

Diseño de instrumentación para proceso lácteo¹

Andrés Camilo Castaño Rivillas²

Pedro Pablo Díaz Jaimes³

Resumen

Este artículo describe la selección de la instrumentación para procesos de industrias lácteas, tomando en cuenta las diversas transformaciones de la materia prima, se tomarán en cuenta variables para dar un resultado adecuado de cada producto a tratar, esto permite que el instrumentista o áreas afines tenga una vista amplia del problema realizando las anotaciones y recomendaciones necesarias para optimizar dicho proceso.

Palabras claves: instrumentación, productos lácteos, PLC, automatización, tratamiento.

Abstract

This article describes the selection of instrumentation for dairy industry processes, considering the various transformations of the raw material, variables will be considered to give an adequate result for each product to be treated, this allows the instrumentalist or related areas to have a broad view of the problem making the notes and recommendations necessary to optimize said process.

Keywords: Instrumentation, dairy products, PLC, automation, treatment.

¹ Artículo científico presentado como opción de grado para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico.

² Autor: Estudiante de Ingeniería Mecatrónica, Estudiante de Especialización en Automatización Industrial. Universidad Santo Tomás Bucaramanga. Correo electrónico: andres.castano@ustabuca.edu.co .

³ Director: Ing. Mecánico, especialista en Diseño de Sistemas de Tuberías, Maestrante en Dirección y Gestión de Proyectos. Universidad Santo Tomás grupo de investigación GRAM Facultad de Ingeniería Mecatrónica, docente tiempo completo.

Introducción

La producción de leche fresca en Colombia ha ido adquiriendo una creciente importancia en el ámbito económico nacional, debido a la pujante demanda en el mercado interno. La actividad lechera ha sido factor de amortiguación de la crisis que vive el sector agropecuario (Ministerio de agricultura, 1999). En el 2017, la cámara de comercio de Bucaramanga, en Santander, realizó una estrategia con el fin de mejorar la competitividad y producción de empresas en la industria láctea, esto permitió que siete industrias lograran acceder a capacitaciones y orientación por parte de especialistas en el tema, mejorando procesos y productos para llegar a mercados de interés.

La leche y sus derivados son unos de los productos principales en la canasta familiar, lo cual nos ha llevado a desarrollar tecnologías para el procesamiento de estos, sacando al máximo sus características de nutrición, estas nuevas tecnologías nos muestran un avance dando como enfoque la automatización, el artículo a continuación tiene como finalidad dar a conocer el análisis de instrumentos y actuadores para procesos involucrados a productos lácteos.

En Santander actualmente existen cerca de 50 empresas enfocadas en la realización de los diferentes productos lácteos, muchas de estas son microempresas dependientes de un factor humano que a su vez no cuentan con la instrumentación necesaria para obtener el resultado adecuado, generando incertidumbre en variables de interés, es por esto, por lo que se busca implementar conocimientos en áreas de instrumentación, control, diseño dando solución y generando un avance tecnológico con la finalidad de integrar la automatización a nuevas industrias.

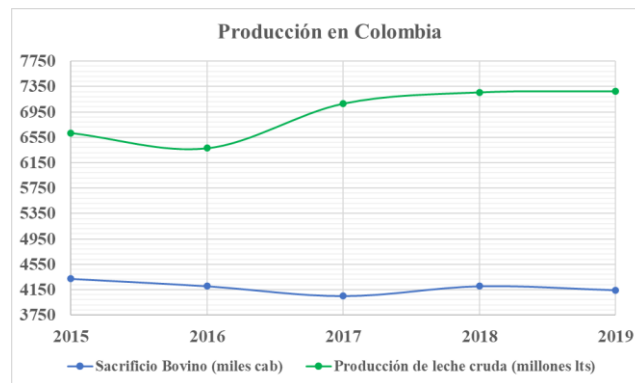
1. Estudio del proceso

La federación colombiana de ganaderos (FEDEGAN), fondo nacional del ganado – fondo de estabilización de precios, evidencia el crecimiento en la producción de leche cruda con el paso de los años (Figura 1), a su vez, las estadísticas de exportación de productos derivados y el costo de leche cruda mostrando la dependencia de forma directa con la zona en donde esta se produce, los Santandereños comercializan este producto aproximadamente a 850 pesos colombianos (US\$0.22) el litro de leche (Lopez & Vasquez, 2009).

1.1 Elaboración de leche tratada térmicamente.

Para la producción de esta se realizan las siguientes fases: recepción, almacenamiento y refrigeración, en esta etapa se analizan las diferentes características de la leche que se recibe, para esta fase necesitaremos de un personal capacitado pues de esto dependerá el inicio o proceso a tratar. Filtración, donde eliminamos todas las partículas de suciedad que pueda contener, esta cantidad varía dependiendo la técnica de ordeño que emplearon, es el inicio del proceso donde la materia prima pasara por una malla adecuada antes de entrar en uno de los tanques, dicho filtro debe ser retirado y limpiado luego de cada uso, se debe contar con los líquidos autorizados. Descremado y homogenización, se separa la crema con la cual podremos realizar un derivado de forma paralela al proceso y homogenizar el restante para de esta forma dividir en función del producto que se busca (leche entera, descremada y semidescremada).

Figura 1. Producción leche cruda.

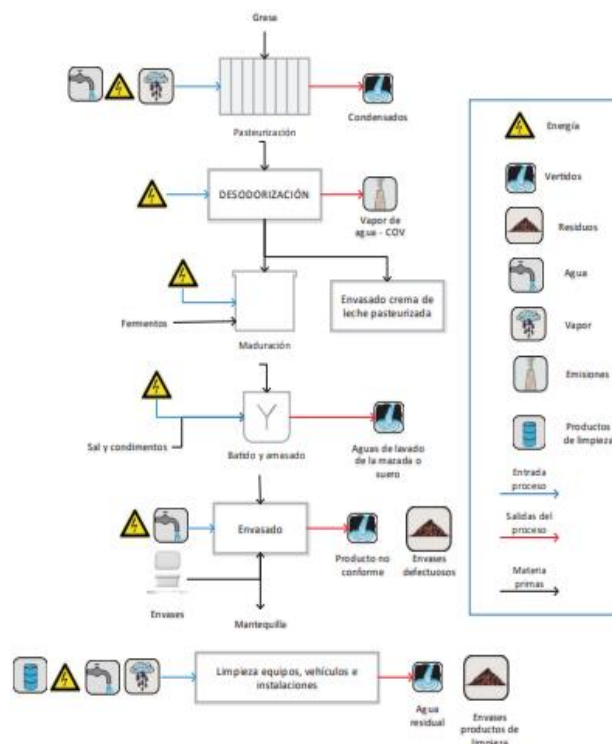


Nota: Adaptado de Hidalgo, P. (2020). Dirección de cadenas pecuarias, pesqueras y acuícolas. [https://sioc.minagricultura.gov.co/OvinoCaprina/Documentos/2020-06-30 Cifras Sectoriales.pdf#search=ovino](https://sioc.minagricultura.gov.co/OvinoCaprina/Documentos/2020-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf#search=ovino)

1.2 Subproceso crema de leche y mantequilla.

Pasteurización de la crema, desodorización de la crema, maduración de la crema, amasado y envasado, este es mencionado con la finalidad de dar un mejor uso a la materia prima.

Figura 2. Producción crema y mantequilla.

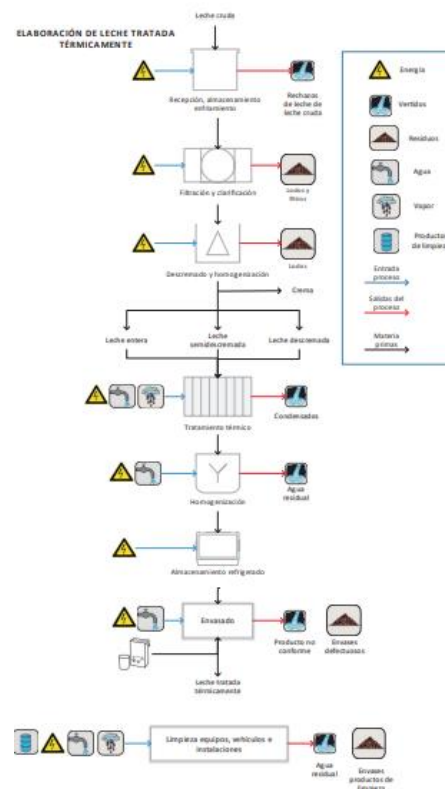


Nota: Gonzáles, A., Ramírez, J., Jaramillo, D., López, S., Rodríguez, C., Vélez, E., & Araque, C. (2016). Manual de Producción y Consumo Sostenible Gestión del Recurso hídrico Sector Lácteo. In Corantioquia.

Continuando con el proceso principal, el tratamiento térmico destruye los microorganismos que se encuentran en la leche mediante diversos procesos (pasterización, esterilización y ultra pasterización), cada uno con su respectivo rango de temperatura, lo que genera productos derivados de mayor calidad (Lopez & Vasquez, 2009).

Homogeneización, con esto damos paso a la refrigeración y almacenamiento para finalizar con el envasado. Al finalizar la producción diaria se debe realizar el respectivo proceso de limpieza general, puesto que esto afecta de manera directa la vida útil de diferentes equipos y la calidad de futuros productos (Holmann et al., 2004). Entonces, poder realizar un ejemplo de producción se complica un poco, ya que se ve sujeto a diferentes factores (proveedor, época y técnicas de ordeño), una misma cantidad de materia prima no da como resultado la misma producción, sin embargo, si se logran establecer dichos factores podríamos dar un estándar de resultados, las microempresas realizan el proceso de forma artesanal, esto genera derrames y un mal uso de los tiempos.

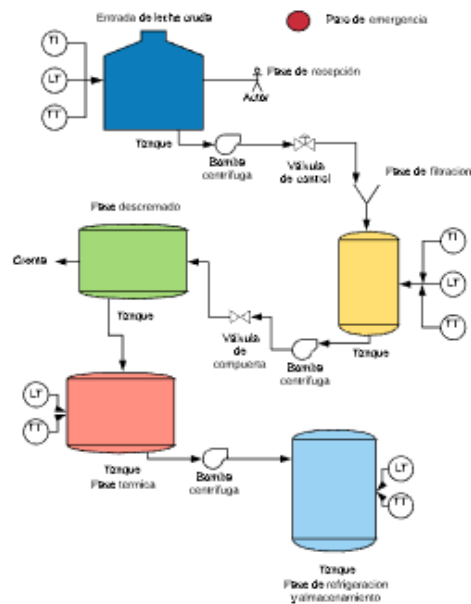
Figura 3. Producción leche tratada térmicamente.



Nota: Gonzáles, A., Ramírez, J., Jaramillo, D., López, S., Rodríguez, C., Vélez, E., & Araque, C. (2016). Manual de Producción y Consumo Sostenible Gestión del Recurso Hídrico Sector Lácteo. In Corantioquia.

Debemos tener en cuenta las entradas y salidas del sistema para esto desarrollaremos un esquema P&ID básico, dejando en claro los instrumentos necesarios para medir variables y actuar en cada fase del proceso principal.

Figura 4. Esquema del proceso lácteo.



Nota: Gonzáles, A., Ramírez, J., Jaramillo, D., López, S., Rodríguez, C., Vélez, E., & Araque, C. (2016). Manual de Producción y Consumo Sostenible Gestión del Recurso Hídrico Sector Lácteo. In Corantioquia.

2. Aplicación y resultado

Para poder realizar dicho proceso de forma automatizada fue necesario el análisis de los criterios y tomar en consideración diferentes factores, para lo cual se implementó el control al proceso con ayuda de un PLC, además para hacer una interfaz más amigable con el personal de trabajo vincularemos un HMI, al igual que algunas marcas lumínicas referentes a las fases mencionadas.

El proceso requiere de la selección adecuada del PLC, teniendo nuestro esquema anterior (Figura 4) realizaremos una tabla compacta con lo que requiere cada uno de los subprocesos y la descripción de importancia de ellos.

La etapa de recepción requiere de una iniciación de manera manual, por eso en nuestro esquema tenemos un “actor”, el cual está capacitado para comprobar la calidad por medio de una prueba, al igual que el uso del paro de emergencia. El instrumento clave para dicha prueba es el lactodensímetro el cual esta calibrado para funcionar a una temperatura que será dada por nuestro primer tanque. Con relación al PLC y la pantalla HMI, investigamos respecto los diferentes controladores que pudiesen adecuarse a nuestras necesidades, esto con el fin de lograr un interfaz hombre-maquina, algunas de estas marcas son Siemens, Schneider, Festo y Xinje, cada uno de estos tiene sus ventajas, desde módulos de expansión hasta protecciones a diferentes situaciones ambientales, además para evitar sobre costos en la comunicación se buscara que nuestros instrumentos tengan el mismo software o lenguaje.

Algunas características de los PLCs mencionados anteriormente son:

- a. **Siemens** (S7 200), lenguaje Ladder, Step 7, gama media-alta, alimentación VDC 24V /VAC 265V, 14 Inputs/12Outputs.
- b. **Xinje** (XP1), HMI integrado, Serie XC1, gama media-alta, alimentación VDC 24V, 10 Inputs/8 Outputs.
- c. **Festo** (CPX), lenguaje Ladder, gama básica, Profinet, alimentación VDC 24V, 12 Inputs/10 Outputs.
- d. **Schneider Electric** (M221), lenguaje Ladder, gama media, USB 2.0, alimentación VDC 24V, 8 Inputs/8 Outputs.

Tabla 1. Factores del proceso.

No.	Instrumento	Fase	Tipo	Descripción	No.	Instrumento	Fase	Tipo	Descripción
1	Sensor de temperatura	Recepción	Entrada, digital	Medición de la temperatura (15°C) para prueba de calidad.	7	Bomba 2	Descremado	Salida	Asociada a válvula 2 para llevar a descremadora.
2	Sensor de nivel	Recepción	Entrada, digital	Medición del nivel inicial de leche cruda.	8	Válvula 2	Descremado	Salida	Completamente abierta o cerrada para dar paso total.
3	Bomba 1	Recepción	Salida	Asociada a válvula 1 para el cambio de fase.	9	Descremadora	Descremado	-	Realiza el proceso de centrifugado, dando dos salidas.
4	Válvula 1	Recepción	Salida	Da paso a la fase de filtración de manera porcentual.	10	Sensor de temperatura	T. Térmica	Entrada, digital	Medición de la pasteurización.
5	Sensor de temperatura	Descremado	Entrada, digital	Para un proceso óptimo de descremado (35°C).	11	Sensor de nivel	T. Térmica	Entrada, digital	Medición de nivel luego del proceso descremado.
6	Sensor de nivel	Descremado	Entrada, digital	Evalúa el nivel actual luego de ser filtrada, analizar el proveedor.	12	Bomba 3	T. Térmica	Salida	Asociada a la salida del proceso pasteurización.

Nuestros instrumentos de medición de temperatura y nivel pueden ser tomados en consideración como iguales, dado que los tanques poseen las mismas dimensiones y en cuanto a la temperatura se maneja el mismo rango, lo cual nos lleva a plantear instrumentos los cuales su costo no sea demasiado alto y a su vez no sea necesario el uso de un tercero para la calibración, un circuito anexo o un módulo de comunicación con nuestro PLC. Para nuestros sensores de temperatura se plantean como primera opción las PT100 (clase A), esto tomando en consideración las configuraciones de nuestro PLC, al dar un valor como coeficiente de temperatura, el controlador logra realizar la linealización, el rango de trabajo de este sensor va de -50°C a 180°C, el cual es adecuado para nuestro proceso tomando precaución en nuestra fase de pasteurización.

Basado en esto, podemos incluir instrumentos IFM, esta consta de una comunicación diferente y para su correcta utilización debemos anexar un módulo master a nuestro PLC, en estos instrumentos podemos tomar como opción el TA231, siendo un transmisor de temperatura con un rango de -50°C a 200°C , entre otros.

La selección del sensor de nivel se ve sujeta a las dimensiones del tanque y la cantidad de litros que este puede almacenar, se plantean como opciones sensores de tipo industrial por su durabilidad, pero a su vez se descartan como solución los sensores ultrasónicos por su costo, por esto, se propone el LMT102, teniendo en cuenta de igual forma el módulo adecuado, se debe tomar en consideración que algunos tanques son adecuados para esta industria incorporando sensores de presión y/o caudalímetros, Inoxpa [9] nos da un claro ejemplo llevando a cabo la automatización de diferentes empresas dentro del sector, mediante diferentes instrumentos compactos como se pueden ver en los anexos.

Debido al diseño y economía, las bombas centrifugas son indicadas para la industria láctea, una de ellas es la HYGINOX SE, teniendo protecciones mecánicas, un diseño sanitario, compacto y eficiente (INOXPA, 2020). Además, el caudal que permite se encuentra dentro del rango dado por el proceso, cada una de esta ira relacionada con una válvula de fase.

La selección de las electroválvulas se ve ligada a la necesidad de la fase, el accionamiento, entre otros, es por esto por lo que una de nuestras opciones debe ser una válvula de control evitando el rebosamiento del producto en nuestra fase de filtración, para las demás fases podemos seleccionar electroválvulas las cuales cumplan con las condiciones sanitarias y su material no afecte el producto, es por esto que se seleccionan la seria INNOVA, la cual nos da una amplia gama de opciones para el adecuamiento de nuestra planta de procesos.

2.1 Descripción final del proceso automatizado

Se debe tener el personal capacitado para dar inicio al proceso mediante el HMI vinculado al PLC, luego de la prueba de calidad se da por iniciado el programa el cual será desarrollado en forma secuencial (Ladder), en donde recibiendo las características del tanque 1 se accionan la bomba y la válvula de control, esta tendrá una apertura porcentual dependiendo del nivel del tanque inicial, haciendo optimo el proceso de filtrado, al llegar al tanque 2 se busca la temperatura óptima para dar paso a la fase del descremado, cuando este factor se cumpla la bomba y válvula de dicha fase se accionaran, la descremadora por medio del centrifugado abrirá paso a la pasteurización esta fase se encuentra seleccionada por el personal mediante el HMI antes de iniciar el proceso general, todo eso puede observarse en la Figura 4. Los datos de nivel serán comparados para de esta forma tener control de los proveedores y se tendrá un paro de emergencia (Gonzáles et al., 2016).

3. Conclusiones

La automatización requiere de una inversión inicial que puede parecer costosa, pero disminuye el gasto energético, aumenta el consumo de agua y evita las largas jornadas laborales, a su vez, genera facilidad al momento de realizar cambios en el proceso de producción según los tipos de leche analizando los datos anteriormente adquiridos.

Los instrumentos seleccionados en dicho artículo ofrecen una solución completa para la elaboración de diferentes procesos lácteos, el tiempo de producción se ve reducido al igual que las pérdidas por rebosamiento y error humano.

Referencias

- Departamento administrativo de planeación. (2018). *Anuario estadístico 2018*.
<http://www.antioquiadatos.gov.co/index.php/anuario-estadistico-2018>
- Escobar, R., Arestegui, M., Moreno, A., & Sánchez, L. (2013). *Catálogo de maquinaria para procesamiento de lácteos*.
- Gil, C. (2019). Bomba centrífugas. *Kemampuan Koneksi Matematis (Tinjauan Terhadap Pendekatan Pembelajaran Savi)*, 53(9), 1689–1699.
- González, A., Ramírez, J., Jaramillo, D., López, S., Rodríguez, C., Vélez, E., & Araque, C. (2016). Manual de Producción y Consumo Sostenible Gestión del Recurso Hídrico Sector Lácteo. In *Corantioquia*.
https://www.sectorial.co/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=110&Itemid=255. [Accessed Septiembre 2015].
- Guaraca Pino, E. C., & Guaraca Sigüencia, L. A. (2019). *Guía técnica para la pasteurización de la leche* (Vol. 53, Issue 9). [https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/33798/2/Guía Técnica del proceso de Pasteurización de leche.pdf](https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/33798/2/Guía%20Técnica%20del%20proceso%20de%20Pasteurización%20de%20leche.pdf)
- Hidalgo, P. (2020). *Dirección de cadenas pecuarias, pesqueras y acuícolas*.
[https://sioc.minagricultura.gov.co/OvinoCaprina/Documentos/2020-06-30 Cifras Sectoriales.pdf#search=ovino](https://sioc.minagricultura.gov.co/OvinoCaprina/Documentos/2020-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf#search=ovino)
- Holmann, F., Rivas, L., Carulla, J., Rivera, B., Giraldo, L. A., Guzmán, S., Martínez, M., Medina, A., & Farrow, A. (2004). Producción de leche y su relación con los mercados; caso Colombiano. In *X Seminario de Pastos y Forrajes, Centro Internacional de Agricultura Tropical*. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/tropileche/books/Produccion_leche_relacion_mercados_caso_Colombia.pdf
- INOXPA. (2020a). *Equipos y soluciones para la industria láctea*.
<https://www.inoxpa.co/industrias/lactea#accept>
- INOXPA. (2020b). *Miniplanta Elaboración Productos Lácteos INOXPA*.
- INOXPA. (2020c). *Pasteurizador HTST - Tratamiento térmico INOXPA*.
<https://www.inoxpa.es/productos/producto/pasteurizador-htst>
- Lopez, A., & Vasquez, S. (2009). Costos de producción lechera en Colombia, problemas y oportunidades. In *Universidad Eafit*.
- Ltd., K. A. I. P. (2020). *Bulk Milk cooler*.
- Ministerio de agricultura, y desarrollo R. (1999). *Colección de documentos IICA serie competitividad no. 12 acuerdo de competitividad de la cadena láctea colombiana*. 12.
- Ministerio de agricultura y desarrollo, R., & Ministerio de comercio industria y, T. (2016). *Implementación política para mejorar la competitividad del sector lácteo nacional*.
[https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Documents/INFORME UE FASE 2 - SEGUNDO TRAMO VARIABLE %28MARZO 2016%29.pdf](https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Documents/INFORME%20UE%20FASE%202%20-%20SEGUNDO%20TRAMO%20VARIABLE%20MARZO%202016.pdf)
- Ministerio de agricultura, y R. (2010). *Catálogo de maquinaria para procesamiento de lácteos*.
- Olivares, M., & Carvajal, M. (2015). *Desarrollo de un yogur de Arazá bajo en calorías endulzado con stevia y sucralosa*.
- Rosales, A. (2019). *Los Sensores de Temperatura Más Usados en la Industria*. Akribis.
<https://www.akribis.info/web/los-sensores-de-temperatura-mas-usados-en-la->

industria/?v=d72a48a8ebd2

Siemens. (2020). *Instrumentación de campo para la automatización de procesos*.

4. ANEXOS

Figura 5. Descremadora TGT-50X



Nota. Tomado de Olivares, M., & Carvajal, M. (2015). Desarrollo de un yogur de Arazá bajo en calorías endulzado con Stevia y sucralosa.

Figura 6. Marmita pasteurizadora 150LT



Nota. Tomado de Ministerio de agricultura, y R. (2010). Catálogo de maquinaria para procesamiento de lácteos.

Figura 7. Sensores de temperatura



Nota. Tomado de Lopez, A., & Vasquez, S. (2009). Costos de producción lechera en Colombia, problemas y oportunidades. In Universidad Eafit.

Figura 8. Tanque de refrigeración



Nota. Tomado de Ltd., K. A. I. P. (2020). Bulk Milk cooler.

Figura 9. Bomba centrífuga



Nota. Tomado de Gil, C. (2019). Bomba centrífugas. Kemampuan Koneksi Matematis (Tinjauan Terhadap Pendekatan Pembelajaran Savi), 53(9), 1689–1699.

Figura 10. Miniplanta de proceso lácteo Inoxpa



Nota. Tomado de INOXPA. (2020b). Miniplanta Elaboración Productos Lácteos INOXPA.

Figura 11. Miniplanta de proceso lácteo Inoxpa



Nota. Tomado de INOXPA. (2020c). Pasteurizador HTST - Tratamiento térmico INOXPA.