el error a ser controlado como entrada, para obtener una salida adecuada y que controle el sistema correctamente. Luego, se debe recopilar datos de cómo trabajan los sensores en la toma de temperatura, para de esta manera ajustar los parámetros de control y tener un correcto funcionamiento, permitiendo a la aplicación basada en IIoT, realizar un seguimiento y control adecuado de todo el proceso. Con todos los parámetros ajustados y evidenciando que el control Fuzzy está dando los resultados esperados, se procede a desarrollar la aplicación para el control desde la nube; esta aplicación, se desarrolla en V-Net que es propia del módulo Wecon IoT utilizado para montar el prototipo de control, y que tiene un entorno bastante amigable con los usuarios, y que, a su vez, permite realizar un control y seguimiento desde el celular con solo contar con la aplicación móvil. Finalmente, se realiza una supervisión en tiempo real del control Fuzzy de temperatura desde el teléfono celular, para de esta manera evidenciar cambio de temperatura y activación de salidas, además, de poder realizar control desde la aplicación móvil, demostrando la aplicación de IIoT para el control Fuzzy de temperatura para un horno industrial.

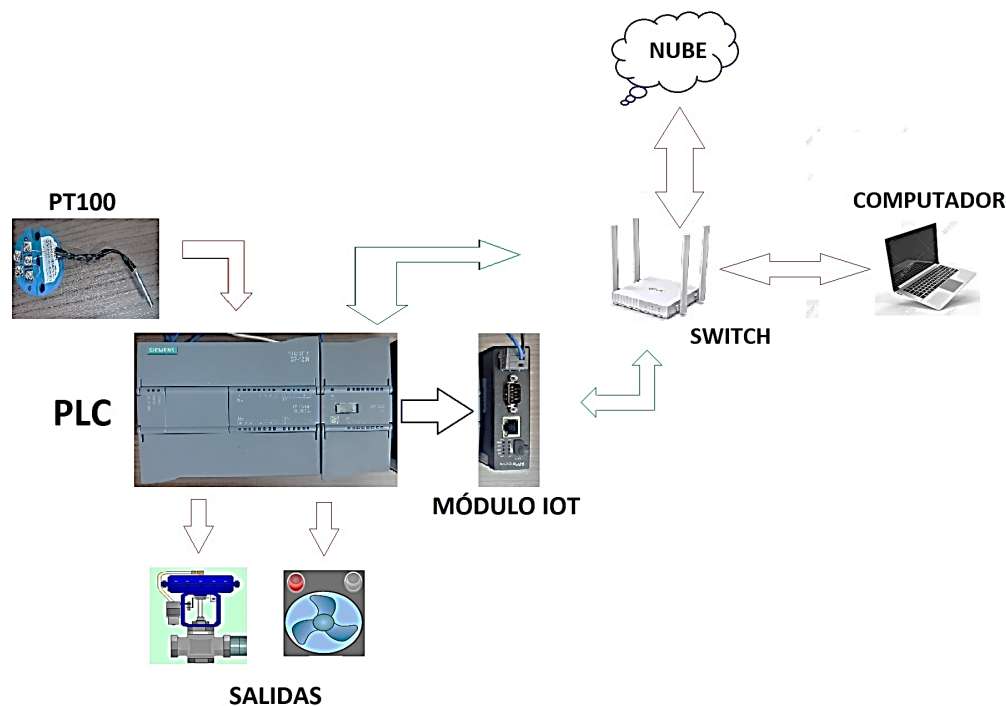


Figura 2. Esquema del prototipo implementado

Nuestro sistema va a contar con un PLC S7-1200, el cual se implementará el controlador fuzzy que nos permitirá procesar las señales de entrada y salida que tiene el sistema. Contará con un módulo de entradas y salidas analógicas, necesario para procesar todo lo que ingresa en el PLC y todo lo que se desea tener como salida. Se utilizará una PT100 que es el sensor que enviará la señal analógica de entrada para poder realizar el respectivo control. Las salidas controlan son una válvula proporcional y un ventilador. Luego se tiene un módulo Wecon IoT, el cual nos permite enviar los datos extraídos del PLC a la nube, una nube que es propia de la marca del módulo utilizado. Con los datos ya existentes en la nube, se tiene la aplicación que interpreta los mismos, la cual es V-Net, que también es propia del módulo IoT utilizado. En nuestro teléfono móvil podemos evidenciar todo el control que se está realizando, gracias a que se cuenta con una aplicación móvil de V-Net, que se utiliza para la interpretación y control de los datos. Como equipo adicional, cabe mencionar que se utiliza un switch, para armar la red entre el PLC, el módulo Wecon y el computador que actúa como controlador de todo el proceso. Y al tener los datos cargados en la nube, nuestro teléfono móvil puede estar conectado a cualquier red, y podrá realizar el seguimiento y control de la temperatura del horno industrial.

3. Resultados

El control Fuzzy de temperatura de un horno industrial a partir del internet industrial de las cosas, teniendo en cuenta el prototipo que se desarrolló, permitió evidenciar que es una opción válida versus el control convencional que se presenta en una industria; teniendo presente, que existen ciertas consideraciones que se deben contemplar a la hora de quererlo llevar a la aplicación real. El prototipo funciona de forma adecuada y permite realizar un seguimiento y control en tiempo real de la temperatura; teniendo en cuenta que, se lo ha sometido a situaciones de prueba, pero no permite obtener datos de un entorno real industrial y con diferentes situaciones climáticas, que son consideraciones que se plantean para futuras investigaciones y trabajos prácticos.

Primero se procedió a realizar en el entorno de programación de MATLAB la lógica Fuzzy del sistema, utilizando una herramienta propia del software llamada "fuzzy", la cual permite ingresar las entradas y salidas a considerar, para que la respuesta del sistema sea la esperada y el control de

temperatura tenga una respuesta en tiempo real respecto a las variaciones que se presentan en el ambiente. Para el desarrollo se tiene en cuenta el error del sistema (e) y el error a corregir (ep), los cuales se comparan y permiten tener una salida controlada (u), que es una de las ventajas que ofrece la lógica Fuzzy. Al tener en cuenta las variables, y desarrollar todas las funciones de membresía necesarias para el control, se obtiene una gráfica que muestra el resultado de esta comparación, y que evidencia el resultado esperado para el control de temperatura; puesto que, el error se corrige y se compensa a la salida. Todo este proceso se evidencia en las siguientes gráficas del desarrollo del control Fuzzy.

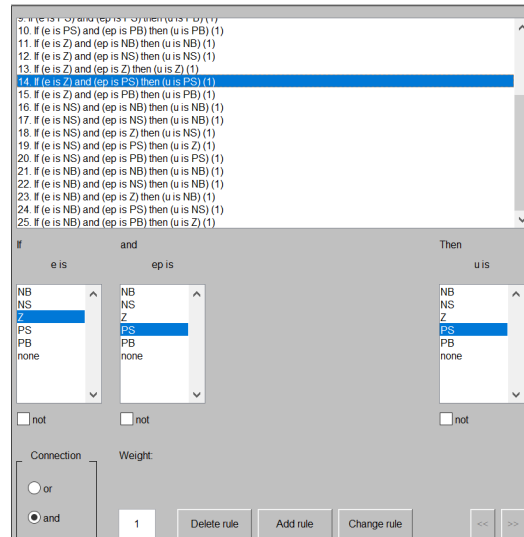


Figura 3. Reglas del control Fuzzy desarrollado en MATLAB

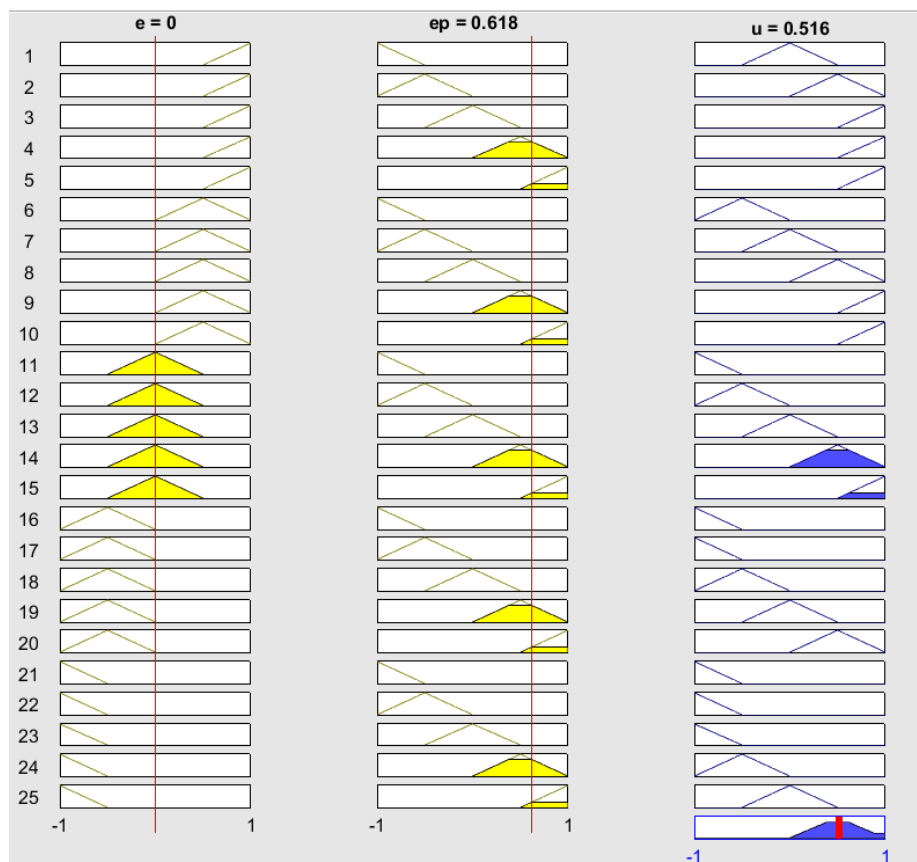


Figura 4. Reglas presentadas en funciones de pertenencia del control Fuzzy

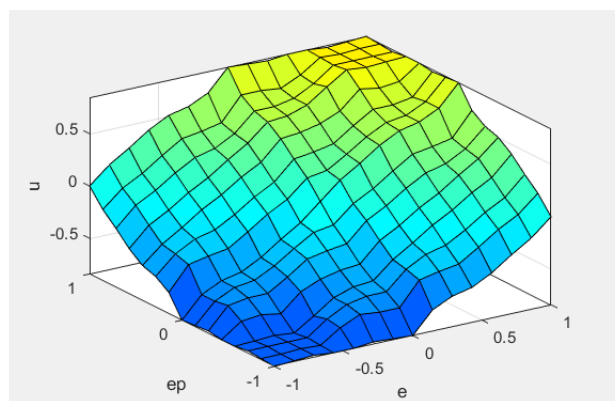


Figura 5. Grafica de error vs salida del control obtenido en MATLAB

Una vez que se ha desarrollado la lógica Fuzzy del sistema, se procede a obtener el lenguaje SCL que se genera del sistema. Esto se realiza en el mismo entorno de MATLAB, con la ayuda de "Simulink" y la herramienta llamada "PLC Code"; que es la encargada de pasar la información generada del bloque fuzzy, a un lenguaje que pueda ser interpretado por el PLC, que en este caso es lenguaje SCL. Se debe tener en cuenta, que el código que se obtiene, no se lo copia y pega directamente en el entorno de programación del PLC; sino que, debe ser sometido a los cambios necesarios para que pueda ser interpretado adecuadamente.

Con el código obtenido, se procede a desarrollar el bloque de control dentro del entorno de programación del PLC, en este caso, al ser un PLC de la marca Siemens, se debe utilizar el software TIA Portal. Dentro de este entorno de programación, se utiliza un bloque FB en el cual se desarrolla el control Fuzzy, a partir, del código obtenido de MATLAB. Con el bloque desarrollado, teniendo en cuenta las consideraciones necesarias, se procede a realizar el programa principal del PLC, donde se deben declarar todas las variables de entrada y salida del sistema; además, que se debe ingresar todas las variables necesarias para hacer el escalamiento de la señal del sensor de temperatura, para que la señal, sea interpretada adecuadamente por el PLC y no se presenten inconvenientes con la salida deseada. Y finalmente, se deben considerar las variables que van a permitir que se envíe la información desde el PLC a la nube, a través del módulo IoT. Todas estas consideraciones que se mencionan, se evidencian de forma macro en la siguiente figura obtenida del entorno de TIA Portal, donde se encuentra desarrollado el control Fuzzy de temperatura para un horno industrial.

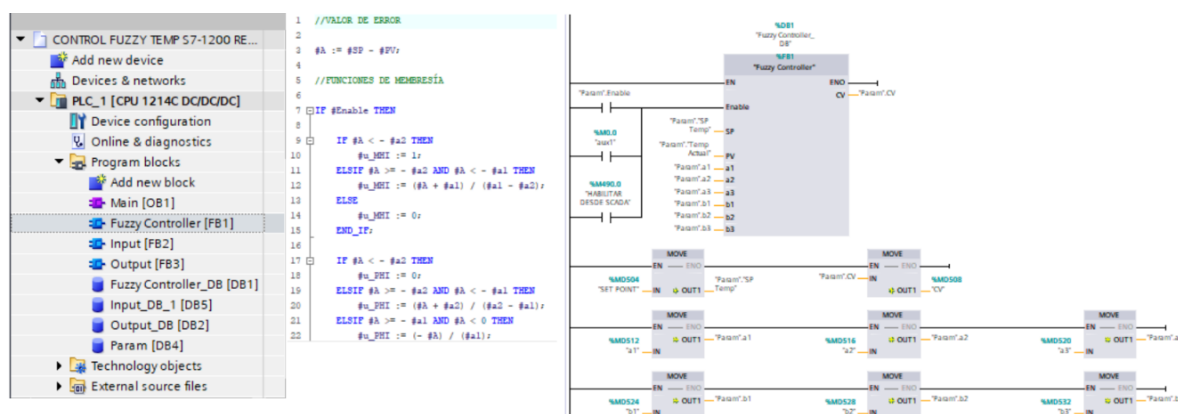


Figura 6. Vista general del programa desarrollado en TIA Portal.

Como una consideración relevante del sistema, hay que tener en cuenta el tipo de transmisor de señal (voltaje o corriente) que se utiliza para enviar la señal del sensor de temperatura al PLC; debido a que, el escalamiento va a sufrir sus respectivas alteraciones, según sea el caso. Para el

prototipo del control de temperatura, se utiliza una PT100 y un transistor de señal de corriente; por lo que, el escalado en la programación, se realizó en base a estas consideraciones. Y al realizar las respectivas pruebas, se pudo evidenciar que la respuesta del sistema era el esperado; obteniendo un control Fuzzy de temperatura para un horno industrial, para distintos valores de set point ingresados.

Con el control desarrollado dentro del PLC y teniendo una respuesta favorable, finalmente se desarrolló la aplicación en red que permite dar un seguimiento y control al sistema, desde cualquier lugar donde se tenga internet. Para esto se utilizó el módulo WECON IoT, que es de uso industrial y el cual tiene su propio entorno de programación en red llamado V-Net. En esta aplicación se desarrolló un entorno amigable y de fácil entendimiento, para que los usuarios puedan interactuar de forma adecuada con el mismo, y no presenten errores en el sistema. Teniendo en cuenta que las personas que dispongan de esta aplicación, ya sea de ordenador o móvil deben tener los conocimientos necesarios para poderlo manipular de forma adecuada y no se presente inconvenientes en el sistema. La aplicación para el teléfono móvil tiene el mismo nombre (V-Net) y esta disponible para Android y IOS, y se puede ingresar al entorno de seguimiento y control, mediante un usuario y contraseña; mismas que se utilizan para ingresar a la aplicación de ordenador y que se crean la primera vez que se ingresa en la misma. El resultado de la interfaz del control Fuzzy de temperatura para un horno industrial con internet industrial de las cosas IIoT, es el siguiente:

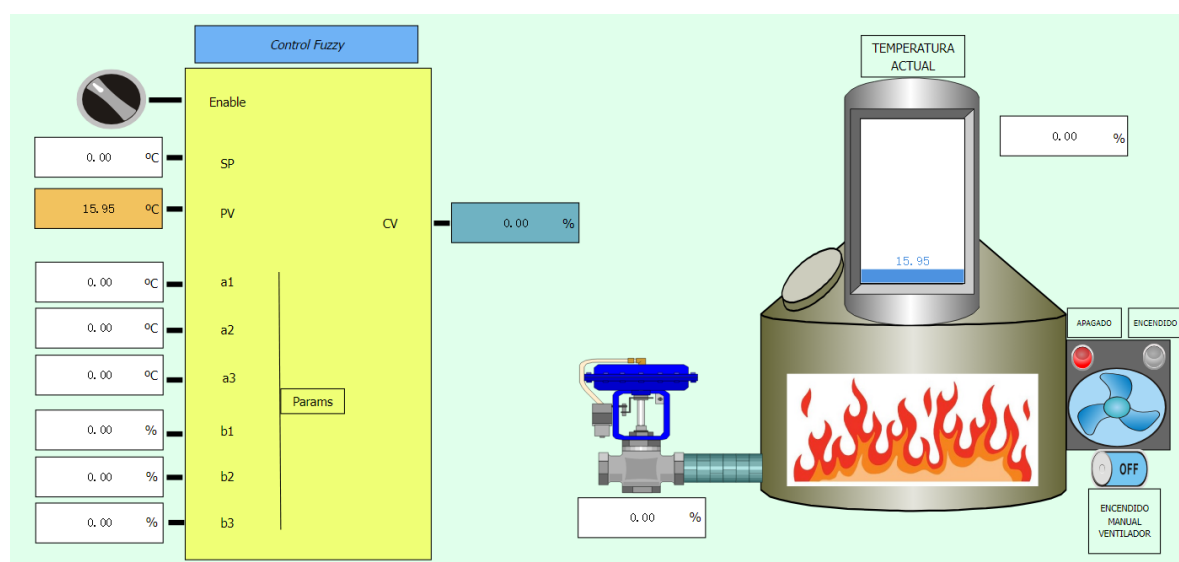


Figura 7. Entorno para escritorio y móvil de la aplicación de control.

Cada uno de los resultados mencionados, permitieron tener el producto final que es el prototipo de control de temperatura para un horno industrial con internet industrial de las cosas. Evidenciando que en la actualidad es primordial contar con un seguimiento y control de los procesos en tiempo real, y que, llevado a la práctica real, permitiría optimizar el producto final obtenido, independiente de la aplicación. La respuesta del sistema se puede evidenciar en la siguiente gráfica obtenida en MATLAB, que muestra el tiempo de respuesta del sistema respecto al set point, el cuál para realizar las respectivas pruebas se lo puso en un valor de 120 °C.

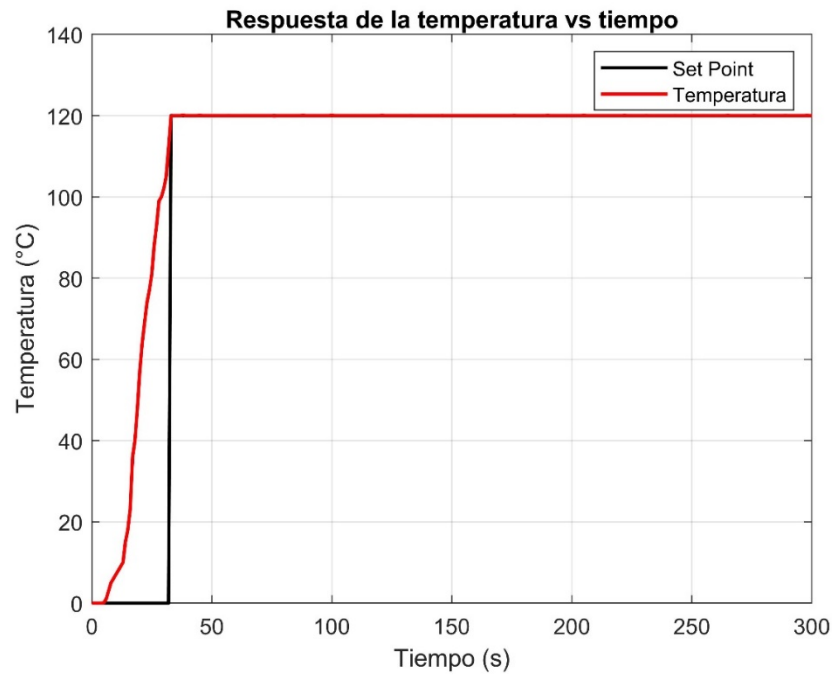


Figura 8. Respuesta del sistema aplicando el control Fuzzy

A partir de esta gráfica en la que se muestra el set point y el control Fuzzy, y tomando ciertos valores de referencia se obtuvo el siguiente error estacionario al realizar ciertas pruebas; además, el tiempo de estabilización depende de la distancia que existe entre las temperaturas a medir, los valores que se obtuvieron son:

Tabla 1. Error estacionario del sistema

Set Point	Valor Tomado	Error estacionario
120 °C	120,03 °C	0,03 °C
120 °C	120,02 °C	0,02 °C
120 °C	119,98 °C	0,02 °C
120 °C	119,97 °C	0,03 °C

¹ Las tablas pueden tener un pie de página.

Mostrando que el error en la medición versus el set point, tiene una tolerancia de $\pm 0,03\%$, que es bastante aceptable para ser un prototipo. Teniendo en cuenta que, al ser un prototipo no se expone de forma directa a variaciones que se podría presentar dentro de la industria, y que esa tolerancia podría sufrir ciertas variaciones bajo dichas condiciones.

4. Discusión

El utilizar lógica Fuzzy para el control de temperatura de un horno industrial y aplicar el internet industrial de las cosas, ha demostrado ser una opción con mayor viabilidad frente a un control convencional. Debido a que, el control Fuzzy se adapta de una mejor manera a las condiciones de variación en la operación del sistema, y que esto es de gran importancia en los procesos industriales, donde el proceso debe ser lo más preciso y estable posible; considerando que la variable que se maneja todo el tiempo, es la temperatura, y que esto asegura la calidad del producto final a obtener.

Además, el prototipo del control de temperatura logró manejar de forma adecuada la incertidumbre y variabilidad del sistema que es inherente a cualquier proceso industrial; puesto que, el sistema mantuvo la temperatura dentro de los rangos deseados, bajo ciertas condiciones de

prueba. Y que todo esto, al ser combinado con IIoT permitió tener un monitoreo y control en tiempo real, para de esta manera mejorar la eficiencia operativa, y la flexibilidad y capacidad de respuesta ante posibles fallas que se puedan presentar en el sistema. Estas perturbaciones se muestran en la siguiente gráfica, en la que se evidencia que la respuesta es aceptable; recalcando el hecho, de que al ser un prototipo las perturbaciones del sistema son simuladas y en futuros trabajos se lo podría evidenciar de forma real.

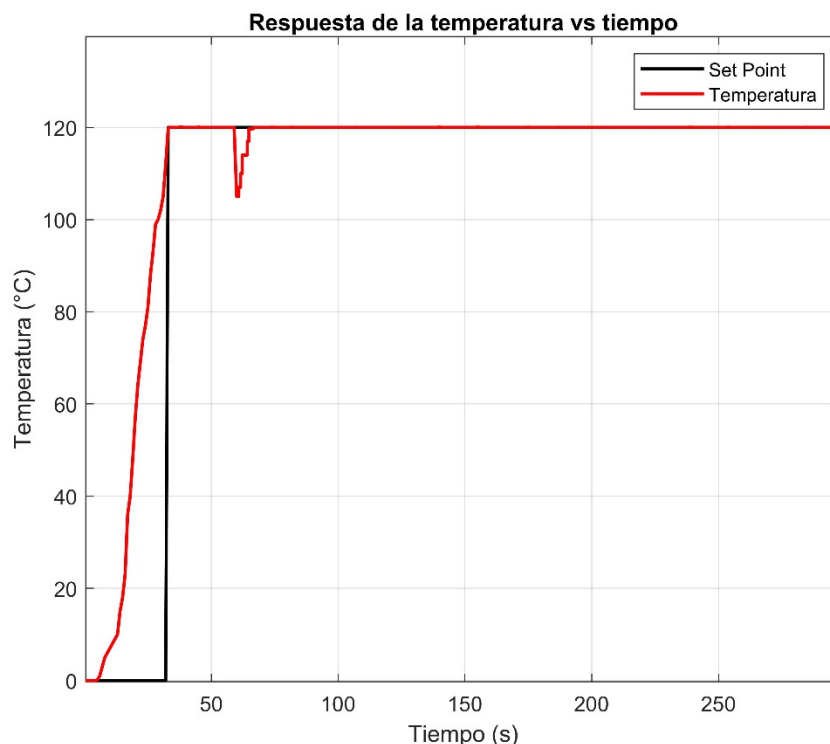


Figura 9. Respuesta del sistema aplicando el control Fuzzy, con perturbaciones

Sin embargo, aunque el prototipo del sistema ofrece ventajas respecto a un control convencional; se debe tener en cuenta que, el mismo no trabajó en un entorno real de producción, y que montarlo en la industria podría presentar ciertos desafíos; tales como: ciberseguridad, integración con otros sistemas de control, duración a largo plazo y la resistencia del sistema ante condiciones extremas. Por lo tanto, futuros trabajos podrían enfocarse en la implementación en un entorno industrial real, en la seguridad del sistema y en el desempeño a largo plazo.

5. Conclusión

El control de temperatura para un horno industrial con internet industrial de las cosas ha demostrado ser una mejor opción para el seguimiento y control de un proceso industrial versus un control convencional. Todos los resultados que se obtuvieron indican que la lógica Fuzzy combinada con el IIoT, optimizan notablemente el control de temperatura, y esto conlleva a que se tenga una mayor uniformidad en el producto final.

El trabajo realizado permite evidenciar que el utilizar nuevas tecnologías, tales como la lógica Fuzzy y el IIoT, traen beneficios en aplicaciones industriales críticas donde es esencial la adaptabilidad y precisión del sistema. Y pese a que el trabajo se enfoca en un prototipo, los resultados son prometedores y abren la posibilidad de implementar soluciones similares a otro tipo de procesos industriales.

El presente trabajo sienta las bases necesarias para futuras investigaciones y trabajos que tengan relación completa con la automatización industrial; teniendo presente, que lo importante es implementar nuevas tecnologías para el control, y que permitan, optimizar procesos de producción.

Contribución de autores: Todos los autores han contribuido de manera equitativa a la investigación realizada.

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- [1] B. Ali, S. Tayyaba, M. W. Ashraf, M. W. Nawaz, M. T. Mushtaq, M. Akhlaq, and M. F. Wasim, "Fuzzy simulation, synthesis, characterization and voltage measurements of zinc oxide nanorod-based nanogenerators," *Dig. J. Nanomater. Biostructures*, vol. 15, pp. 289–297, 2020. Available: <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Aagcd%3A10%3A7126458/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Aagcd%3A143036460&url=c>.
- [2] M. Ali, A. Hussein, and T. Salman, "IoT Based Water Tank Level Control System Using PLC," in 2020 International Conference on Computer Science and Software Engineering (CSASE), Duhok, Iraq, Apr. 16–18, 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/CSASE48920.2020.9142067.
- [3] R. Amudhevali and T. Sivakumar, "IoT Based Smart Energy Metering System for Monitoring the Domestic Load Using PLC and SCADA," in *IVC Raise 2020*, 2020, pp. 1–10. doi: 10.1088/1757-899X/1055/1/012154.
- [4] O. A. Andrade Sojo and P. E. Salamea Saquicela, "Implementación de un sistema basado en internet de las cosas para el control del proceso de elaboración de cerveza artesanal," Bachelor's thesis, Univ. del Azuay, 2021. Available: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10986>.
- [5] U. Ramani, S. Sathiesh Kumar, T. Santhoshkumar, M. Thilagaraj, "IoT Based Energy Management for Smart Home," Published in: 2019 2nd International Conference on Power and Embedded Drive Control (ICPEDC), Aug. 21–23, 2019. IEEE, doi: 10.1109/ICPEDC47771.2019.9036546.
- [6] C. Calderón, M. Gonzaga, J. Morales, M. Morochó, B. Torres, and C. Ramírez, "Prototype industrial IoT applied to temperature monitoring in storage silos of dairy products," in 2018 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Cáceres, Spain, Jun. 13–16, 2018, pp. 1–6. doi: 10.23919/CISTI.2018.8399299.
- [7] T. L. Gallo Castillo, "Desarrollo e implementación de Internet industrial de las cosas aplicado al laboratorio de PLC's de la Facultad de Ingeniería Industrial en procesos de automatización de la Universidad Técnica de Ambato," Master's thesis, Escuela Sup. Politécnica de Chimborazo, 2018. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9228>.
- [8] A. Kumar, A. Kumar, and S. Pal, "Fuzzy Logic-Based Energy Management in Smart Grids for Renewable Integration," *Energy Rep.*, 7, 5989–6003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451101013>
- [9] N. Noorbhasha and M. Veeraswamy, "Smart Sprouts: Fuzzy Logic-Driven IoT-Based Smart Water Management System for Vertical Farming," in *Proceedings of the 4th International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC)*, Tiruchirappalli, India, Sep. 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICOSEC58147.2023.10275927.
- [10] R. A. Silgado Ortiz, "Desarrollo de un sistema de Internet de las Cosas Industrial para el monitoreo de temperatura de un pasteurizador de leche," Bachelor's thesis, Univ. Antonio Nariño, 2023. Available: <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/8552>.
- [11] V. K. S. and R. R. Neeralagi, "IoT based Health Monitoring using Fuzzy logic," *International Journal of Computational Intelligence Research*, vol. 13, no. 10, pp. 2419–2429, 2017. [Online]. Available: http://www.ripublication.com/ijcir17/ijcirv13n10_11.pdf.
- [12] M. Cuká, D. Elzami, R. Obukata, K. Odera and T. Oda, "An Integrated Intelligent System for IoT Device Selection and Placement in Opportunistic Networks Using Fuzzy Logic and Genetic Algorithm," Published in: [2017 31st International Conference on Advanced Information Networking and](#)

- [Applications Workshops \(WAINA\)](#). March 27–29, 2017. doi: [10.1109/WAINA.2017.178](https://doi.org/10.1109/WAINA.2017.178)
- [13] A. Subahi and K. Bouazza, "An Intelligent IoT-Based System Design for Controlling and Monitoring Greenhouse Temperature," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 125488–125500, 2020. doi: [10.1109/ACCESS.2020.3007955](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007955).
- [14] F. Hasan, A. Kargarian, and A. Mohammadi, "A survey on applications of machine learning for optimal power flow," in *2020 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC)*, 2020, pp. 1–6. doi: [10.1109/TPEC48276.2020.9042547](https://doi.org/10.1109/TPEC48276.2020.9042547).
- [15] V. A. Chalán Padilla, "Desarrollo de un controlador óptimo LQR utilizando herramientas IoT para un sistema de presión constante controlado remotamente," Master's thesis, Univ. Politécnica Salesiana del Ecuador, 2020. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19395>.
- [16] Control Automático Educación, "Control Fuzzy – Mamdani – Simulink," Control Automático Educación, 2024. [Online]. Available: <https://controlautomaticoeducacion.com>.
- [17] X. Li, Da Xu, and L. Xu, "A review of Internet of Things: Resource mapping," *IEEE Internet Things J.*, vol. 8, no. 11, pp. 8657–8666, 2020. doi: [10.1109/JIOT.2020.3038657](https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3038657).
- [18] C.-L. Lin, C.-H. Zhang, and J.-H. Chen, "Optimal arrangement of structural sensors in soft rock tunnels based on industrial IoT applications," *Comput. Commun.*, vol. 156, pp. 159–167, 2020. doi: [10.1016/j.comcom.2020.03.037](https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.03.037).
- [19] Q. Liu et al., "Deep reinforcement learning for load-aware network control in IoT edge systems," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 33, no. 6, pp. 1491–1502, 2021. doi: [10.1109/TPDS.2021.3065233](https://doi.org/10.1109/TPDS.2021.3065233).
- [20] M. X. López Flores, "Industria 4.0 para la monitorización de un proceso industrial," Master's thesis, Univ. Técnica de Ambato, 2019. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29852>.
- [21] C. Caldera, J. Gallegos, J. López, and H. Olivas, "Diseño de sistema de control automatizado con sistemas embebidos, aplicaciones móviles y el internet de las cosas," *Rev. Tecnol. Innovación*, vol. 11, pp. 51–62, 2017. Available: https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologia_e_innovacion/vol4num11/Revista_de_Tecnologia_e_Innovacion_V4_N11_6.pdf.
- [22] D. Glaroudis, A. Iossifides, and P. Chatzimisios, "Survey, comparison and research challenges of IoT application protocols for smart farming," *Comput. Netw.*, vol. 168, p. 107037, 2020. doi: [10.1016/j.comnet.2019.107037](https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.107037).
- [23] D. Meana-Llorián et al., "IoTClimate: The fuzzy logic and the Internet of Things to control indoor temperature regarding the outdoor ambient conditions," *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 76, pp. 275–284, 2017. doi: [10.1016/j.future.2017.04.036](https://doi.org/10.1016/j.future.2017.04.036).
- [24] W. Mofei, Z. Chen, Y. Hu, and D. Luo, "Design of Intelligent Temperature Controller for Thermocouple Automatic Calibrating Furnace," in *2017 International Conference on Industrial Informatics – Computing Technology, Intelligent Technology, Industrial Information Integration (ICIICII)*, Wuhan, China, Dec. 2–3, 2017, pp. 1–6. doi: [10.1109/ICIICII.2017.63](https://doi.org/10.1109/ICIICII.2017.63).
- [25] OpenWebinars, "Aplicaciones del IoT en los diferentes sectores," OpenWebinars, 2024. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-023-10490-5>.
- [26] A. Patel and M. K. Sharma, "Fuzzy Logic-Based Intelligent Traffic Management System Using IoT," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 145, p. 104943, 2024. doi: [10.1016/j.trc.2023.104943](https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104943).
- [27] C. Patel and N. Doshi, "A novel MQTT security framework in generic IoT model," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 171, pp. 1399–1408, 2020. doi: [10.1016/j.procs.2020.04.150](https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.150).
- [28] K. S. Raja and S. T. K. Thakur, "Optimizing IoT Performance Using Fuzzy Logic Techniques," *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 134, pp. 297–310, 2022. doi: [10.1016/j.future.2022.03.012](https://doi.org/10.1016/j.future.2022.03.012).
- [29] J. A. Rodríguez and M. Fernández, "Fuzzy Logic Control for IoT Applications," *J. Intell. Syst.*, vol. 12, no. 3, pp. 195–210, 2021. doi: [10.1109/JIS.2021.3072929](https://doi.org/10.1109/JIS.2021.3072929).
- [30] O. A. Rosete Beas, "Desarrollo de plataforma IoT para control y monitoreo de salones de clase y laboratorios de innovación," Master's thesis, Univ. CETYS, 2019. Available: <https://repositorio.cetys.mx/handle/60000/1216>.
- [31] D. Devassy, J. Immanuel Johnraja, and G. J. L. Paulraj, "NBA: New bio-inspired algorithm for energy optimization in wireless networks for IoT applications," *J. Supercomput.*, vol. 78, pp. 1–18, 2022. doi: [10.1007/s11227-022-04505-4](https://doi.org/10.1007/s11227-022-04505-4).

- [32] N. N. Srinidhi, S. D. Kumar, and K. R. Venugopal, "Network optimizations in the Internet of Things: A review," *Eng. Sci. Technol. Int. J.*, vol. 22, no. 1, pp. 1–21, 2019. doi: 10.1016/j.jestch.2018.09.011.
- [33] R. Gupta, A. Rakhra, and A. Singh, "Internet of Things security using AI and blockchain," in *Machine Learning Approaches for IoT and Blockchain Convergence*, Wiley, 2021, pp. 57–91. doi: 10.1002/9781119761884.ch.
- [34] S. Tayyaba, M. W. Ashraf, T. Alquthami, Z. Ahmad, and S. Manzoor, "Fuzzy-based approach using IoT devices for smart home to assist blind people for navigation," *Sensors (Basel)*, vol. 20, no. 13, p. 3674, 2020. doi: 10.3390/s20133674.
- [35] S. K. Tripathy and B. S. Suresh, "Advancements in Fuzzy Logic for IoT-Enabled Smart Agriculture Systems," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 201, p. 107264, 2023. doi: 10.1016/j.compag.2022.107264.
- [36] R. Villena, "Proyecto de Integración de autómatas programable Simatic S7-1200 en red IOT," Master's thesis, Univ. Politécnica de Valencia, 2018. Available: <http://hdl.handle.net/10251/110768>.
- [37] K. R. Wagiman et al., "Lighting system control techniques in commercial buildings: Current trends and future directions," *J. Build. Eng.*, vol. 31, p. 101342, 2020. doi: 10.1016/j.job.2020.101342.
- [38] J. Xie and L. Xu, "Fuzzy Logic and Machine Learning for IoT Security: A Review," *IEEE Internet Things J.*, vol. 9, no. 17, pp. 15892–15905, 2022. doi: 10.1109/JIOT.2022.3156857.
- [39] C. Yang, Y. Zhang, Y. Chen, Y. Zhuansun, and H. Liu, "Security and privacy of smart home systems based on the Internet of Things and stereo matching algorithms," *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 4, pp. 2521–2530, Apr. 2020. doi: 10.1109/JIOT.2019.2958157.
- [40] I. F. J. Zermeño and E. G. C. Franco, "Aplicaciones, enfoques y tendencias del Internet de las Cosas (IoT): Revisión sistemática de la literatura," *Repositorio institucional.mx*, 2024. Available: <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/543/1/Aplicaciones%20enfoques%20y%20tendencias%20del%20IoT.pdf>.
- [41] J. Zhang et al., "Attribute-aware pedestrian detection in a crowd," *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 23, pp. 3085–3097, 2021. doi: 10.1109/TMM.2020.3020691.
- [42] Siemens AG, "SM1232: Analog Input/Output Module," *SIMATIC S7-1200 System Manual*, Siemens, Munich, Germany, 2020. [Online]. Available: Siemens Support.
- [43] Omega Engineering, Inc., "RTD (PT100) Temperature Sensors," *Omega Product Specifications*, Omega Engineering, Stamford, CT, USA, 2023. [Online]. Available: Omega Engineering.
- [44] Wecon Technology Co., Ltd., "WECON IoT Module Manual," *Wecon Product Specifications*, Wecon Technology, Fuzhou, China, 2023. [Online]. Available: Wecon Technology.
- [45] TP-Link Technologies Co., Ltd., "Archer C24 AC750 Wireless Dual Band Router User Manual," *TP-Link Product Documentation*, TP-Link Technologies, Shenzhen, China, 2023. [Online]. Available: TP-Link Support



© 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>