

Diseño y Construcción de un equipo para la Pasteurización de Leche.

Pilicita D., Moreno N., Rosales A.

Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional

Quito, Ecuador

danielpilicitaesc2305@hotmail.com

Resumen- En el presente proyecto se ha automatizado el proceso de pasteurización de leche, que se utiliza para elaborar quesos en una microempresa de productos lácteos ubicada en Machachi, con el objetivo principal de disminuir el esfuerzo físico requerido por los trabajadores para realizar dicho proceso.

El sistema de control permite que el proceso de pasteurización de la leche, y los subprocesos: bombeo del agua utilizada para enfriar la leche hacia el tanque de reserva, suministro de la misma para lavar las instalaciones, y su desalojo para cambiarla, se ejecuten de forma automática. El control se realiza por medio de un PLC marca SIEMENS, que se comunica con una pantalla en la que se muestran la temperatura de la leche, el desarrollo del proceso y otros avisos importantes.

Índices –Automatización, Proceso, Pasteurización, leche, Control, PLC.

I. INTRODUCCIÓN

En nuestro país el desarrollo tecnológico y la automatización se han desarrollado a nivel de empresas grandes, no así en microempresas, razón por la cual su crecimiento es lento y a costa de un gran esfuerzo físico. Este proyecto se encuentra dirigido a pequeñas empresas ya que brinda grandes beneficios contribuyendo con su desarrollo.

II. DESARROLLO

A. Pasteurización

El proceso utilizado por la microempresa para pasteurizar la leche es la pasteurización lenta, conocida también como pasteurización baja, discontinua, por retención o por sostenimiento.

Este método consiste en calentar la leche a temperaturas entre 62 y 64°C y luego enfriarla a temperaturas entre 4 y 10°C.

La leche es calentada en recipientes o tanques de capacidad variable (generalmente de 200 a 1.500 litros), estos tanques son de acero inoxidable preferentemente y están encamisados, es decir son de doble pared (Ver Fig. 1.1) y se encuentra provisto de un agitador para hacer más homogéneo el tratamiento. La leche se calienta por medio

de vapor o agua caliente que circula entre las paredes del tanque.

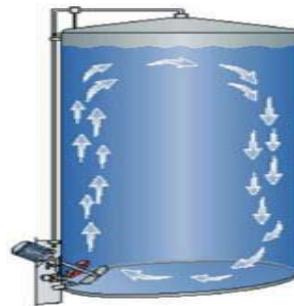


Fig. 1.1: Tanque de almacenamiento de doble pared. Tomado de [1]

Para efectuar el enfriamiento se usa el mismo recipiente haciendo circular por la camisa de doble fondo agua helada hasta que la leche tenga la temperatura deseada. [1]

B. Diseño y construcción del hardware

1) Infraestructura

Se realizaron las modificaciones necesarias para proveer de manera segura gas para encender el quemador utilizado para calentar la leche, y agua para los diferentes subprocesos: enfriado de la leche, bombeo del agua hacia el tanque de reserva, suministro de la misma para lavar las instalaciones, y su desalojo para cambiarla.



Fig. 1.2: Válvulas de gas

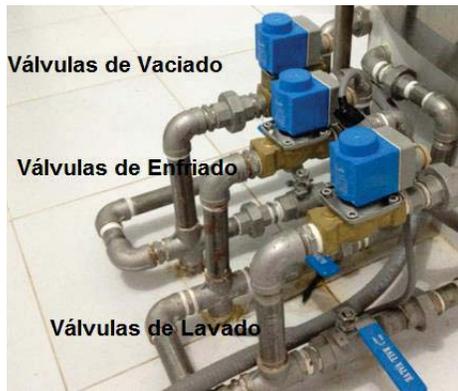


Fig. 1.3: Válvulas para el suministro de agua

2) PLC

En base a los requerimientos del proceso se escogió un PLC de la gama que presenta SIEMENS, el SIMATIC S7-1200 (1212C), puesto que es compacto, modular y ofrece gran capacidad de control.

Este se alimenta con 120 V_{AC} y Posee 10 entradas: 8 digitales y 2 analógicas, y 6 salidas tipo relé. Además posee una fuente de 24 V_{DC}. Para obtener el número de salidas requeridas se adquirió también el módulo de expansión de salidas tipo relé, el SM1222 Relé que posee 8 salidas. [2]



Fig. 1.4: Controlador SIMATIC S7-1200.

3) Sensor de temperatura

La principal variable a controlar en el proyecto es la temperatura, y para ello se utiliza un Pt 100 marca Danfoss MBT 5250.

Para obtener la señal de voltaje requerida, se conecta el sensor a un puente de resistencias, alimentado con la fuente de voltaje que proporciona el PLC, es decir 24 V_{DC}, como se indica a continuación:

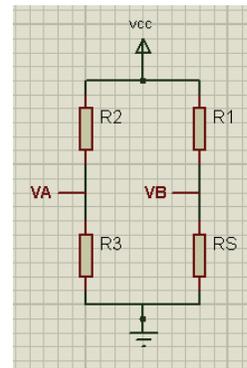


Fig. 1.5: Puente de resistencias.

Se parte de la ecuación:

$$R_f = R_o * (1 + \alpha * \Delta T) \quad \text{Ecuación 1.}$$

A 0°C la resistencia del sensor es: $R_{f1} = R_o = 100 \Omega$

A 100°C la resistencia será:

$$R_{f2} = 100 * (1 + 0,00385 * (100 - 0))$$

$$R_{f2} = 138,5 \Omega$$

Al circular la corriente máxima, la resistencia del sensor va a ser la mínima, por lo tanto se asume que el sensor consume una corriente máxima de 10 [mA], entonces se tiene:

$$V_{cc} = (R_1 + R_{Smin}) * I_{m\acute{a}x} \quad \text{Ecuación 2.}$$

$$R_1 = \frac{V_{cc}}{I_{m\acute{a}x}} - R_{Smin}$$

Se sabe que: $V_{cc} = 24V$, $I_{m\acute{a}x} = 10mA$ y $R_{Smin} = 100\Omega$

$$R_1 = \frac{24V}{10mA} - 100\Omega$$

$$R_1 = 2300\Omega$$

Estandarizando:

$$R_1 = 2,2 k\Omega$$

En un puente:

$$R_1 = R_2 = 2,2 k\Omega$$

Para 0°C:

$$R_3 = R_{Smin} = 100 \Omega$$

$$V_A = \frac{R_3}{R_2 + R_3} * V_{cc}$$

Ecuación 3.

$$V_A = \frac{100}{2200 + 100} * 24$$

$$V_A = 1,04 V$$

$$V_B = \frac{R_{Smin}}{R_1 + R_{Smin}} * V_{cc}$$

Ecuación 4.

$$V_B = \frac{100}{2200 + 100} * 24$$

$$V_B = 1,04 V$$

$$V_{AB} = V_A - V_B = 0 V$$

Para 100°C:

$$V_B = \frac{R_{Smax}}{R_1 + R_{Smax}} * V_{cc}$$

Ecuación 5.

$$V_B = \frac{138,5}{2200 + 138,5} * 24$$

$$V_B = 1,42 \text{ V}$$

$$V_{AB} = V_A - V_B = 1,04 - 1,42$$

$$V_{AB} = -0,38 \text{ V}$$

$$V_{BA} = 0,38 \text{ V}$$

Luego, para amplificar este voltaje se utiliza el amplificador de instrumentación, cuyo esquema es el siguiente:

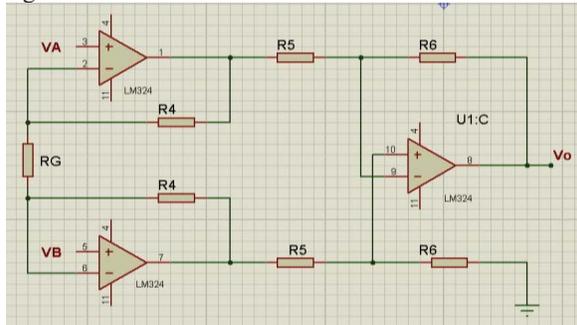


Figura 1.6: Amplificador de instrumentación.

Como se puede observar se trabaja con el circuito integrado LM324, éste contiene 4 amplificadores operacionales de alta ganancia, cuya distribución de pines se muestra a continuación:

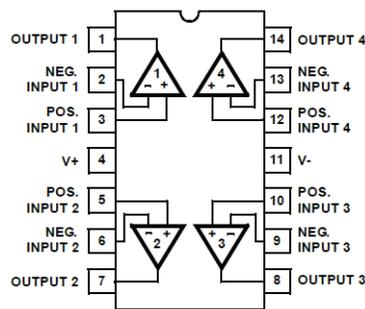


Fig. 1.7: Circuito integrado LM324. Tomado de [3]

La ganancia de este amplificador está dada por:

$$G = \frac{R_6}{R_5} * \left(1 + \frac{2R_4}{R_g} \right)$$

Ecuación 6.

$$G = \frac{V_o}{V_{in}}$$

Ecuación 7.

Ahora:

$$G = \frac{10}{0,38} = 26,32$$

$$26,32 = \frac{R_6}{R_5} * \left(1 + \frac{2R_4}{R_g} \right)$$

Si:

$$\frac{R_6}{R_5} = 5,6$$

Entonces:

$$\left(1 + \frac{2R_4}{R_g} \right) = 4,7$$

Se asume:
 $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$

Despejando:
 $R_6 = 56 \text{ k}\Omega$

Luego, se asume:
 $R_4 = 22 \text{ k}\Omega$

Entonces:
 $\frac{2R_4}{R_g} = 3,7$
 $R_g = 12 \text{ k}\Omega$

Para agitar la leche con el fin de que su temperatura sea uniforme en cada punto se utiliza un motor con caja reductora, motoreductor, que posee una velocidad de salida de 30 RPM.

4) Tablero de control

Para controlar los diferentes actuadores:

- 5 válvulas solenoides, 4 controlar la circulación del agua y una para el suministro de gas.
- 2 motores, la bomba de agua y la batidora
- Un sirena

Se utilizan 6 relés de estado sólido y 2 contactores con las respectivas protecciones.

Una pantalla marca SIEMENS permite visualizar la temperatura de la leche, la etapa del proceso y otros mensajes importantes.

El tablero implementado es el siguiente:



Fig. 1.8: Vista exterior del tablero.

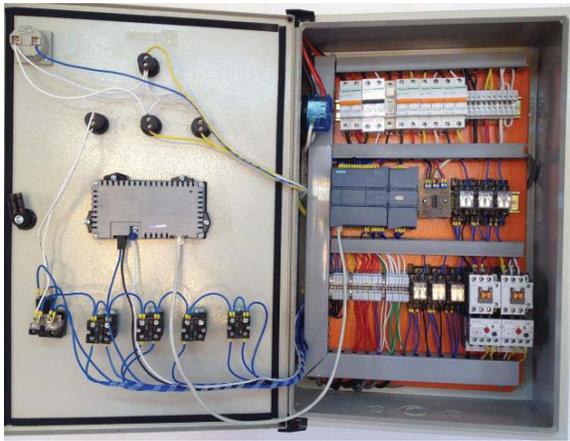


Figura 1.9: Vista interior del tablero.

5) *Desarrollo del software*

Totally Integrated Automation Portal (TIA PORTAL) es el software que permite programar tanto el PLC como el sistema de visualización sin limitación alguna, desde el PLC S7-300 hasta el S7-1200 y toda la gama de paneles HMI. Únicamente presenta una desventaja al programar el PLC S7-1200, y es que aún no se ha desarrollado un simulador para este PLC, pero presenta ventajas como: un sistema de ventanas que se ajustan a las necesidades del programa, es bastante intuitivo facilitando la tarea del programador, y permite comparar de manera ON LINE la ejecución del proceso y así reconocer el estado de las variables en tiempo real facilitando la detección de posibles errores.

El programa fue desarrollado en lenguaje ladder buscando cumplir con todos los requisitos del proceso.

6) *Prueba de funcionamiento.*

Se realizaron diversas pruebas y los resultados fueron exitosos. Tanto el circuito de control como el de fuerza trabajan según lo esperado cumpliendo con objetivos planteados.

A continuación se presenta la prueba del acondicionamiento del sensor, esto no se realizó en el proceso sino trabajando a pequeña escala. Fue necesario calibrar los valores del circuito inicial para obtener los resultados esperados.

Luego, se instaló el sensor en la base construida para su colocación y tomando como referencia un termómetro de mercurio para comparar las temperaturas, se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA I
COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS

TEMPERATURA	
TERMÓMETRO DE MERCURIO	ACONDICIONAMIENTO DEL PT100
20	19.5

35	34.7
50	50,1
67	67,5
70	70,8



Fig. 4.1: Medición de la temperatura.

Como se observa el error es pequeño y aceptable para esta aplicación.

III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. *Conclusiones*

El proyecto cumple satisfactoriamente con cada uno de los requerimientos del proceso, lográndose así cubrir los alcances y objetivos planteados al inicio del mismo.

Conocer a fondo las diferentes etapas del proceso desarrollado por la microempresa es fundamental para obtener los resultados esperados del proyecto, lográndose optimizarlo.

Con el paso del tiempo es posible que la microempresa expanda su línea de producción, presentándose la necesidad de crecimiento del sistema de control, esto es viable ya que la capacidad física del PLC puede incrementarse colocando diferentes módulos, sean estos de entradas o salidas, de comunicación, etc.

Por tratarse de una versión básica, la licencia del software utilizado para la programación del PLC y de la pantalla no tuvo costo alguno, además no es necesario adquirirla cada año, representando un ahorro significativo para la microempresa.

Además de disminuir el esfuerzo físico y el número de personas necesarias para llevar a cabo el proceso, se reduce también el tiempo de producción, permitiendo al operario realizar el resto de sus actividades sin apremio, lo que representa una ventaja importante para la microempresa.

Se reduce el costo de producción de los quesos, ya que el consumo de gas y de agua disminuyen notablemente.

La elaboración de los quesos cumple con estándares más altos de producción, puesto que la manipulación de la leche por parte del operario es mínima.

Se ha incrementado la cantidad de producto con la que se puede trabajar, generando mayores ingresos para la microempresa.

Puesto que en el subproceso de calentamiento se utilizan las propiedades del Baño María, no existe asentamiento de la leche en la zona donde la llama del quemador llega directamente.

La comunicación entre el PLC y la pantalla se da sin ningún tipo de problema, ayudando a que los resultados del proyecto sean los esperados.

B. Recomendaciones

Se recomienda en un futuro implementar un mecanismo para facilitar la extracción de la cuajada de la olla encamisada, pues se trata de una cantidad considerable. Este mecanismo puede consistir en una especie de puente grúa, que pueda extraer con la ayuda de un operario gran cantidad de dicha cuajada en una sola operación, disminuyendo aún más el trabajo y el tiempo de elaboración de los quesos.

Las queserías del medio a nivel artesanal no tienen un gran desarrollo tecnológico, éste recae únicamente en las industrias grandes, se recomienda invertir en desarrollo y automatización pues se optimizan los procesos, facilitando el trabajo de los operarios, y mejorando la calidad del producto.

Al realizar cualquier proyecto, se recomienda investigar profundamente el software de programación con el que se va a trabajar, para sacar el mayor provecho posible.

RECONOCIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a la Ing. Nathaly Moreno Díaz y al Dr. Andrés Rosales Acosta, Directora y Codirector del Proyecto respectivamente, por su ayuda y entera disposición a colaborar para la culminación de este proyecto.

REFERENCIAS

[1] http://www.portalechero.com/innovaportal/v/725/1/innova.front/proceso_de_pasteurizacion.html

[2] Manual del controlador lógico programable S7-1200.

[3] http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/M/3/2/LM324.shtml

BIOGRAFÍAS



Daniel Pilicita, nació en Quito-Ecuador el 23 de mayo de 1986. Realizó sus estudios secundarios en el colegio Nacional Experimental Juan Pío Montúfar, obteniendo el título de bachiller en la especialidad Físico Matemático. Sus estudios universitarios los realizó en la Escuela Politécnica Nacional, en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Control. Realizó prácticas preprofesionales en la Empresa

Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros de Quito, Metrobus-Q; Trole, en la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, Estación Terrena Quito y en LEGADOIL S.A.

Áreas de interés: Automatización y control industrial, control de proceso, robótica.



Nathaly Moreno, nació en Quito-Ecuador el 2 de Julio de 1986. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Femenino Espejo, donde obtuvo el título de Bachiller especialidad Físico Matemático. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniera en Electrónica y Control en 2011. Trabajó como ayudante de Control, perteneciente al Departamento de Automatización y Control Industrial (DACI) de la Escuela Politécnica Nacional, además desempeñó el cargo de Asistente de Cátedra, impartiendo las cátedras de: Electrónica de Potencia e Instrumentación Electrónica.

Áreas de interés: Control de Procesos, neumática, y automatización y control industrial.



Andrés Rosales Acosta nació el 28 de Abril de 1977 en la ciudad de Quito, Ecuador. Realizó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional, donde se graduó de Ingeniero en Electrónica y Control. Su Doctorado en Ingeniería en Sistemas de Control en el Instituto de Automática (INAUT) de la Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Realizó una estadía en el Instituto de Sistemas en Tiempo Real (RTS) de la Universidad de Hannover, Alemania como becario de DAAD (Instituto Alemán de Intercambio Académico).

Actualmente se desempeña como profesor principal e investigador de la Escuela Politécnica Nacional.