

Monitoreo de los Cambios Fisicoquímicos durante la Fermentación Cervecera mediante un Sistema Inteligente Basado en IoT

Monitoring of Physicochemical Changes During Beer Fermentation Using an Intelligent IoT-Based System

Dylan Marcelo Chacha Tene¹, Hector Gonzalo Palacios Leon², Karina Gabriela Salazar Llangari³, Diego Ramiro Ñacato Estrella⁴

Cita:

Chacha Tene, D. M., Palacios Leon, H. G., Salazar Llangari, K. G., & Ñacato Estrella, D. R. (2026). Monitoreo de los Cambios Fisicoquímicos durante la Fermentación Cervecera mediante un Sistema Inteligente Basado en IoT. TESLA Revista Científica, 6(1), e683. <https://doi.org/10.55204/trc.v6i1.e683>

Recibido: 2026-01-19

Revisado: 2026-02-02 al 2026-02-18

Corregido: 2026-03-01

Aceptado: 2026-03-04

Publicado: 2026-03-08

Licencia:

Los contenidos de este artículo están bajo una licencia de Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Los autores conservan los derechos morales y patrimoniales de sus obras.

The contents of this article are under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license. The authors retain the moral and patrimonial rights of their works.

Editor: [Nombre del editor asociado]

^{1,2,3,4} Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica. Edificio de Ciencias Básicas. EC 060150. Riobamba – Chimborazo – Ecuador

¹ dylan.chacha@esPOCH.edu.ec, ² hector.palacios@esPOCH.edu.ec, ³ gabriela.salazar@esPOCH.edu.ec, ⁴ diego.nacato@esPOCH.edu.ec

³ ORCID: 0009-0003-9427-5389, ⁴ ORCID: 0000-0002-7233-9076

Resumen: Este estudio analiza el problema identificado en la Cervecería Artesanal NEFER de la ciudad de Riobamba, donde la gestión manual de los sistemas de enfriamiento generaba variaciones críticas de temperatura de hasta $\pm 4^{\circ}\text{C}$ durante la fermentación, comprometiendo así la calidad del producto. A diferencia de los enfoques básicos de automatización, se adoptó el marco de Industria 4.0 para permitir la trazabilidad de datos, la escalabilidad y el monitoreo remoto, elementos clave para la toma de decisiones basadas en métricas en tiempo real. La metodología incorporó un sistema basado en un PLC Wecon y sensores Pt100, cuya robustez fue validada mediante pruebas operativas continuas durante los ciclos de producción. Los resultados demuestran un alto nivel de validación del sistema, manteniendo la estabilidad de la temperatura dentro del rango requerido de 3°C a 20°C , con una desviación máxima de solo $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$. Esto redujo significativamente el impacto del error humano, que anteriormente representaba una tasa de fallos del 15 % en el control de válvulas. Por lo tanto, la transición hacia tecnologías IIoT no solo garantiza la estandarización de los lotes, sino que también proporciona a los productores un control total en tiempo real de las operaciones de su planta, transformando los procesos manuales en un sistema inteligente, técnico y escalable.

Palabras clave: Fermentación de la cerveza - Control de temperatura - Automatización industrial.

Abstract: This study analyzes the problem identified at the NEFER Craft Brewery in Riobamba city, where manual management of the cooling systems led to critical temperature variations of up to $\pm 4^{\circ}\text{C}$ during fermentation, thereby compromising product quality. Unlike basic automation approaches, the Industry 4.0 framework was adopted to enable data traceability, scalability, and remote monitoring, key elements for decision-making based on real-time metrics. The methodology incorporated a system based on a Wecon PLC and Pt100 sensors, whose robustness was validated through continuous operational testing during production cycles. The results demonstrate a high level of system validation, maintaining temperature stability within the required 3°C to 20°C range, with a maximum deviation of only $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$. This significantly reduced the impact of human error, which previously accounted for a 15 % failure rate in valve control. Therefore, the transition to IIoT technologies not only ensures batch standardization but also provides producers with full real-time control of their plant operations, transforming manual processes into an intelligent, technical, and scalable system.

Keywords: Beer fermentation - Temperature control - Industrial automation.

INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria global ha experimentado una significativa evolución tecnológica en los últimos años, impulsada por la necesidad de estandarización de procesos y aseguramiento de la calidad del producto. En el sector cervecero, mantener características sensoriales consistentes como el sabor y el aroma es esencial para la competitividad del producto y el reconocimiento de la marca.

Desde una perspectiva técnica, la fermentación es una de las etapas más críticas en la producción de cerveza. Este proceso bioquímico implica que la levadura convierta azúcares en alcohol y dióxido de carbono, y es altamente sensible a las variaciones de temperatura. Incluso pequeñas desviaciones pueden afectar negativamente el metabolismo de la levadura, generando subproductos no deseados y una calidad inconsistente del producto.

En entornos industriales, el control de temperatura generalmente se gestiona mediante sistemas avanzados de automatización y supervisión. Sin embargo, en el contexto de las cervecerías artesanales, muchos procesos aún dependen de supervisión manual o de sistemas de control aislados. Esta falta de integración limita el monitoreo en tiempo real, reduce la eficiencia del proceso y aumenta la probabilidad de error humano.

Este problema es evidente en cervecerías de pequeña escala, donde pueden ocurrir fluctuaciones de temperatura de hasta ± 4 °C debido a la operación manual de los sistemas de enfriamiento. Además, la ausencia de monitoreo centralizado restringe la trazabilidad de los datos y retrasa la toma de decisiones, impactando directamente la consistencia de la producción.

Para abordar estas limitaciones, este trabajo propone el diseño e implementación de un sistema embebido con capacidades de Internet Industrial de las Cosas (IIoT) para el monitoreo y control de temperatura en tiempo real durante la fermentación de cerveza. El sistema propuesto permite la supervisión remota, mejora la estabilidad de la temperatura y aumenta la eficiencia del proceso, contribuyendo a la modernización de la producción de cerveza artesanal dentro del paradigma de la Industria 4.0.

TRABAJO RELACIONADO

Más estudios han abordado la automatización de los procesos de producción de cerveza utilizando controladores lógicos programables (PLC) y sistemas de control industrial. Estos enfoques tienen como objetivo mejorar la eficiencia del proceso, garantizar la calidad del producto y reducir la intervención humana.

Reyes Palma desarrolló un sistema automatizado de control para el proceso cervecero, enfocándose en las etapas de cocción y whirlpool. El sistema utilizó un PLC para procesar datos de sensores de temperatura y nivel, permitiendo el control de actuadores para optimizar el tiempo de producción y la calidad [1].

De manera similar, Brito y Galarza implementaron un sistema que integra un PLC con una interfaz hombre-máquina (HMI) y un microcontrolador para gestionar sensores de temperatura, bombas y válvulas. Sus resultados demostraron que la automatización contribuye a mantener condiciones óptimas del proceso y mejorar la consistencia del producto [2].

A nivel internacional, Melgarejo Sandoval propuso un sistema automatizado de elaboración de cerveza utilizando un PLC Siemens S7-1200 con monitoreo y control basados en HMI. El sistema gestionó variables como temperatura y volumen en diferentes etapas de producción, logrando mejoras en la calidad del producto y la confiabilidad del proceso [3].

Aunque estos trabajos demuestran los beneficios de la automatización en los procesos cerveceros, la mayoría de las implementaciones se enfocan en sistemas de control local sin incorporar tecnologías de Internet Industrial de las Cosas (IIoT). En consecuencia, carecen de monitoreo remoto en tiempo real, trazabilidad de datos y características de escalabilidad requeridas en los entornos modernos de la Industria 4.0.

En contraste, el sistema propuesto integra control embebido con comunicación IIoT, permitiendo supervisión en tiempo real y acceso remoto a las variables del proceso. Este enfoque no solo mejora la estabilidad de la temperatura, sino que también incrementa la eficiencia operativa y las capacidades de toma de decisiones en la producción de cerveza artesanal.

METODOLOGÍA

3.1 Arquitectura del sistema

El sistema propuesto se basa en una arquitectura embebida que integra hardware de control industrial con comunicación de Internet Industrial de las Cosas (IIoT) para permitir el monitoreo y control de temperatura en tiempo real en procesos de fermentación de cerveza.

La arquitectura está estructurada en tres capas principales: adquisición de datos, control y supervisión. En la capa de adquisición de datos, se utilizan sensores de temperatura Pt100 con una configuración de tres hilos para garantizar una alta precisión de medición en cada fermentador. Estos sensores están conectados a módulos RTD, los cuales convierten las variaciones de resistencia en señales digitales que pueden ser procesadas por el controlador lógico programable (PLC) [8, 9].

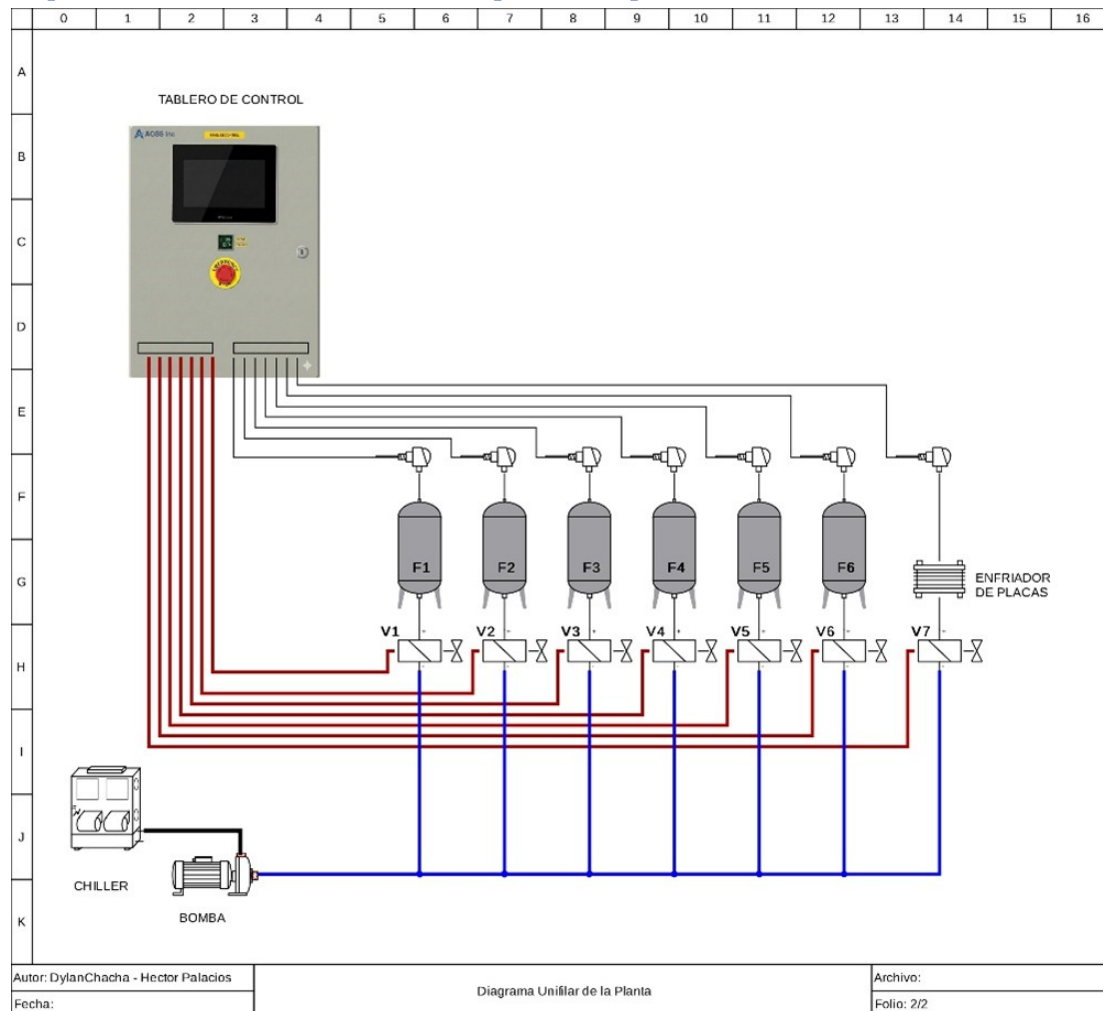
La capa de control está centrada en un PLC, que actúa como la unidad principal de procesamiento. Este recibe los datos de temperatura de los sensores y ejecuta la lógica de control para regular el proceso de enfriamiento. Las salidas del PLC están conectadas a válvulas solenoides que controlan el flujo del

refrigerante a través de los tanques de fermentación.

La capa de supervisión incluye tanto una interfaz hombre-máquina (HMI) local como una plataforma de monitoreo remoto. La HMI permite a los operadores visualizar las variables del proceso y configurar parámetros de control, mientras que una puerta de enlace IIoT permite la transmisión de datos desde el PLC hacia una plataforma basada en la nube para monitoreo remoto (véase Fig. 1).

Figura 1

Arquitectura del sistema de control de temperatura implementado



Fuente: Chacha-Palacios, 2025

3.2 Estrategias de control

La estrategia de control de temperatura se basa en un algoritmo de control ON-OFF con histéresis. Este método fue seleccionado debido a su simplicidad, confiabilidad y adecuación para aplicaciones industriales donde se requiere un control preciso pero estable.

El controlador compara continuamente la temperatura medida con un punto de ajuste predefinido. Cuando la temperatura supera el umbral superior, el sistema de enfriamiento se activa mediante la apertura de la válvula solenoide correspondiente. Por el contrario, cuando la temperatura desciende por debajo del umbral inferior, la válvula se cierra [5].

La inclusión de histéresis evita la conmutación rápida de los actuadores, reduciendo el desgaste mecánico y mejorando la estabilidad del sistema. Este enfoque garantiza que la temperatura permanezca dentro de un rango aceptable sin requerir algoritmos de control complejos (véase Fig. 2).

Configuración del hardware y conexiones de señales del sistema de control

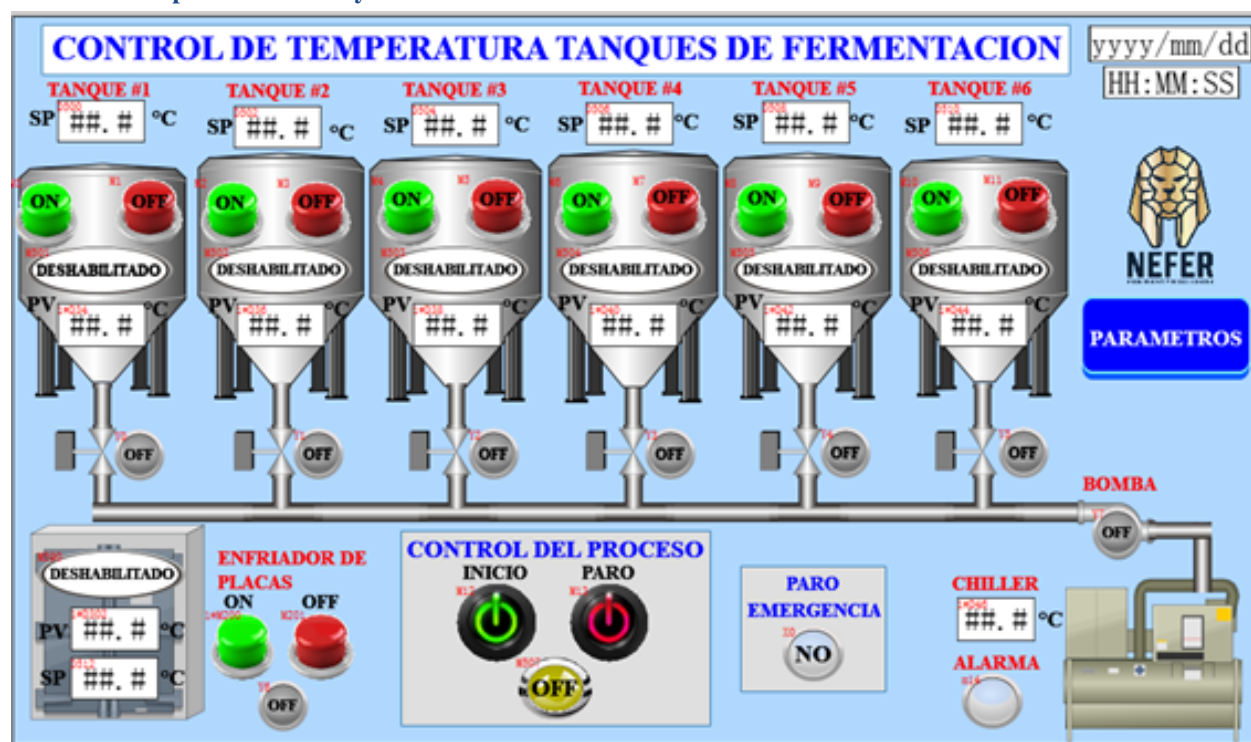


Para permitir la supervisión remota, el sistema integra una puerta de enlace IIoT que facilita la comunicación entre el PLC y una plataforma basada en la nube. La comunicación se establece utilizando protocolos industriales sobre Ethernet, permitiendo la transmisión de datos en tiempo real.

La integración de tecnologías IIoT mejora la trazabilidad de los datos, incrementa la visibilidad del proceso y respalda la implementación de conceptos de Industria 4.0 en entornos de producción cervecera a pequeña escala (véase Fig. 3).

Figura 3

Interfaz HMI para monitoreo y control local



Fuente: Chacha-Palacios, 2025

La plataforma de monitoreo remoto se presenta en la Fig. 4.

Figura 4

Plataforma basada en la web para la supervisión remota del proceso de fermentación



Fuente: Chacha-Palacios, 2025

RESULTADOS Y DISCUSIONES

El rendimiento del sistema embebido basado en IIoT propuesto fue evaluado bajo condiciones reales de operación en un entorno de cervecería artesanal. La validación se centró en la estabilidad de la temperatura, la precisión del control, la capacidad de respuesta del sistema y el impacto de la automatización en la eficiencia del proceso.

El sistema implementado mantuvo exitosamente la temperatura de fermentación dentro de un rango controlado entre 3 °C y 20 °C, dependiendo del tipo de cerveza producida. Los resultados experimentales indican que el sistema alcanzó una desviación máxima de ± 0.2 °C respecto al punto de ajuste deseado, representando una mejora significativa en comparación con el enfoque de control manual, donde se registraron

fluctuaciones de temperatura de hasta ± 4 °C.

Una comparación cuantitativa entre la operación manual y automatizada se presenta en la Tabla 1. Los resultados muestran claramente que el sistema propuesto reduce la variabilidad, minimiza la intervención humana y mejora la estabilidad general del proceso.

Tabla 1

Comparación entre el control manual y automatizado de temperatura

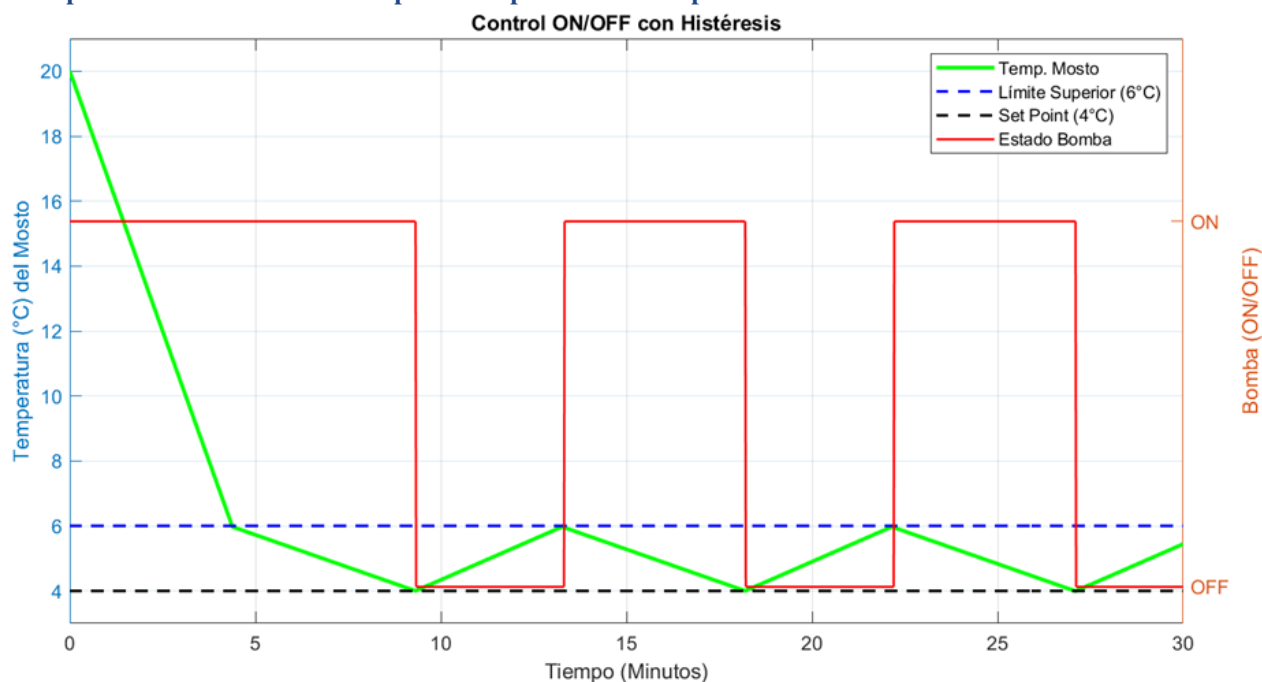
Parametro	Sistema manual	Sistema propuesto
Temperatura desviación	± 4 °C	± 0.2 °C
Intervención humana	Alta	Baja
Estabilidad de proceso	Baja	Alta
Monitoreo	Local	Local + Remoto
Tasa de error	~15 %	Reduced

Nota: Elaboración propia a partir de los resultados del estudio.

Además, una vista más detallada del comportamiento del control puede observarse en la Fig. 5, donde los ciclos de activación y desactivación del sistema de enfriamiento están correlacionados con las variaciones de temperatura. Esto confirma que el control ON–OFF con histéresis proporciona una solución confiable y robusta para este tipo de aplicación industrial.

Figura 5

Comportamiento del control o respuesta ampliada de la temperatura

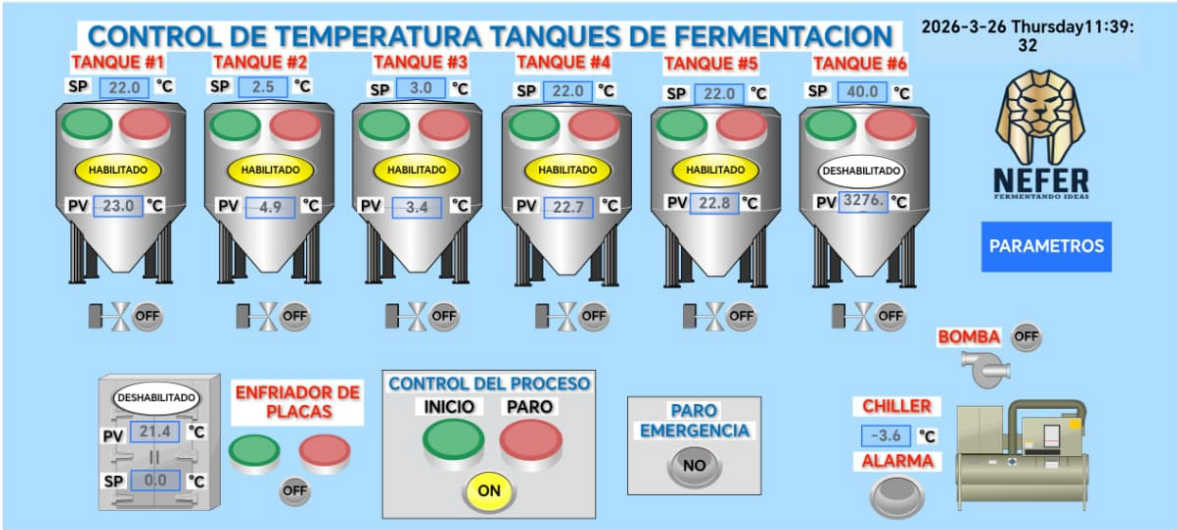


Fuente: Chacha-Palacios, 2025

Desde una perspectiva operativa, la implementación del sistema automatizado redujo significativamente el error humano asociado con la operación manual de válvulas. Con base en las observaciones realizadas durante la fase de validación, se estima que los errores por intervención manual disminuyeron aproximadamente un 15 %, lo que condujo a condiciones de fermentación más consistentes y a una mejora en la calidad del producto.

La integración de la plataforma IIoT permitió el monitoreo continuo en tiempo real de las variables del proceso. Como se muestra en la Fig. 6, los operadores pueden acceder a datos de temperatura, estado del sistema y parámetros de control a través de una interfaz basada en la web. Esta capacidad mejora la visibilidad del proceso y permite la supervisión remota, lo cual es particularmente beneficioso para cervecerías de pequeña escala con personal limitado.

Figura 6
Plataforma web/panel de control de la tesis



Fuente: Chacha-Palacios, 2025

Además, el sistema demostró un rendimiento confiable en la comunicación entre el PLC y la plataforma remota. La latencia observada en la transmisión de datos fue mínima, garantizando actualizaciones casi en tiempo real de las variables del proceso. Una comparación de los tiempos de respuesta entre el monitoreo local mediante HMI y el acceso remoto vía web se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2
Comparación de tiempos de respuesta entre interfaces de monitoreo

Interface	Sistema manual
HMI (local)	Inmediata
Plataforma web	Baja latencia (<1 s)

Nota: Elaboración propia a partir de los resultados del estudio.

Los resultados indican que el sistema proporciona capacidades eficientes de monitoreo sin comprometer la capacidad de respuesta. La HMI local ofrece control instantáneo, mientras que la plataforma web garantiza accesibilidad y flexibilidad para la supervisión remota.

En general, la validación experimental confirma que el sistema propuesto mejora la precisión del control de temperatura, incrementa la estabilidad del proceso, reduce los errores operacionales y permite capacidades avanzadas de monitoreo mediante la integración IIoT. Estas mejoras contribuyen a la modernización y escalabilidad de los procesos de fermentación de cerveza artesanal.

CONCLUSIÓN

Este trabajo presentó el diseño e implementación de un sistema embebido basado en IIoT para el monitoreo y control de temperatura en procesos de fermentación de cerveza artesanal. La solución propuesta integra hardware de control industrial con tecnologías de comunicación en tiempo real, permitiendo una operación automatizada y supervisión remota.

Los resultados experimentales demostraron que el sistema mejora significativamente la estabilidad de la temperatura, alcanzando una desviación máxima de $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en comparación con los $\pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ observados en la operación manual. Esta mejora contribuye directamente al mantenimiento de condiciones óptimas de fermentación y a la mejora de la calidad del producto.

Además, la implementación del sistema automatizado de control redujo la intervención humana y minimizó los errores operacionales asociados con la manipulación manual de válvulas. La integración de una plataforma IIoT permitió el monitoreo continuo y el acceso remoto a las variables del proceso, mejorando la toma de decisiones y la eficiencia operativa.

En general, el sistema propuesto representa una solución rentable y escalable para la modernización de

procesos de producción cervecera a pequeña escala dentro del contexto de la Industria 4.0. Los trabajos futuros pueden enfocarse en la implementación de estrategias avanzadas de control y técnicas de análisis de datos para optimizar aún más el proceso de fermentación y habilitar capacidades predictivas.

AGRADECIMIENTOS (OPCIONAL)

No se especifican agradecimientos en el manuscrito original. Completar por la editorial o autores si corresponde.

FINANCIACIÓN (Obligatorio)

Información no incluida en el manuscrito original. Los autores deben declarar la fuente de financiación de su investigación o indicar expresamente que la investigación no tuvo financiamiento.

CONFLICTO DE INTERESES (Obligatorio)

Información no incluida en el manuscrito original. Los autores deben declarar si existen o no conflictos de intereses relacionados con su investigación.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA (Obligatorio)

Información no incluida en el manuscrito original. En concordancia con la taxonomía CRediT (<https://credit.niso.org/>), los autores deben completar la siguiente matriz.

Tabla 3
Contribución de autoría según taxonomía CRediT

Participar activamente en:	Autor 1	Autor 2	Autor 3	Autor 4
Conceptualización				
Análisis formal				
Adquisición de fondos				
Investigación				
Metodología				
Administración del proyecto				
Recursos				
Redacción – borrador original				
Redacción – revisión y edición				
La discusión de los resultados				
Revisión y aprobación de la versión final del trabajo				

Nota: Marque con una X la participación de cada autor según corresponda.

REFERENCIAS

1. Reyes Palma, V.S.: Sistema de control automatizado para proceso de cocción y whirlpool de la cerveza artesanal [Automated control system for brewing process during cooking and whirlpool stages]. Tesis de pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena (2020)

2. Brito Sanmartín, J.A., Galarza Calle, E.E.L.: Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control en los procesos de cocción y fermentación para la planta de producción de la cervecería artesanal Çuatro Ríos"[Design and implementation of a monitoring and control system for cooking and fermentation processes in a craft brewery]. Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana (2020)

3. Melgarejo Sandoval, R.J.: Automatizado del proceso de producción de cerveza artesanal utilizando parámetros de temperatura y volumen mediante PLC Siemens S7-1200 con monitoreo y control por HMI [Automation of craft beer production process using temperature and volume parameters with Siemens S7-1200 PLC and HMI-based monitoring and control]. Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma (2021)

4. Rivera, K.D.M., Torres, M.A.R.: Implementación de un sistema automatizado para el ensamblaje de dos cuerpos base–tapa–pasador con control IIoT utilizando una pasarela WECON V-BOX [Implementation of an automated system for assembly processes with IIoT control using a WECON V-BOX gateway] (2023)

5. Siemens: SIMATIC Controller. Siemens Global (2025)

6. Siemens: SIMATIC IOT2000. Siemens Global (2025)

7. Craggs, I.: Understanding the Differences between MQTT and WebSockets for IoT. HiveMQ (2022)

8. NI (National Instruments): Measuring temperature with thermocouples, RTDs and thermistors (2024)

9. Dewesoft: How to measure temperature using RTD sensors (2025)

10. Plant Engineering: Temperature control basics (2025)