



Diseño de un sistema inteligente para inspeccionar el flujo de información de una red modbus mediante lógica difusa en sistemas agroindustriales

Design of an intelligent system to inspect the information flow of a modbus network through fuzzy logic in agro-industrial systems

Gilberto Bojorquez-Delgado¹, Jesús Bojorquez-Delgado¹, Manuel-Alfredo Flores-Rosales¹

¹ Tecnológico Nacional de México – ITS Guasave, Sinaloa, México.

Recibido: 31-10-2022

Aceptado: 14-12-2022

Autor correspondal: gilberto.bd@guasave.tecnm.mx

Resumen

La seguridad agroalimentaria es fundamental para el desarrollo sostenible, por lo cual las Naciones Unidas impulsan la agenda 2030, un factor fundamental para conseguir la seguridad agroalimentaria, es el manejo postcosecha, lo que nos permite el manejo adecuado para la conservación de diversos productos agrícolas, el desarrollo de nuevas tecnologías como big data, machine learning, robótica e inteligencia artificial ha permitido a las empresas agrícolas optimizar su producción, mejorar la calidad de sus productos, ahorrar costos y tiempo en sus fábricas, en el presente trabajo, se muestra el diseño de un sistema inteligente para inspeccionar el flujo de información de una red modbus mediante lógica difusa en sistemas agroindustriales, con el fin de detectar problemas y corregirlos antes de que pueda ocurrir algún daño significativo en los productos agrícolas almacenados en bodegas como parte de la postcosecha, el sistema está basado en el microcontrolador ESP32 el cual en su interior implementa un algoritmo de lógica difusa del tipo mamdani con 5 reglas de inferencia difusa, el cual se probó con diferentes combinaciones de posibilidades de la ocurrencia de un error logrando una detección del 98%.

Palabras clave: Automatización, Sistema Agroindustrial, Lógica Difusa.

Abstract

Agri-food security is essential for sustainable development, for which the United Nations promotes the 2030 agenda, a fundamental factor to achieve agri-food security is post-harvest management, which allows us the proper management for the conservation of various agricultural products, the development of new technologies such as big data, machine learning, robotics and artificial intelligence has allowed agricultural companies to optimize their production, improve the quality of their products, save costs and time in their factories, in the present work, the design of an intelligent system to inspect the information flow of a modbus network through fuzzy logic in agro-industrial systems, in order to detect problems and correct them before any significant damage can occur in agricultural products stored in warehouses as part of the post-harvest, The system is based on the ESP32 microcontroller which inside implements a fuzzy logic algorithm of the mamdani type with 5 fuzzy inference rules, which was tested with different combinations of possibilities of the occurrence of an error, achieving a detection of 98%.

Keywords: Automation, Agroindustrial System, Fuzzy Logic.

Introducción

Debido al mandato dado por Naciones Unidas de que la Agenda 2030 debe ser implementada de inmediato como una herramienta para el desarrollo sostenible, las alianzas regionales se convierten en el mecanismo de acción más efectivo para lograrlo. Factores como el cambio climático, la migración a los centros urbanos, la escasez de agua, los modelos agrícolas insostenibles han reducido la necesidad de producción agrícola para satisfacer las necesidades de la población. Esto unido a la pobreza y desnutrición de la población. La Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2019) analiza esta situación a nivel mundial y revela que más de 820 millones de personas en el mundo padecen hambre y casi 2 mil millones padecen inseguridad alimentaria. También se estima que “casi 1.900 millones de personas en todo el mundo sufrieron inseguridad alimentaria moderada o severa en el trienio 2016-2018” (Gonzales y Torres, 2022). En este sentido, el ODS N° 2 “Hambre Cero” establece como meta final la eliminación del hambre para el 2030, lo cual es un desafío mayor para América Latina por la desigualdad, la pobreza y la inestabilidad política, así como por la coyuntura económica. La crisis determina las posibilidades de su realización (Ruiz, Nariño y Dalis, 2022).

Un factor fundamental para conseguir la seguridad agroalimentaria, es el manejo postcosecha, lo que nos permite el manejo adecuado para la conservación de diversos productos agrícolas, con el fin de determinar la calidad y su posterior comercialización o consumo (Verdugo, Peñuelas, Argente, Leyva y González, 2021). El desarrollo de la tecnología ha permitido mejorar las herramientas y técnicas de procesamiento postcosecha (Gavin, Barzallo, Vera y Lazo, 2021), una de las herramientas más importantes en la industria alimentaria es la automatización de procesos. (Treviño, 2022; Hidalgo, 2021).

El desarrollo de nuevas tecnologías como big data, machine learning, robótica e inteligencia artificial ha permitido a las empresas agrícolas optimizar su producción, mejorar la calidad de sus productos, ahorrar costos y tiempo en sus fábricas, según los últimos análisis a nivel mundial (Reyes y Arrieta, 2019). La lógica difusa es una rama de la inteligencia artificial utilizada para toma de decisiones, controladores o clasificadores (Delgado, Paz, y Tupia, 2021; Martínez, Agostini y Martínez, 2021) algo fundamental a la hora de detectar problemas en diferentes áreas y utilizadas también en comunicaciones (Rocha y Gaytán, 2019). El desarrollo tecnológico en América latina está por debajo de la media internacional, lo que disminuye la posibilidad de implementar estas tecnologías en países en vías de desarrollo (Kantis y Angelelli, 2020).

En México existen sectores industriales que implementan tecnologías extranjeras, adaptadas, pero no diseñadas para el problema que se intenta resolver (Alarcón 2018).

Este trabajo presenta el diseño de un sistema inteligente para inspeccionar el flujo de información de una red modbus mediante lógica difusa en sistemas agroindustriales, con el fin de detectar problemas y corregirlos antes de que pueda ocurrir algún daño significativo en los productos agrícolas almacenados en bodegas como parte de la postcosecha.

Materiales y métodos

La importancia en la seguridad del óptimo funcionamiento de los controles de sistemas agroindustriales, tanto para monitorear, como para mejorar la eficiencia en el mantenimiento predictivo y correctivo, se diseñó un módulo de monitoreo de anomalías en las comunicaciones de dichos sistemas que permita la detección temprana y evitar pérdidas del producto almacenado.

El sistema consta de un módulo que se conecta a la red modbus del sistema de control, el cual contiene los sensores, actuadores y controladores instalados en las bodegas, su función es detectar las comunicaciones en la red, determinar que módulos dejaron de responder y monitorear la calidad de la señal, fundamental para predecir posibles fallas en un futuro, para eso se utiliza un algoritmo de lógica difusa para determinar la calidad en la señal. El sistema inteligente que se presenta contiene un módulo de comunicación externa inalámbrica wifi, que permite el monitoreo remoto a través de internet utilizando para esto un bróker remoto del protocolo MQTT que permite la comunicación con computadoras, tabletas o celulares (Figura 1).

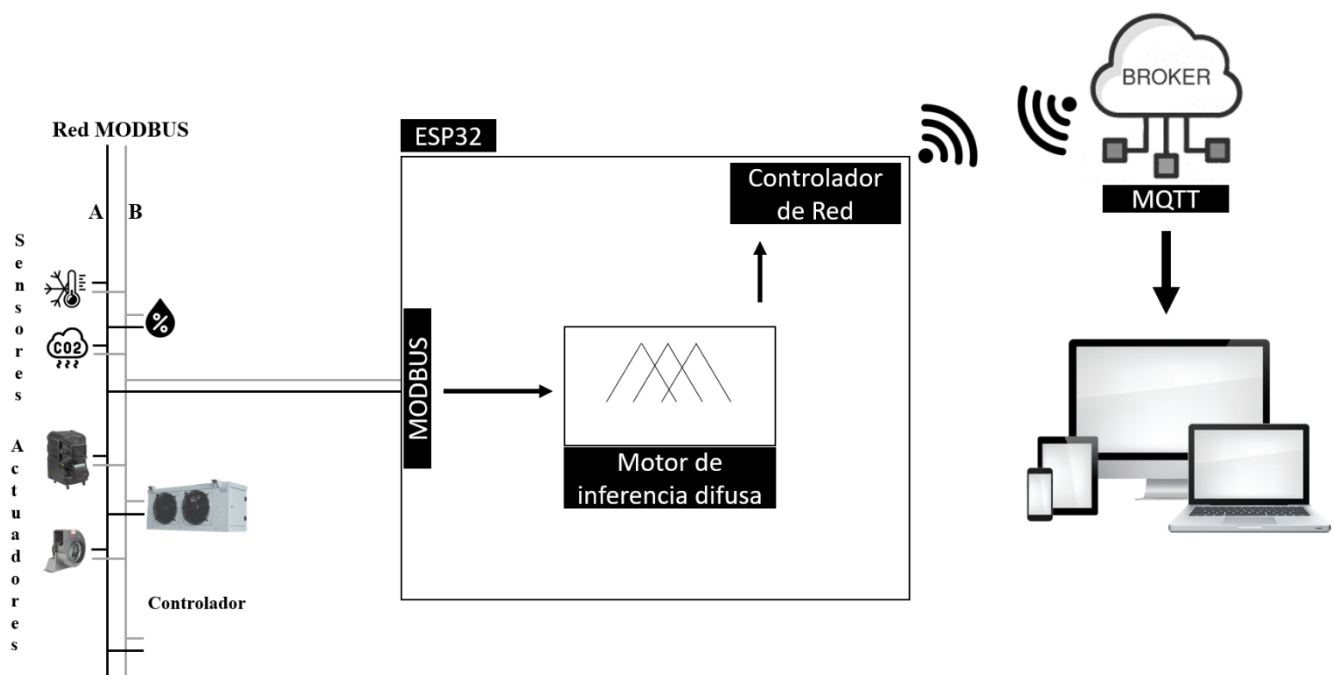


Figura 1. Diagrama del Sistema.

Hardware del sistema:

El hardware del sistema está constituido básicamente por 3 elementos: El controlador, modulo acoplador para RS-485 y la fuente de alimentación.

Controlador:

El controlador se basa en el microcontrolador ESP32, que es el nombre de una familia de chips SoC rentables y de bajo consumo con tecnología Wi-Fi y Bluetooth integrada de doble función. El ESP32 utiliza el microprocesador Tensilica Xtensa LX6 en sus versiones de núcleo único y doble, operando a 20 MHz y ofreciendo hasta 600 DMIPS, e incluye interruptores de antena de alta frecuencia, un amplificador de potencia, un amplificador de bajo ruido, filtros y módulos de señal, gestión energética (Forero, 2020), que se muestra en la Figura 2.

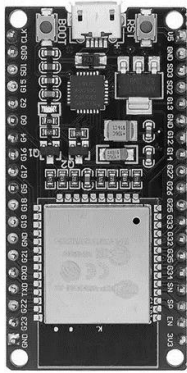


Figura 2. Microcontrolador ESP32.

El módulo incluye protección de cifrado de hardware, un coprocesador de bajo consumo e interfaces externas como: I2C, SPI, CAN, PWM, Además, logra un consumo de energía muy bajo gracias a funciones de ahorro de energía como la sincronización del reloj y múltiples sistemas operativos. Todo esto lo convierte en una herramienta ideal para proyectos de baterías o aplicaciones IoT.

El módulo tiene un coprocesador de potencia ultrabaja que se utiliza para la conversión de analógico a digital y otras funciones mientras el dispositivo está en modo de suspensión profunda de baja potencia. De esta forma, el SoC consigue un consumo de energía muy bajo. Estos procesadores ofrecen grandes ventajas típicas de un procesador de señal digital: frecuencia de operación: 20 MHz, permite realizar operaciones con números reales de manera muy eficiente y posibilita la multiplicación inmediata de números grandes, lo cual hace que este dispositivo sea el ideal para trabajar con sistemas inteligentes y sobre todo sistemas que requieran integración y alta confiabilidad, y sobre todo contenga interfaces que permitan la doble comunicación entre diferentes fuentes de datos.

Modulo Convertidor TTL - RS485:

El módulo convertidor TTL - RS485 es una interfaz de capa de comunicación física estándar, utilizado como método de señalización en la primera capa del modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI). Utiliza el protocolo RS485 el cual fue creado para extender las características físicas de la interfaz RS232 (Sawarno, 2021) y es un medio de transmisión de datos desde el módulo de recolección de datos hasta el sistema de control central. La longitud máxima del cable utilizado para la transmisión de datos con este módulo es de 1200 metros (Lu, 2022). La Figura 3 muestra el módulo max485.

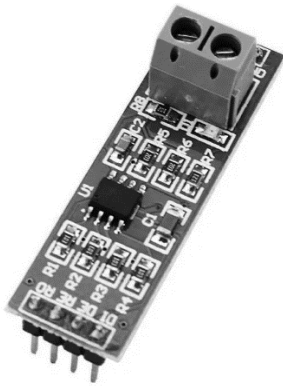


Figura 3. Modulo Convertidor TTL - RS485

Fuente de alimentación:

Como fuente de alimentación para el módulo de inspección se utilizó el dispositivo HLK-PM01, El cual tiene como voltaje de entrada 100-240 V de Corriente Alterna (CA) con un consumo de 0.1 A y una salida en corriente continua de 5V con una capacidad de corriente de 0.6 A (López, Hernández, Aguirre, Serrano, Rubio, Herrera y Rodríguez, 2021).

El módulo es ampliamente usado en diversos proyectos y aplicaciones como: hogares inteligentes, control de automatización, equipos de comunicación, instrumentos, y otras industrias (Jonathan y Putri, 2021). La Figura 4 muestra la fuente de alimentación HLK-PM01.



Figura 4. Fuente de alimentación HLK-PM01.

Firmware del sistema: El firmware (software embebido) fue desarrollado en el lenguaje de programación C con el framework ESP-IDF. La lógica y funcionamiento del firmware se muestran en el diagrama de flujo de la Figura 5.

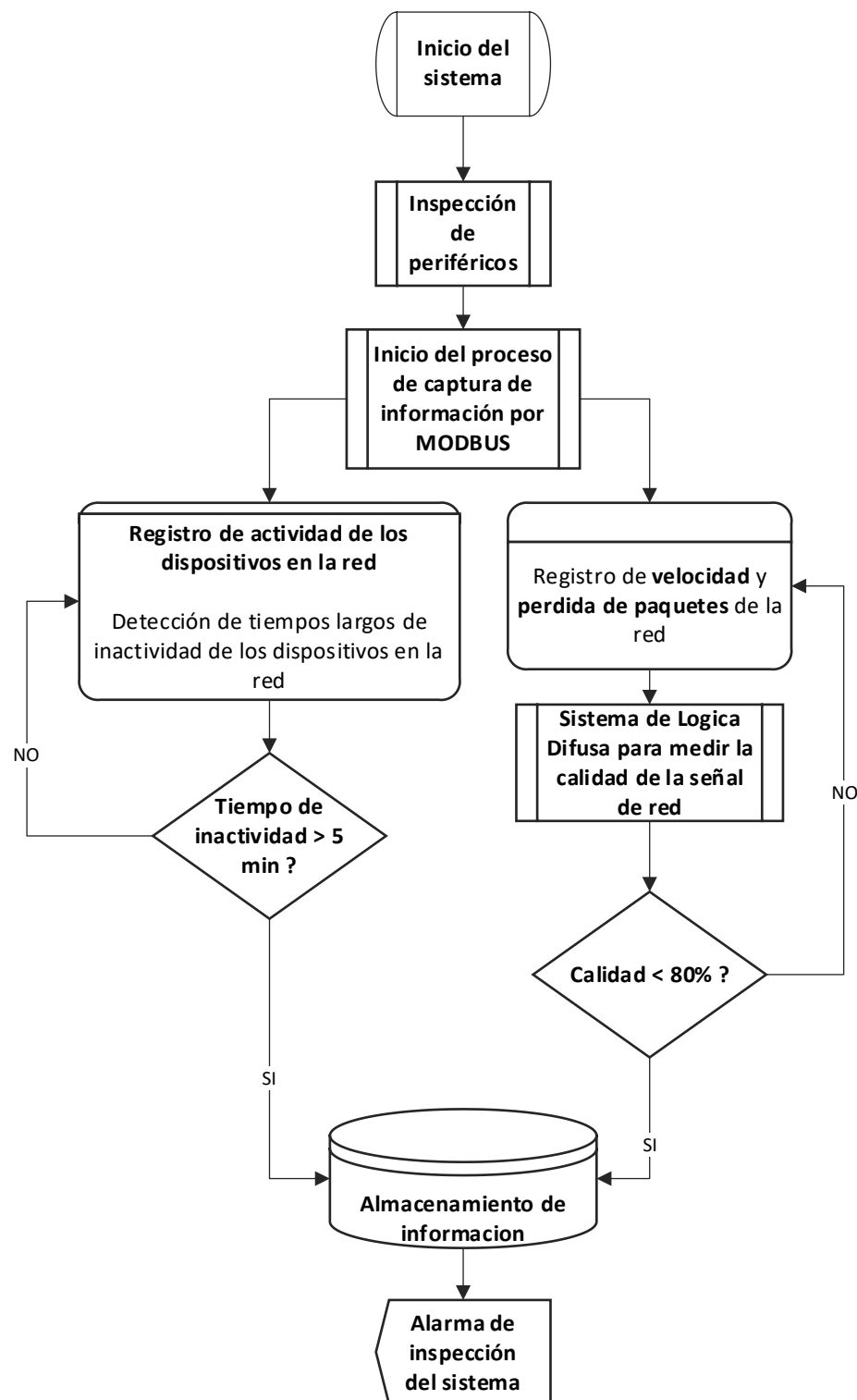


Figura 5. Algoritmo de funcionamiento del firmware de sistema.

En el diagrama de la figura 5, se muestran los puntos que se desarrollaron y la lógica para las tareas efectuadas por el sistema, las cuales se describen a continuación.

1- Inicio del sistema:

El sistema se energiza y ejecuta el firmware.

2- Inspección de los periféricos:

El sistema hace un recorrido de los periféricos para detectar el funcionamiento de cada una de las funciones.

3- Inicio del proceso de recolección:

El sistema inicia la función de activación de la red MODBUS para inspeccionar el flujo de la red.

4- Registro de actividad de los dispositivos en la red:

- El sistema registra los tiempos largos de inactividad de los dispositivos en la red. Si el tiempo es mayor a 5 min (tiempo configurable), genera un registro y lanza una alarma para inspección de la red.

5- Registro de velocidad y pérdida de paquetes de la red.

- El sistema genera un registro sobre la velocidad de la red, y el porcentaje, los cuales ingresan al sistema de lógica difusa para medir la calidad de señal, y en caso de que la señal se menor a 80% se crea un registro y activa una alarma de la inspección del sistema.

Sistema de lógica difusa para determinar la calidad de la red:

Para medir la calidad de la señal en la red se trabajo con dos factores la “velocidad de transferencia” y la “pérdida de paquetes”, y con base a esos dos factores se calcula la salida que se denota en la variable “calidad de transferencia”, esta relación puede observarse en la Figura 6.

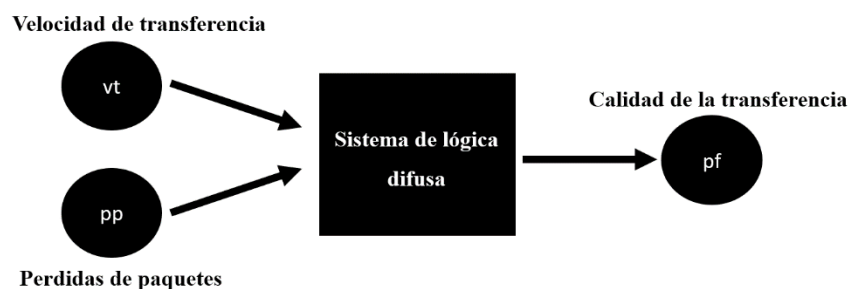


Figura 5. Diagrama para calcular la calidad de la transferencia de datos sobre la red.

Dicho algoritmo tiene como base un sistema de lógica difusa, con un motor de inferencia difusa del tipo Mamdani, con 2 entradas “Velocidad de transferencia (vt)” y “Perdidas de paquetes (pp)”, y con 5 reglas y una salida que indica la “calidad de la transferencia (pf)” que va desde 0 hasta 1.

En la figura 6 se muestran las gráficas que describen los niveles de membrecía de la variable de entrada “Velocidad de transferencia (vt)”, cuyos niveles son “lenta”, “media” y “rápida”, usando para ellos la función “trimf”.

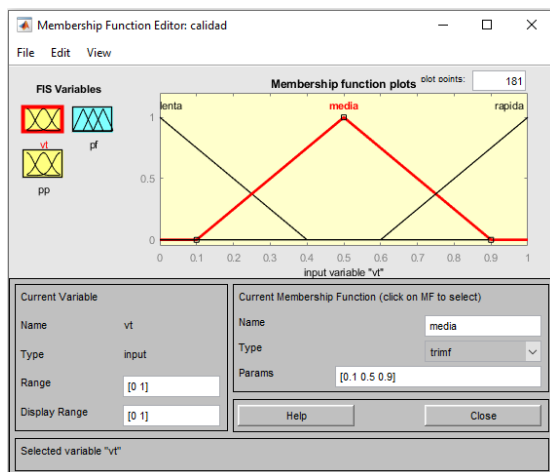


Figura 6. Niveles de membrecía de la variable de entrada “Velocidad de transferencia (vt)”.

En la figura 7 se muestran las gráficas que describen los niveles de membrecía de la variable de entrada “Perdidas de paquetes (pp)”, cuyos niveles son “alta”, “media” y “baja”, usando para ellos la función “gbellmf”.

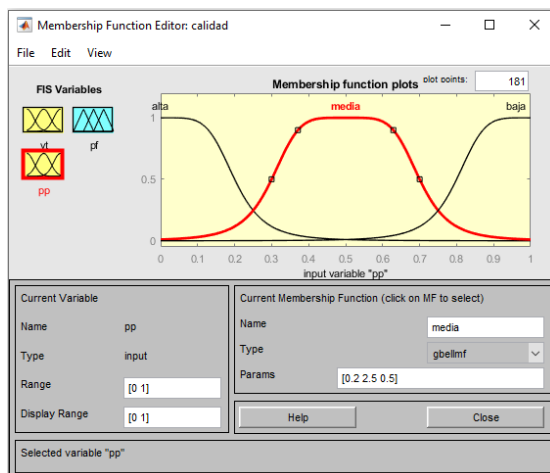


Figura 7. Niveles de membrecía de la variable de entrada “Perdidas de paquetes (pp)”.

Para la salida del sistema se utilizó la variable “calidad de la transferencia (pf)”. En la figura 8 se muestran las gráficas que describen los niveles de membrecía de la variable de salida “calidad de la transferencia (pf)”, cuyos niveles son “baja”, “intermedia” y “alta”, usando para ellos la función “trimf”.

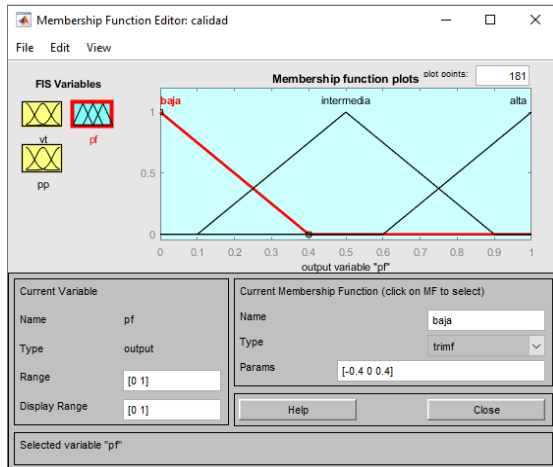


Figura 8. Niveles de membrecía de la variable de entrada “Perdidas de paquetes (pp)”.

Para crear la lógica que interrelacione las funciones de membrecía se utilizaron 5 Reglas de Inferencia Difusa, las cuales se muestran continuación:

Donde:

vt = Velocidad de transferencia

pp = Perdidas de paquetes

pf = Calidad de la transferencia

1. If (vt is lenta) and (pp is alta) then (pf is baja)
2. If (vt is lenta) and (pp is media) then (pf is intermedia)
3. If (vt is media) and (pp is media) then (pf is intermedia)
4. If (vt is rapida) and (pp is baja) then (pf is alta)
5. If (vt is media) and (pp is baja) then (pf is alta)

El diseño del sistema de lógica difusa se diseñó con el fuzzy toolkit de Matlab, se realizaron diferentes pruebas y posteriormente se implementó en el microcontrolador ESP32 con el lenguaje de programación C. Para la implementación en el microcontrolador se segmentó el código en 4 partes: la Fusificación, Implicación, Agregación y Defusificación.

Resultados y discusión

Como resultado del diseño del sistema, se realizaron 2 pruebas: Comparación de los resultados del diseño del sistema difuso en Matlab y los resultados de la implementación del sistema difuso en el microcontrolador ESP32, diagrama de salidas respecto a las posibles combinaciones de entrada.

- a) Resultado de la comparativa entre el diseño del sistema difuso en Matlab y la implementación del sistema difuso en el microcontrolador ESP32, los valores pueden observarse en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparativa entre el diseño del sistema difuso en Matlab y la implementación del sistema difuso en el microcontrolador ESP32.

vt	pp	Pf (Matlab)	Pf (Esp32)
0.80	0.80	0.90	0.90
0.10	0.40	0.50	0.49
0.34	0.67	0.49	0.48
0.65	0.81	0.91	0.91
0.83	0.75	0.85	0.85

Fuente: los Autores.

- b) Diagrama de salidas respecto a las posibles combinaciones de entrada.

Se realizó la combinación de las 2 variables de entrada con resoluciones de dos dígitos y se obtuvo el mapa de valores que se muestra en la Figura 8. En esta serie de combinaciones se determinó que existía un 98% de asertividad en el diseño y la implementación.

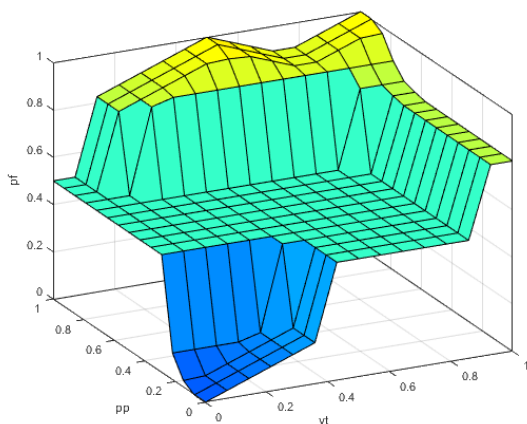


Figura 8. Mapa de comportamiento de la calidad de la señal de red respecto a la pérdida de paquetes y la velocidad de transferencia.

Conclusiones

El desarrollo del sistema inteligente para inspeccionar el flujo de información de una red modbus mediante lógica difusa en sistemas agroindustriales, presenta una herramienta que permite detectar anomalías en la transferencia de información, para agilizar la detección oportuna de posibles fallas que ayuden con el mantenimiento preventivo y correctivo de sistemas agroindustriales que cuenten con controladores basados en módulos de comunicación modbus.

La importancia de crear tecnología que ayude a mejorar los sistemas postcosecha es fundamental para apoyar a la tecnificación agroindustrial y ser mas competitivo respecto a otros países, pero sobre todo buscar técnicas y tecnologías que colaboren para conseguir la seguridad agroalimentaria.

Referencias bibliográficas

- Alarcón Osuna, M. A. (2018). Encadenamientos productivos y jerarquías de sectores de base tecnológica en México. *EconoQuantum*, 15(2), 73-94.
- Delgado, M., Paz, F., & Tupia, M. (2021). Sistemas de Lógica Difusa para la Evaluación de Usabilidad de Sitios Web de Gobierno Electrónico: Una Revisión Sistemática. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información*, (E41), 141-154.
- FAO. (2019). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2019. Protegerse frente a la desaceleración y el debilitamiento de la economía. 2019.
- Forero, H.H. (2020). Desarrollo de una red punto a punto con tecnología LoRa y servidor web [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional UCC. <http://hdl.handle.net/20.500.12494/20540>
- Gavin, C., Barzallo, D., Vera, H., & Lazo, R. (2021). Revisión bibliográfica: Etileno en poscosecha, tecnologías para su manejo y control. *Ecuadorian Science Journal*, 5(4), 163-178.
- González, A. L. P., & Torres, Y. S. (2022). SEGURIDAD ALIMENTARIA EN MÉXICO: del TLCAN hacia la agenda 2030. *Revista do CEDS*, 2(10).
- Hidalgo Castelo, F. M. (2021). Automatización del proceso de envasado de la pulpa de fruta para optimizar la producción en la Procesadora Agroindustrial Mis Frutales en la parroquia de San Luis de la ciudad de Riobamba.

- Jonathan, F., & Putri, T. W. O. (2021, August). Prototype of Home Power Monitoring Tool for Electrical Outlet Using ESP32. In 2021 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS) (pp. 1-5). IEEE.
- Kantis, H., & Angelelli, P. (2020). Emprendimientos de base científico-tecnológica en América Latina: Importancia, desafíos y recomendaciones para el futuro. Inter-American Development Bank.
- López-Alfaro, G. A., Hernández-Fernández, L. Á., Aguirre-Núñez, J. A., Serrano-Rubio, J. P., Herrera-Guzmán, R., & Rodríguez-Vidal, L. M. (2021, November). Smart IoT Device For Energy Consumption Monitoring In Real Time. In 2021 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC) (Vol. 5, pp. 1-6). IEEE.
- Lu, P. (2022, March). A transmission method of uncontrolled isolation RS485 communication. In Third International Conference on Electronics and Communication; Network and Computer Technology (ECNCT 2021) (Vol. 12167, pp. 196-200). SPIE.
- Martínez, J. T. F., Agostini, F., & Martínez, D. L. L. R. (2021). Gestión de procesos basado en lógica difusa con estrictos niveles de consenso. *International Journal of Information Systems and Software Engineering for Big Companies*, 7(1), 51-77.
- Reyes Betancourt, D., & Arrieta Pacheco, C. (2019). Sistema de medición automatizada de variables ambientales para agricultura de precisión con software libre.
- Rocha, B. J. E. D., & Gaitán, Á. (2019). Desarrollo de un Controlador Inteligente para Aires Acondicionados Utilizando Lógica Difusa y Comunicación Infrarroja IR.
- Ruiz, Y. D., Nariño, O. S., & Delis, M. V. (2022). Seguridad alimentaria familiar, cuidado y brechas de género: retos para la soberanía alimentaria en COVID-19. *Universidad y Sociedad*, 14(4), 117-124.
- Suwarno, D. U. (2021, October). SISTEM MONITORING UNTUK BERBAGAI VARIABEL ELEKTRONIS MENGGUNAKAN PROTOKOL MODBUS DAN KOMUNIKASI RS485. In *Prosiding Seminar Nasional Riset dan Teknologi Terapan (Ritektra)* (pp. C3-C3).
- Triviño, T. E. M. (2022). Automatización de los troles de cable guía de florícola Greenrose (Bachelor's thesis, CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS FACULTAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA).
- Verdugo, F. A., Peñuelas, R. O., Argente, M., L., Leyva, P. J. A., & González, A., J. (2021). Algunas consideraciones sobre el manejo poscosecha de la zanahoria. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 7(1).