

Diseño e implementación del control de temperatura con panel HMI para el proceso de maceración de cerveza artesanal en la microempresa SKOLL

Fernando Jácome¹, Diego Aguiar², Johanna Jara³, Diego Pichoasamin⁴, Gabriela Vera⁵

^{1,2,3,4,5} Instituto Tecnológico Superior Rumiñahui – Carrera de Tecnologías Superior en Electricidad, Sangolquí – Ecuador
fernando.jacome@ister.edu.ec

Resumen: Dentro de la elaboración de bebidas artesanales entre las cuales se destacan la cerveza es necesario alcanzar un estándar de calidad en cuanto a sabor y aroma de este producto entre sus características principales, aunque hay que reconocer que el maestro cervecero se destaca por ofrecer un producto único por cuanto cada tipo de cerveza tiene su respectiva receta, para conseguir este objetivo el productor debe dedicar de mucho tiempo y experiencia para obtener un producto de similares características.

Este proyecto se enfoca en la implementación de un control de temperatura mediante panel HMI para el proceso de maceración mediante la utilización de sensores, controladores y actuadores para controlar las variables, temperatura, tiempo, nivel sin la dependencia de un operario, con la utilización del HMI para monitorear las variables antes mencionadas.

Palabras clave: Maceración, cerveza artesanal, HMI, automatización, temperatura.

Design and implementation of temperature control with HMI panel for the craft beer maceration process in the SKOLL microenterprise

Abstract: Within the production of artisanal beverages, among which beer stands out, it is necessary to achieve a quality standard in terms of flavor and aroma of this product among its main characteristics, although it must be recognized that the master brewer stands out for offering a unique product. Since each type of beer has its respective recipe, to achieve this objective the producer must dedicate a lot of time and experience to obtain a product with similar characteristics.

This project focuses on the implementation of temperature control through an HMI panel for the maceration process through the use of sensors, controllers and actuators to control the variables, temperature, time, level without dependence on an operator, with the use of the HMI to monitor the aforementioned variables.

Keywords: Maceration, craft beer, HMI, automation, temperature..

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día se emplea la automatización para el control de variables de tiempo y temperatura en lo que se refiere a la producción de cerveza artesanal se recurre al uso de actuadores mediante los cuales se regula la temperatura de cada etapa, en especial la de maceración, que es en la que se obtiene el mosto que servirá de alimento para las

levaduras durante el proceso de fermentación. La implementación de una interfaz HMI permite la gestión en tiempo real de las etapas de maceración, cocción, enfriamiento y fermentado del producto para la obtención de cerveza artesanal, con lo cual se adquiere un mosto con buenas propiedades en coloración y sabor, empleando de manera eficiente los recursos (Pesántez Bravo et al., 2021, p. 164).

Teniendo en cuenta la gran acogida de cerveza artesanal en nuestro país y por lo tanto el incremento de producción exigen que hoy en día el maestro cervecero mantenga estándar de calidad en los cuales se deben controlar variables de tiempo, nivel y temperatura entre las más importantes. Para alcanzar estándares de calidad en los que la cerveza artesanal mantiene características estables que no varían incluso empleando la misma receta, es necesario que estas variables se controlen de forma automática, en especial la temperatura, durante el proceso de maceración en que se obtiene los azúcares fermentables que otorgan el sabor a la cerveza (Pozo, 2020, p. 50).

La producción artesanal se refiere a la elaboración de un producto a partir de una materia prima, en el caso de la cerveza artesanal, esta sería la cebada o malta en donde el artesano debe controlar ciertos parámetros o variables evitando obtener un producto defectuoso o que no cumpla con sus expectativas, dentro del proceso de maceración se controlan algunas variables de las cuales la más importante sería la temperatura y el tiempo las mismas que garantizan un producto con características estables, sin embargo, existen otras variables como el nivel y pH, las cuales no influyen en gran medida en la elaboración. La interfaz gráfica HMI posibilita al operario visualizar y configurar el valor de la temperatura y tiempo de macerado, lo que permite controlar los parámetros durante la etapa de maceración con

el objetivo de obtener un mosto en condiciones óptimas (Flores García et al., 2021).

Mediante el uso de sistemas de control con PLC y HMI se puede controlar todas las etapas que intervienen en la fabricación de cerveza artesanal, la interfaz gráfica habilita la opción de configurar las variables que intervienen en cada fase, en especial en lo que se refiere a la maceración y cocción. El lenguaje de escalera o diagrama de contactos se emplea para la programación del controlador y mediante el HMI se varía los valores para las diferentes temperaturas y tiempos, estos valores son leídos por el respectivo controlador el cual activa o desactiva los distintos actuadores (Neyra Fernandez et al., 2023).

Aunque en algunos procesos no se emplea la etapa de pre-cocción, esta se utiliza para preparar el agua destinada para el macerado, el cual consiste en estabilizar la temperatura entre 72°C y 65°C por un tiempo comprendido entre 60-90 minutos, dependiendo de la receta a prepararse según el procedimiento se suele emplear agitadores o sistemas de recirculación, independientemente del método utilizado, el objetivo es convertir los almidones en azúcares simples y eso se consigue mediante la activación de las enzimas, calentando la solución a una temperatura comprendida entre 62°C-72°C y mantener ese rango de temperatura por un período de tiempo equivalente de 60-90 min. Finalmente, la cocción o hervido en donde se agrega el lúpulo, se somete el mosto que se obtuvo en la maceración a temperaturas para que

alcance su grado de ebullición o hervido. (Pozo, 2020).

Las técnicas matemáticas han sido útiles en la fermentación de etanol. En la investigación realizada por Abunde, Asiedu & Addo en 2019, hablan acerca del proceso de fermentación alcohólica en lotes optimizado mediante modelado matemático y control óptimo obteniendo resultados que muestran los perfiles óptimos de temperatura y pH para la fermentación de extractos de sorgo.

Los controladores PI han sido utilizados para muchos procesos obteniéndose buenos resultados tanto para el proceso de fermentación como para el proceso de limpieza de los equipos. En un sistema de limpieza in situ (CIP) en una planta cervecera se tiene un sistema con entradas como el flujo de vapor y la temperatura ambiente, y como salida la temperatura de la solución. Se comprobó que el sistema se comporta como uno de primer orden, permitiendo configurar controladores lentos y que responden a perturbaciones externas. (Cobos, Vera, Urquiza, 2020).

Los pequeños productores de cerveza artesanal enfrentan dificultades por la falta de equipos adecuados y control preciso en el proceso de maceración de malta, crucial para la conversión del almidón en azúcares fermentables. Para tal proceso se requiere de un sistema automático para regular la temperatura de manera efectiva,

evitando la inhibición de enzimas clave como las alfa amilasas. (L. Rodríguez et al, 2019)

El control de temperatura es fundamental en el proceso de fermentación de la cerveza, y el método tradicional con PID tiene limitaciones como largos tiempos de ajuste y un gran sobreimpulso. Se plantea el uso de un controlador PID difuso inmune, el cual combina las ventajas del PID tradicional con el controlador difuso, inspirado en el sistema inmunológico biológico. El controlador ajusta los parámetros PID mediante razonamiento difuso. Este sistema al compararse con el PID tradicional muestra que reduce el tiempo de fermentación a alta temperatura (16 °C) verificando la efectividad y robustez del sistema. (Song, Meng, Cheng, 2024)

2. METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Para el control de las variables que intervienen durante la etapa de maceración se seleccionó los respectivos materiales como sensores de temperatura, así como también un Controlador Lógico Marca Siemens modelo LOGO V8 para automatizar el proceso de maceración, se dispondrá del sensor de temperatura PT100 para medir los niveles de temperatura en el tanque de maceración.

También se dispone de una pantalla HMI para monitorear en tiempo real la temperatura del proceso de maceración. En lo que respecta a los

actuadores, se utilizará una bomba de recirculación controlada por un contactor. Todos los componentes estarán alojados dentro de un tablero eléctrico.

2.2. Selección y adquisición de elementos

Para automatizar la etapa de maceración es necesaria la implementación de un sistema de control automático compuesto por sensores para el control de nivel y temperatura, un controlador y un módulo para acondicionamiento de señal procedente del sensor de temperatura y finalmente los actuadores.

Para la medición de temperatura se optó por un sensor de tipo resistivo, también conocido como RTD (Resistencia Temperatura Detector), el cual varía la resistencia en función de la temperatura, debido estas características se seleccionó el sensor de temperatura PT100 el cual presenta una resistencia de 100Ω a 0°C , cuyas características se muestran en la Tabla 1.

En lo que respecta a la selección del sensor para determinar los niveles mínimo y máximo del líquido a procesar para iniciar las secuencias relacionadas con la etapa de maceración, se consideró el sensor de tipo flotador. En la Tabla 2 se muestran sus características.

El procesamiento de señal proporcionada por los sensores, pulsadores o sistema HMI está compuesto por un Logo Siemens 12/24 RCE de Siemens, el cual se conecta directamente con el módulo AM2 RTD marca SIEMENS encargado

de procesar la información proveniente del sensor de temperatura PT100. Las características del controlador se muestran en la Tabla 3.

Entre los actuadores se dispone de electroválvulas que cumplen con la función de trasvase desde el tanque de pre-cocción y la recirculación del mosto. Las características técnicas de la electroválvula se encuentran en la Tabla 4.

2.3. Etapas del proceso de elaboración de cerveza artesanal.

En la Figura 2, se observa las etapas que intervienen en el proceso, en las cuales se va monitorear y controlar la maceración, donde el objetivo es estabilizar la temperatura a 70°C para de esta forma producir el mosto, que es la obtención de azúcares fermentables a partir de la malta (Pilligua-Pilligua et al., 2021, p. 27) Para conseguir este resultado, trabajan de manera conjunta los sensores, controladores y actuadores detallados anteriormente.

2.4. Implementación del sistema de control.

El sistema de control está conformado por un tablero con panel HMI, el cual, en base a los parámetros introducidos, analiza las señales de los sensores, éstas son procesadas por el controlador para la respectiva activación o desactivación de los actuadores.

La interfaz HMI permite al operador modificar los parámetros de tiempo y temperatura correspondiente al proceso de maceración,

además, facilita el monitoreo continuo de las variables que intervienen durante la etapa de macerado. También se puede acceder a las alarmas de proceso, donde el operador puede modificar los parámetros que tienden a variar por factores externos. La interfaz grafica y la pantalla de alarmas se pueden ver en la Figura 3 y 4 respectivamente.

Proceso de maceración automático



Figura 1: Proceso de maceración automático

Diagrama General del Proceso de elaboración de cerveza artesanal

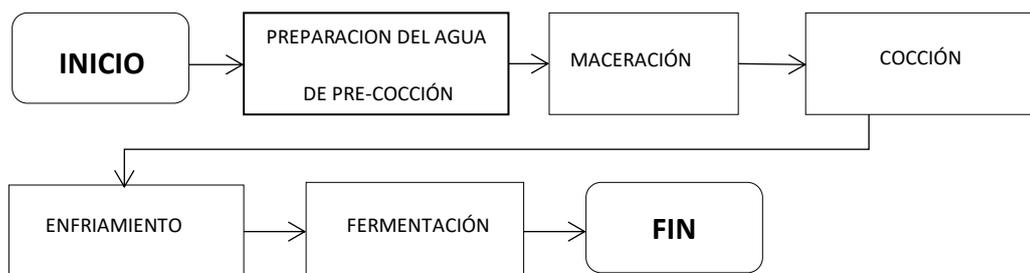


Figura 2. Diagrama General del Proceso de elaboración de cerveza artesanal.

Interfaz HMI



Figura 3. Interfaz HMI

Panel de Alarmas

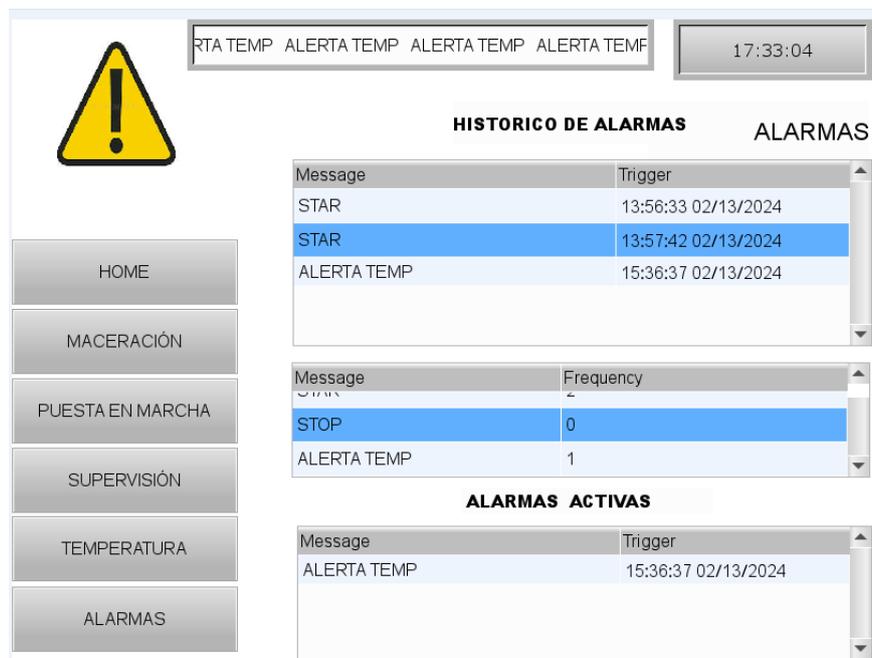


Figura 4. Panel de Alarmas.

Tabla 1. Características sensor de temperatura

Sensor de Temperatura PT100	
Marca	Maxwell
Modelo	PT100-5-150-1/2NPT-N
Especificación	Sensor Termo pozo PT100
Salida	Analógica
Rango	-70~300°C
Tipo	Sumergible
N° de Hilos	3

Tabla 2. Características sensor de nivel

Sensor de Nivel	
Marca	ERSIQI
Modelo	RG-1045S
Material	Acero Inoxidable
Temp. de Operación	-30°C -120°C
Corriente/ Voltaje	0.5 A/ 1-100VDC
Tipo	Digital

Tabla 3. Características controlador lógico programable (PLC)

Controlador Siemens 12/24 RCE LOGO V8	
Marca	Siemens
No de Articulo	6ED1052-1MD08-0BA1
Entradas	8 (4 configurables)
Salidas	4 Tipo Relé
Voltaje	12/24 VDC
Protección	IP20
Memoria de Reloj	480H.

Tabla 4. Características electroválvula de control

Electroválvulas	
Marca	JAGO
Modelo	2W-160-15
Material	Bronce
Alimentación	110 V
Orificio	16 mm
Diámetro	1/2"
Temperatura	-5°C to 80°C

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. CONCLUSIÓN

3.1. Pruebas de maceración

Una vez implementado el tablero de control, se procede a efectuar las respectivas pruebas para comprobar si el sistema cumple con la estabilización de la temperatura para el proceso de maceración.

Se emplean tres diferentes niveles de temperatura para el agua de pre-cocción, ya que al momento de realizar el trasvase se produce un choque térmico, estabilizándose de esta manera la temperatura en un rango de 65-72 °C. Una vez estabilizada la temperatura se inicia el tiempo de macerado por un período de 90 minutos.

En el primer caso, se trabaja a una temperatura de 80°C al momento de realizar el trasvase, la misma se estabiliza transcurridos 25 minutos.

En el segundo caso, se considera una temperatura de 75°C, la cual se estabiliza 10 minutos después de haber realizado el trasvase.

En el tercer caso, se eleva la temperatura de pre-cocción hasta 70°C, se realiza el trasvase y la temperatura se estabiliza transcurridos 12 minutos.

Mientras mayor es la temperatura del agua de pre-cocción, mayor es el tiempo que se tarda en estabilizarse la temperatura en el proceso de maceración.

El sistema cumple con el objetivo planteado que es la estabilización de una temperatura dada por un periodo de tiempo definido para el proceso de maceración de cerveza artesanal. Las variables que intervienen durante esta etapa influyen directamente sobre la calidad de la cerveza, teniendo que con la maceración se logra convertir la malta en azúcares fermentables. Mediante la interfaz gráfica HMI se pueden ingresar los parámetros de las variables que intervienen en la maceración, en especial el tiempo y la temperatura.

El algoritmo de programación empleado para el logo Siemens 12/24 RCE se lo realizó en el software LOGOSOFT de Siemens, utilizando para ello el lenguaje de escalera o también conocido como diagrama de contactos. En el HMI de la marca DELTA modelo DOP -107-EG se utilizó el programa DIASoft del respectivo fabricante.

Se configura el algoritmo de control de temperatura en función de los parámetros requeridos para el proceso de maceración que estabilizan la temperatura en un rango comprendido entre 65-70°C por un periodo de 90 minutos y la configuración del panel HMI, respectivamente, mediante el cual se pueden variar los valores de temperatura y tiempo antes mencionados.

REFERENCIAS

- Abunde, N.F., Asiedu, N.Y. & Addo. (2019). A. Modeling, simulation and optimal control strategy for batch fermentation processes. *Int J Ind Chem* 10, 67–76. <https://doi.org/10.1007/s40090-019-0172-9>
- Cobos, R., Vera, M., & Urquiza, J. (2020). Temperature control system for a clean-in-place process in a brewery plant. *IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. doi:10.1109/iecon43393.2020.9254343
- Flores García, E., Quezada Quezada, J. C., Calderón Medina, R. V. H., & Guardado Montes De Oca, D. (2021). Control basado en PLC y monitoreo mediante HMI de la temperatura en el proceso de maceración y cocción en la elaboración de cerveza artesanal. *Boletín Científico INVESTIGIUM de la Escuela Superior de Tizayuca*, 6(12), 44-49. <https://doi.org/10.29057/est.v6i12.6338>
- Guerberoff, E., Gisela, K., Marchesino, Mariana, A., Lopéz, Paloma, L., & Rubén. (2020, julio 1). El perfil sensorial de la cerveza como criterio de calidad y aceptación. *Nexo Agropecuario*, 8(1), 8.
- Huerta Zurita, R. (2022). Condiciones de maceración y fermentación que incrementan el contenido de etanol en mosto fermentado para whisky de malta. *Biotecnia*, 24(1), 133-141. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i1.1576>
- L. Rodriguez, L. Vines, N. Mata and C. del Carpio. (2019). "Development of an Automatic Equipment for Craft Beer Maceration," Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI), BOGOTA, Colombia, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/CONIITI48476.2019.8960840.
- Neyra Fernandez, A., Acosta Acho, J., & Palomares, O. (2023). Planta de fabricación de cerveza artesanal de 120 litros utilizando PLC y un control de temperatura PID. *PERFILES DE INGENIERÍA VOL19N19 (2023)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.31381/perfilesingenieria.v19i19.5784>
- Ortega Ordoñez, R. C., Cobos Recalde, L. F., Segura Núñez, G. P., & Sandoval Sandoval, E. M. (2023). Adquisición de señales analógicas de instrumentación con LOGO! Soft V8.3 mediante generador de señales y el sensor PT100. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 7865-7880. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5017
- Pesántez Bravo, F., Carrión Aguirre, C., Mingo Morocho, L., & Gonzáles Malla, E. (2021). LÍNEA DE CERVEZA ARTESANAL CON CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO DE TEMPERATURA EN MACERACION Y FERMENTACIÓN. *Tecnología e innovacion frente a los desafíos de un siglo en curso*, 161-183.
- Pilligua-Pilligua, R. L., Barre-Zambrano, R. L., Mendoza-Gonzáles, A. E., Lavayen, E., & Mero-Santana, R. (2021). LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA CERVEZA ARTESANAL. . . pp, 12.

Pozo, M. (2020). Diseño e implementación de un sistema de automatización para una línea de producción de cerveza artesanal. *INNOVATION & DEVELOPMENT IN ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES*, 1(2), 12. <https://doi.org/10.53358/ideas.v1i2.350>

Song F, Meng X, Chen Z. (2024). Temperature monitoring system of beer fermentation and brewing based on immune fuzzy PID controller. *Advanced Control for Applications: Engineering and Industrial Systems*, 6(2):e154. doi: 10.1002/adc2.154