

Desarrollo e implementación de un software utilizando sistemas embebidos para el proceso de fermentación de Cacao y su monitoreo remoto a través de Web

W. Ipanaqué¹, I. Belupú¹, J. Castillo¹, J. Salazar¹

(1) Facultad De Ingeniería, Dpto. de Electrónica y Automática, Universidad de Piura, Piura, Perú

RESUMEN

Se presenta el desarrollo de un software embebido aplicado al proceso de fermentación de Cacao. Se diseñó prototipos equipados con sensores que registran las variables de temperatura, oxígeno y dióxido de carbono durante el proceso y envían esta información a Internet. Finalmente se ha desarrollado un sistema Web que recibe la información y a través de gráficas monitorea y analizar el proceso en tiempo real.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas embebidos cobran importancia al ser dispositivos electrónicos que pueden programarse para aplicaciones puntuales, entre sus características más importantes están: operar con pequeñas cantidades de memoria, poseer algún protocolo de comunicación y requerir un bajo consumo de energía. En este trabajo el sistema implementado tiene la tarea de registrar algunos de los parámetros del proceso de fermentación de Cacao [4, 5]. A través de este sistema es posible evaluar el comportamiento durante el proceso y con ello permitir que los usuarios relacionados con este sector puedan tomar mejores decisiones. El objetivo es conectar a la nube equipos prototipo implementados con sensores [6] de temperatura, CO₂, oxígeno, para medir variables que afectan al proceso de fermentación de Cacao. Los equipos utilizados registran la información de las diferentes fases del proceso y la envían en tiempo real a un sistema Web [7] que permite mostrar los datos adquiridos al usuario final.

DISEÑO DEL SISTEMA EMBEBIDO

Para realizar el monitoreo de los parámetros durante el proceso de fermentación se implementaron dos prototipos; el primer prototipo es utilizado para monitorear el proceso de fermentación en un módulo de madera durante un periodo de siete días y el segundo prototipo permite monitorear la fermentación de Cacao en un fermentador de acero inoxidable (figura 1). A este prototipo se le dotó de mayor robustez para que soporte las condiciones adversas propias que presenta la sala de fermentación, entre ellas: altas temperaturas, presencia de insectos, ambiente corrosivo y húmedo.



Fig. 1. Prototipos implementados

El prototipo para las cajas de madera está diseñado para monitorear la temperatura de forma local en la sala de fermentación y de forma remota desde un dispositivo electrónico con acceso a Internet. Los sensores de temperatura están instalados en tres niveles del cajón de madera (figura 2), además también se registra la temperatura de la sala de fermentación para poder determinar la influencia que tiene la temperatura ambiente sobre la masa de Cacao durante el proceso, los valores son mostrados en la interfaz gráfica del software desarrollado y enviados al sistema Web para la supervisión remota a través de Internet.

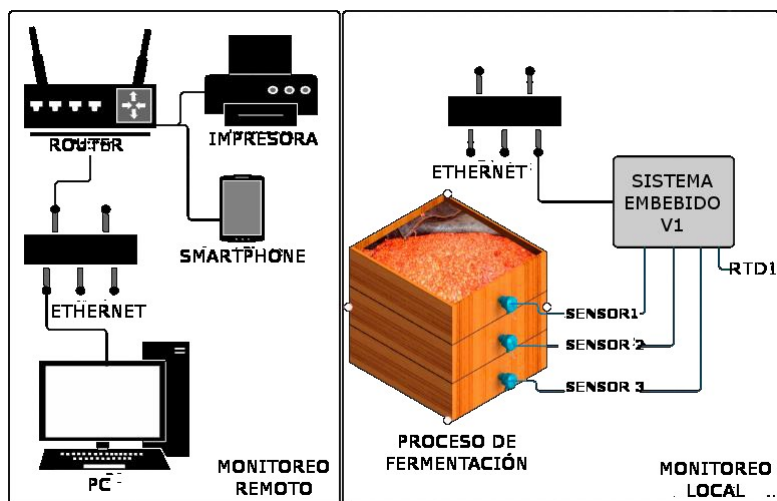


Fig. 2. Diseño del sistema para el prototipo en cajas de madera

El segundo prototipo está diseñado para trabajar junto a un módulo fermentador de acero inoxidable para Cacao, un tipo de fermentador distinto (figura 3). Este prototipo tiene como objetivo además de monitorear la temperatura en los tres niveles de la masa de Cacao, medir también los niveles de dióxido de carbono (CO₂) y de oxígeno (O) dentro del fermentador llevando un registro de estas medidas. En este prototipo se incluyó un variador de frecuencia dentro del tablero, ya que es necesario que el fermentador realice remociones periódicas a los granos de Cacao, esto se logra a través de un eje conectado a un moto-reductor eléctrico que gira a revoluciones muy bajas. Durante algunos experimentos con una masa de Cacao de 100 kg las remociones se realizaron cada 24 horas a una frecuencia de 13 Hz, lo que equivale a una velocidad de 7 RPM. Además cada remoción tuvo una duración de 3 minutos.

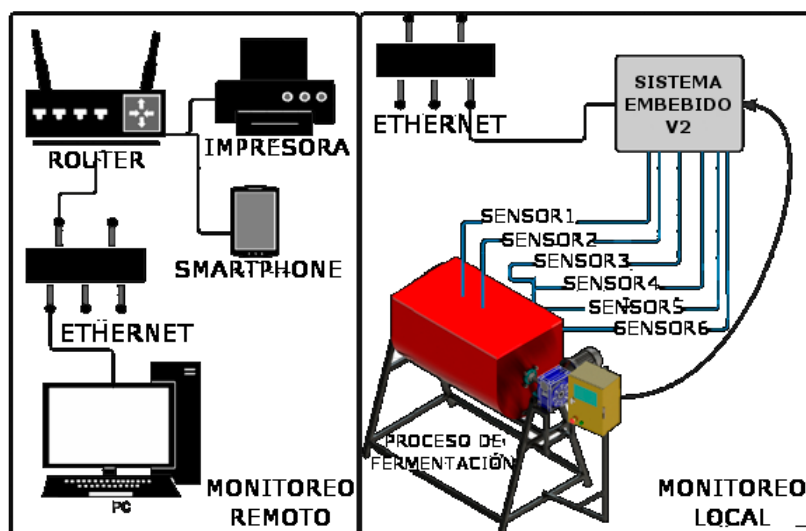


Fig. 3. Diseño del sistema para el prototipo en el fermentador de acero inoxidable

DESARROLLO DE APLICACIÓN WEB

Se ha desarrollado un sistema Web con formato adaptable para una correcta visualización de la página (figura 7) en distintos dispositivos electrónicos, con esto, el usuario pueda monitorear el proceso de fermentación desde la laptop, PC, tablet, Ipad, o smartphome.



Fig. 7. Vista principal del sistema Web

1) Esquema de funcionamiento: El sistema de monitoreo embebido se conecta con el sistema implementado en la Web a través de Internet (figura 8), para poder enviar los datos del proceso de fermentación y que el sistema Web pueda mostrarlos al usuario final.

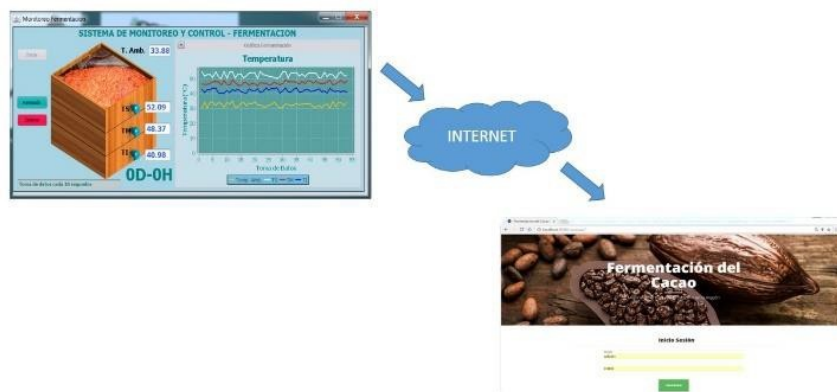


Fig. 8. Vista principal del sistema Web

2) Menú del sistema Web: El menú del sistema Web (figura 9) está formado por los siguientes ítems:

- Grupos de Fermentación: Donde se muestran los registros de los grupos que han pasado por el proceso de fermentación.
- Monitoreo en tiempo real: Donde se elige la caja para ver los valores (figura 10) y su gráfica de temperaturas en el tiempo (figura 11).
- Configuración del sistema: Donde se configura los parámetros a medir, el tipo de sensores utilizados en el sistema y el número de cajas (módulos de fermentación) existentes.



Fig. 9. Menú del sistema Web



Fig. 10. Visualización de parámetros en tiempo real en el sistema Web

La figura 11 muestra la gráfica de temperaturas generadas por el sistema Web.

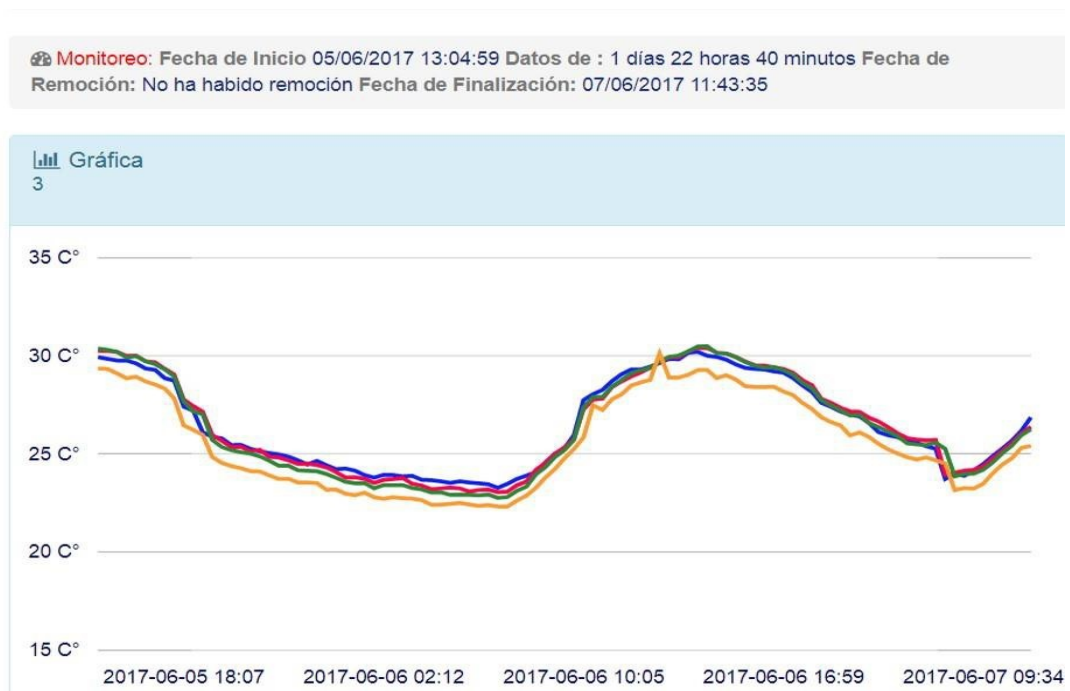


Fig. 11. Gráfica en tiempo real generada desde el sistema Web

PRUEBAS EXPERIMENTALES

En la figura 12 se muestra el registro de temperatura en un experimento, las diferentes líneas de colores indican la temperatura en un nivel del cajón; la línea punteada de color azul indica el valor de la temperatura ambiente; esta tiene importancia en este estudio porque nos permite evaluar la interferencia que tiene en el proceso de fermentación.

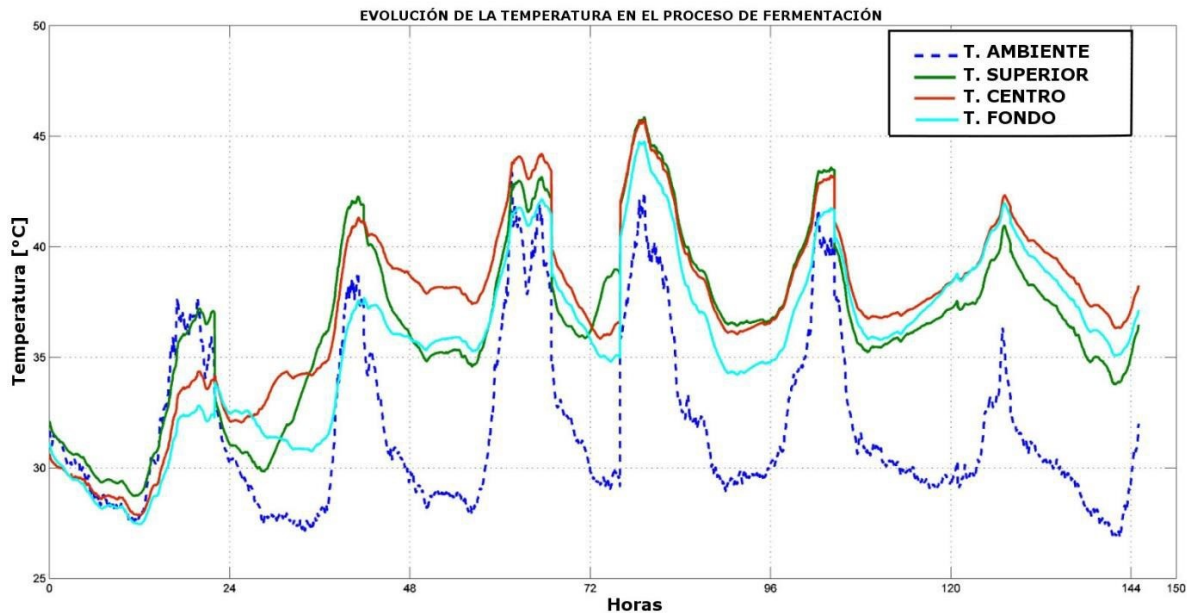


fig. 12. Evolución de la temperatura en tiempo real.

El oxígeno (O) y el dióxido de carbono (CO₂) fueron monitoreados (figura 13) para determinar indirectamente el crecimiento de ciertos microorganismos que intervienen en el proceso de fermentación.

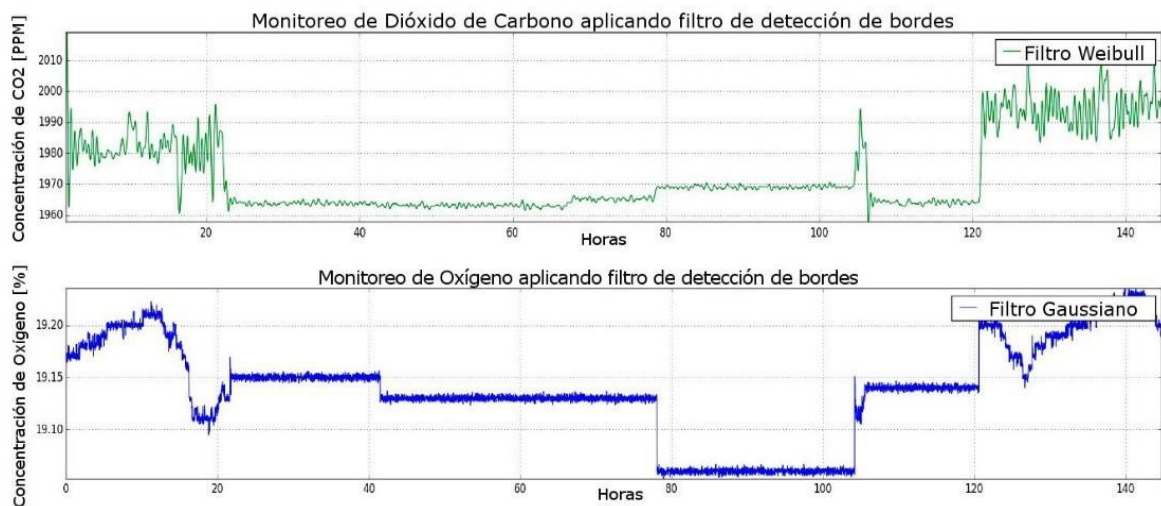


Fig. 13. Evolución del dióxido de carbono y oxígeno

Para la adquisición de estos datos se utilizó la plataforma basada en sistemas embebidos desarrollada en el Laboratorio de Sistemas Automáticos de control de la Universidad de Piura. Este sistema está

instalado en la sala de fermentación (figura 14) y permite reportar los datos obtenidos por medio de comunicación TCP/IP hacia Internet para almacenar los datos durante todo el proceso.



Fig. 14. Prototipo instalado en sala de fermentación

CONCLUSIONES

Se logró el objetivo de monitorear el proceso de fermentación de Cacao con los dos prototipos desarrollados. El primer prototipo es usado para monitorear el proceso en cajones de madera y el segundo prototipo para monitorear el proceso dentro de un fermentador de acero inoxidable. Además también se ha desarrollado un sistema Web para adquirir los datos del proceso local y mostrarlo a usuarios finales a través de Internet. Tanto el software embebido desarrollado como el sistema Web están hechos en el lenguaje de programación Java por la facilidad de este lenguaje de programación para interconectar aplicaciones diferentes.

Se ha logrado programar una aplicación embebida con un entorno intuitivo, se ejecuta de manera local y también tiene opciones para guardar la fecha de inicio, el número de remociones, y la fecha de finalización del proceso.

El software embebido se comunica con un sistema Web que se encarga de pedir la información de las temperaturas para poder mostrarlas a un usuario final a través de una página Web.

Se logró hacer un sistema con formato adaptable a pantallas de diversos dispositivos electrónicos con acceso a Internet. Esta comunicación es posible gracias a la arquitectura “cliente-servidor” que es un patrón muy común para enlazar dos sistemas independientes.

REFERENCIAS

- [1] Claudio M. de Farias, Italo C. Brito, Luci Pirmez Flávia C. Delicato, Paulo F. Pires, Taniro C. Rodrigues, Igor L. dos Santos, Luiz F.R.C. Carmo, Thais Batista, COMFIT: A development environment for the Internet of Things, *Future Generation Computer Systems*, Volume 75, 2017, Pages 128-144, ISSN 0167-739X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2016.06.031>.
- [2] W. Ipanaqué, J. Salazar and I. Belupú, "Implementation of an architecture of digital control in FPGA commanded from an embedded Java application," 2016 IEEE International Conference on Automatica (ICA-ACCA), Curico, 2016, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICA-ACCA.2016.7778495

- [3] Li, J., Guo, M., Gao, L. Application and innovation strategy of agricultural Internet of Things. *Gongcheng Xuebao/ Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 2015. 31, pp. 200-20931.
- [4] Juan Soto ; Guillermo Granda ; Flavio Prieto ; William Ipanaque ; Jorge Machacuay; Cocoa bean quality assessment by using hyperspectral images and fuzzy logic techniques . *Proc. SPIE 9534, Twelfth International Conference on Quality Control by Artificial Vision* 2015, 95340M (April 30, 2015); doi:10.1117/12.2182598.
- [5] J. M. Ruiz Reyes, J. Soto Bohorquez and W. Ipanaque, "Evaluation of spectral relation indexes of the Peruvian's cocoa beans during fermentation process," in *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, no. 6, pp. 2862-2867, June 2016. doi: 10.1109/TLA.2016.7555266
- [6] Julien Mineraud, Oleksiy Mazhelis, Xiang Su, Sasu Tarkoma. A gap analysis of Internet-of-Things platforms. *Computer Communications*, Volumes 89–90, 1 September 2016, Pages 5-16.
- [7] Miguel Castro, Antonio J. Jara, Antonio F. Skarmeta, Enabling end-to-end CoAP-based communications for the Web of Things, *Journal of Network and Computer Applications*, Volume 59, 2016, Pages 230-236, ISSN 1084- 8045, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2014.09.019>.
- [8] Xiaocong F., Chapter 12 - Software Architectures for Real-Time Embedded Systems, In *Real- Time Embedded Systems*, edited by Xiaocong Fan, Newnes, Oxford, 2015, Pages 303-338, ISBN 9780128015070.
- [9] Daniel de Santos, Víctor Lorente, Félix de la Paz, José Manuel Cuadra, José R. Álvarez-Sánchez, Eduardo Fernández, José M. Ferrández, A client–server architecture for remotely controlling a robot using a closed-loop system with a biological neuroprocessor, *Robotics and Autonomous Systems*, Volume 58, Issue 12, 2010, Pages 1223-1230, ISSN 0921-8890, <http://dx.doi.org/10.1016/j.robot.2010.09.003>.
- [10] Ipanaque, W., Belupú I., Aguirre, D. Desarrollo de Software SCADA para Supervisar y Monitorear Procesos Industriales. *Proceeding Congreso Latinoamericano d Control Automático*. Lima Perú, 2012, pp 127.