

Diseño e implementación del sistema de control de presión constante para la Pasteurizadora Quito

Lenin Gonzalo Falconí Estrada, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito – Ecuador
Ana Verónica Rodas Benalcázar, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito – Ecuador

Resumen – La Pasteurizadora Quito requiere implementar un sistema de presión constante para abastecer continuamente de agua a las nuevas máquinas de producción a ser instaladas. Para lo cual, se diseña un tablero de control conformado por un par de variadores de frecuencia, un PLC y un transmisor de presión. Los variadores regulan la velocidad de cada bomba mediante un control de lazo cerrado PI de presión. El PLC coordina el funcionamiento del sistema, permitiendo alternar las bombas, acoplarlas según demanda o sustituir una bomba en caso de fallo, con lo que se obtiene un sistema robusto para la planta.

Índices – Bombas Centrífugas, Controlador Lógico Programable, PID, Presión Constante, Variadores de frecuencia.

I. INTRODUCCIÓN

La utilización de los variadores de frecuencia en el ámbito industrial se ha incrementado en los últimos años. Los desarrollos tecnológicos de los distintos fabricantes permiten ofertar una serie de soluciones adaptadas a los requerimientos de diferentes procesos, abarcando desde los sistemas de bombeo, sistemas transportadores de carga y sistemas de posicionamiento de precisión.

El diseño del sistema de control de presión constante para la Pasteurizadora Quito, contempla el dimensionamiento y selección de 2 variadores de frecuencia para el control de lazo cerrado de presión. El control de presión se lo realiza mediante los reguladores PID integrados en los variadores de frecuencia.

Para la correcta operación del sistema, es necesario conocer las características mecánicas de las bombas así como de su configuración, ya que la variación de la velocidad de la bomba modifica su curva de respuesta. Una vez entendido el sistema mecánico a accionar se procede a la programación tanto del variador como del PLC que coordinará las funciones generales del sistema.

II. SISTEMAS DE BOMBEO

Se define como sistema de bombeo al conjunto de tuberías, válvulas, bombas y demás equipos por los cuales un líquido fluye. Su objetivo principal es el transporte del

líquido para su uso. El corazón de este sistema es la bomba, equipo encargado de imprimir movimiento al fluido.

A. Curva de Sistema

La mayoría de sistemas de bombeo tienen una combinación de carga estática y dinámica. Una curva de sistema es la representación gráfica de la altura requerida por el sistema para todos los valores de caudal. Los componentes principales del sistema son:

Static head: es la diferencia de altura entre el punto de entrada del sistema y el punto más alto de descarga.

Working Head: es la altura que debe estar disponible para el sistema en una localidad específica para satisfacer los requerimientos de diseño.

Friction head: es la altura requerida por el sistema para vencer la inercia del mismo a fluir a través de las tuberías, válvulas, bridas, uniones, etc.

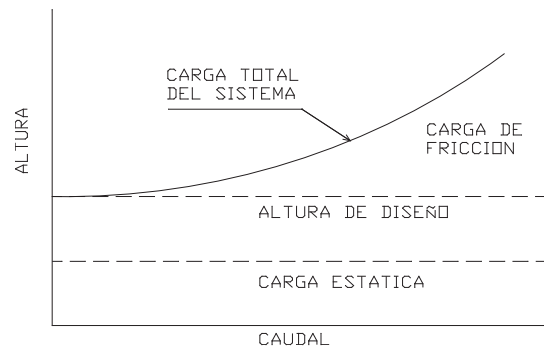


Fig. 1. Curva de Sistema

B. Bombas Centrífugas

En 1687, el físico Denis Papin inventó la bomba centrífuga, la misma que es básicamente una máquina de velocidad que convierte la energía mecánica en energía de presión (head) del líquido. En la actualidad, para generar la velocidad de la bomba, normalmente se utiliza el motor trifásico asíncrono que será el encargado de transformar la energía eléctrica en energía mecánica suministrada a la bomba. El uso de este tipo de motor obedece precisamente a las mejoras en la tecnología de los variadores de frecuencia y en el nivel de aislamiento de los motores actuales.

El comportamiento de las bombas centrífugas se conoce a

través de curvas que relacionan variables como: altura, potencia, rendimiento, etc., en función del caudal.

Como muestra la Figura 2, la curva de eficiencia muestra un punto de máximo conocido como punto de mejor eficiencia. Para este punto se obtiene una presión y un caudal en la bomba con el mínimo de pérdidas y la mejor utilización del equipo.

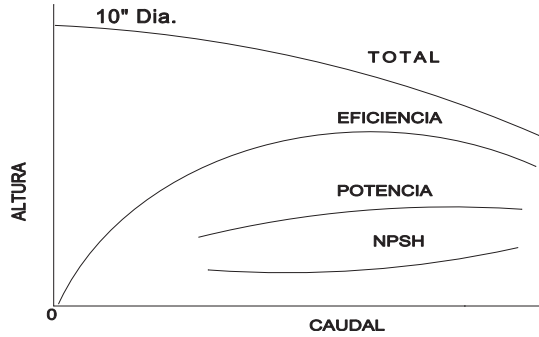


Fig. 2. Curvas Características de Bomba Centrífuga

El punto de operación del sistema se define como la intersección entre la curva de sistema con la de la bomba. La bomba deberá ser seleccionada de tal manera que su punto de trabajo esté en la zona de alto rendimiento de la misma.

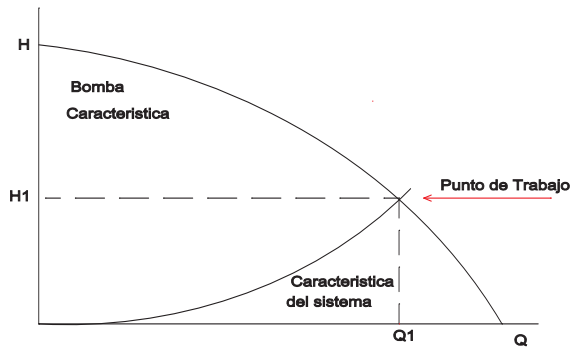


Fig. 3. Punto de trabajo de la bomba

Sin embargo, no siempre es posible seleccionar una bomba que cumpla el requerimiento antes señalado. En estos casos, existen varios métodos para ajustar el rendimiento de la bomba a las condiciones del sistema.

Uno de estos métodos es el control de velocidad, el cual mediante la utilización de motores trifásicos de inducción y variadores de frecuencia permite variar el caudal de la bomba de tal manera que el consumo de potencia (KWH) se reduce de manera considerable, permitiendo un retorno de la

inversión a través de un consumo de energía eléctrica más eficiente. Por ejemplo, las Leyes de Afinidad, indican que una reducción al 50% de la velocidad, implica una reducción al 12.5% de potencia.

Adicionalmente al ajuste de rendimiento de las bombas, existen diferentes tipos de configuraciones que se pueden realizar dependiendo de las características del sistema. En el caso de la Pasteurizadora Quito, las bombas están instaladas en una configuración en Paralelo. Este tipo de configuración se utiliza en sistemas de alta carga estática, donde el requerimiento de caudal puede ser superior al que provee una sola bomba.

Como muestra la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la configuración en paralelo permite *sumar* los caudales de cada bomba para la presión requerida.

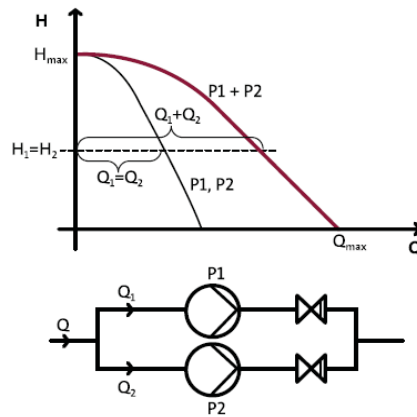


Fig. 4. Configuración en paralelo

III. SISTEMA DE CONTROL

Para mantener la presión constante en el sistema de bombeo instalado en la Pasteurizadora Quito, se dispone de 2 bombas de 7.5 KW @ 220 Vac instaladas en paralelo. Cada bomba está controlada por medio de un variador de frecuencia.

La presión del sistema se retroalimenta a través de un transmisor de presión instalado en el manifold de la tubería y cuya señal de corriente se conecta a los variadores y al PLC. De Adicionalmente, las señales de nivel de cisterna y nivel de líquido en bomba, se conectan al sistema de control, para tomar acciones correctivas en el sistema En la Figura 5 se indica un diagrama de la solución implementada.

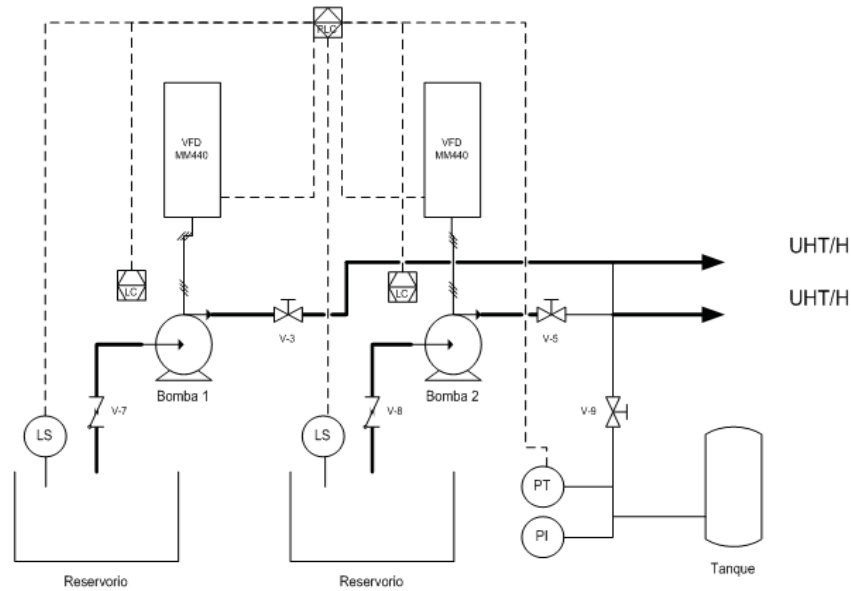


Fig. 5. Sistema de control

A. Variadores de Frecuencia de Corriente Alterna

1) Principio de Funcionamiento:

El variador de frecuencia es un convertidor estático de energía eléctrica que permite modificar la corriente trifásica alterna (AC) en otra de voltaje y frecuencia variable. De esta Manera, este convertidor permite actuar directamente sobre la velocidad de un motor trifásico de inducción, debido a la relación existente entre la velocidad sincrónica (n_s), que es la velocidad a la que gira el campo magnético del estator, y la frecuencia (f), como se indica en (1).

$$n_s = \frac{120f}{p} \quad (1)$$

En la ecuación (1), p es el número de polos del motor de inducción.

Un variador de frecuencia de AC está conformado principalmente por:

Etapas de rectificación: utiliza diodos o tiristores controlados, para convertir AC en DC. **BUS de DC:** provee de voltaje DC para la etapa de inversión, está formada por un circuito de precarga con resistencias y capacitores.

Etapas de inversión: consiste en un inversor trifásico conformado por un arreglo de 6 semiconductores de alta potencia (IGBTs, GTO, Mosfet, BJT) con diodos de corriente libre (free wheeling). Los semiconductores son conmutados a frecuencias en el orden de los kHz (generalmente de 2 a 16 kHz), en conducción a 180° o 120° según un algoritmo de modulación por ancho de pulso sinusoidal. Este tipo de modulación permite disminuir considerablemente las pérdidas armónicas en el motor. Sin embargo, como resultado de las altas frecuencias de conmutación y la capacitancia propia del cable motor – variador, se generan corrientes de fuga que producen pérdidas en el convertidor. Si el cable es más largo, el efecto se amplifica, haciendo

necesario el uso de reactancias de salida para eliminar el efecto capacitivo parásito del cable. Normalmente, los fabricantes indican la longitud máxima a la que está diseñado el inversor. Si bien los variadores al usar una fuente de alimentación trifásica de AC eliminan los armónicos de tercer orden, las interferencias electromagnéticas generadas por la alta frecuencia de conmutación en el cable del motor pueden afectar otros equipos cercanos como los PLCs. Por esta razón, se recomienda utilizar cables apantallados entre el convertidor y el motor junto con una práctica de separar el cableado de potencia de los variadores de las señales de control e instrumentación. La norma IEEE-519 pone límites a la distorsión de voltaje y corriente. Normalmente se acepta que la distorsión de estas variables sea menor al 5%.

En la Fig. 6 se puede observar un ejemplo de inversor estático de 6 pulsos conformado por IGBTs.

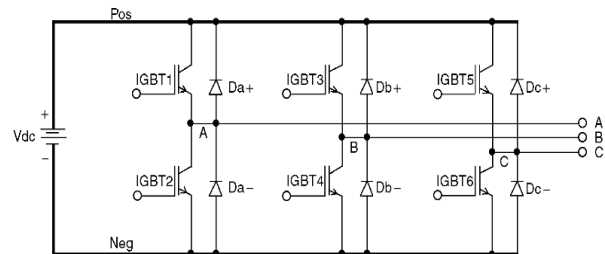


Fig. 6. Inversor de 6 pulsos

2) Dimensionamiento y selección:

Los variadores de frecuencia para la Pasteurizadora Quito son dimensionados en función de los requerimientos de potencia y control. Las bombas instaladas requieren una corriente nominal de 24.6 A a una tensión de 220 Vac. El variador seleccionado es el 6SE6440-2UC27-5DA1, que puede proveer de 42 A en torque variable hasta 1000 msnm.

Con la depreciación del equipo con respecto a la altura, se dispone de 35.7 A.

3) Variación de la velocidad en un sistema con alta carga estática.

El sistema de presión constante que requiere la Pasteurizadora Quito, se puede definir como un sistema con alta carga estática, ya que en este tipo de sistema, la curva del mismo se caracteriza porque empieza desde un valor dado de presión o altura y se trata de mantener dicha altura de manera independiente del caudal. Sin embargo, la curva de este tipo de sistema no sigue las curvas de eficiencia constante, sino que más bien las corta, lo cual produce que la eficiencia de la bomba cambie al variar de la velocidad. De hecho y como se aprecia en la

Fig. 7, donde se describe la curva de este tipo de sistemas, al reducir la velocidad, baja el rendimiento que esta puede proporcionar.

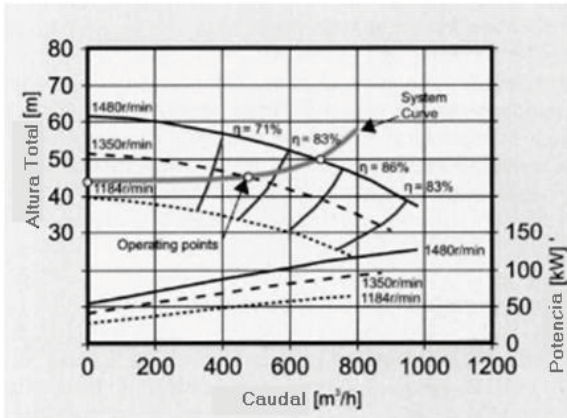


Fig. 7. Variación de velocidad en sistema de alta carga estática

4) Programación del VFD

La configuración y programación de las funcionalidades de los variadores se realizó mediante el programa Starter de Siemens. Este programa permite realizar una puesta en marcha rápida del accionamiento, permitiendo acceder de manera más fácil a los distintos parámetros de configuración del equipo.

Cada variador dispone de un regulador PID integrado en su firmware. Dicho regulador es el encargado de mantener la presión constante del sistema mediante la variación de la velocidad de la bomba.

La Fig. 8 muestra el juego de parámetros asociados al controlador PID del variador. La obtención de los valores del regulador se puede obtener partiendo de la función de auto sintonización que integra el variador.

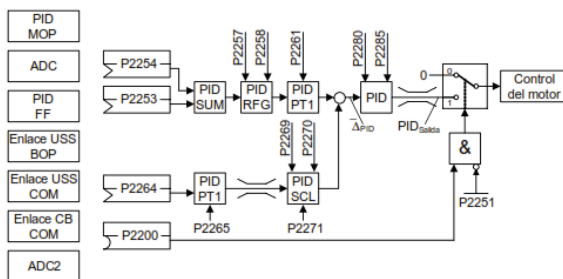


Fig. 8. Regulador PID del VFD

B. PLC

El desarrollo de los primeros PLCs empezó en la década de 1970. Desde ahí en adelante la tecnología, capacidades y características de los mismos han venido evolucionando, permitiendo acoplarse a las exigencias cambiantes de la industria. Cada vez se dispone de equipos más rápidos y capaces de integrar una gran cantidad de señales digitales y analógicas. Así mismo, las capacidades de comunicación de los PLCs son cada vez más abiertas integrando buses de campo estándares. El software de programación de los mismos también ha sido mejorado permitiendo la integración de reguladores PID, reguladores difusos y funciones matemáticas complejas.

El PLC utilizado para llevar a cabo las tareas de control del sistema de la Pasteurizadora Quito es el PLC Logo de Siemens. El entorno de programación para dicho PLC se conoce como Siemens Logosoft Comfort.

El programa de control se edita utilizando el lenguaje de programación FUP, mediante la interconexión de bloques de función.

Las diferentes acciones que el PLC decida se toman en función del estado actual del sistema. Para esto, se utiliza la señal del transmisor de presión, la señal de los flotadores de las cisternas de alimentación y la señal de un equipo que vigila el nivel de líquido en el cabezal de la bomba.

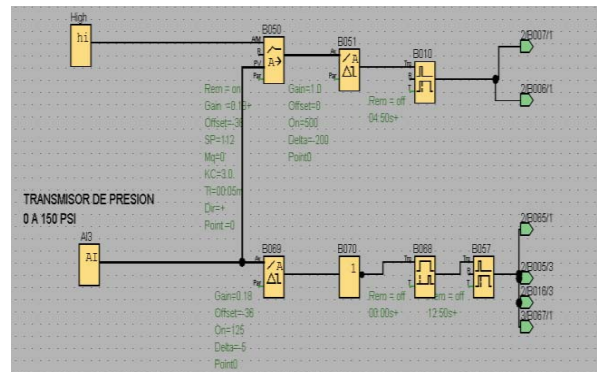


Fig. 9. Programación en Lenguaje FUP

IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

Durante la puesta en marcha del sistema se realizaron varias pruebas para verificar el funcionamiento deseado del mismo. Las pruebas contemplaron desde la revisión del cableado eléctrico del tablero, la coordinación de protecciones eléctricas frente a cortocircuito y sobrecarga, así como las pruebas de desempeño de los variadores durante operación.

El desempeño de los variadores y por tanto del regulador PID se evaluó recolectando datos a través del software Starter. La respuesta típica del sistema frente a una entrada escalón es la que se muestra en la siguiente Fig. 10.

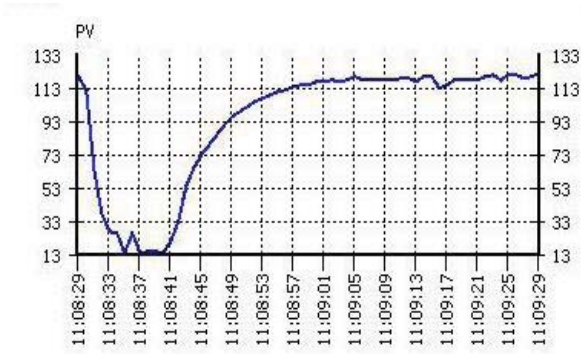


Fig. 10. Respuesta Escalón

El tablero diseñado para el control de presión constante se indica en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



Fig. 11. Tablero de control de presión constante

V. CONCLUSIONES

La utilización de variadores de frecuencia permite realizar soluciones de ingeniería eficientes en el consumo energético y sostenible en producción.

El sistema programado y configurado permite mantener la presión constante para el consumo de agua de la máquina pasteurizadora y homogenizadora, con un tiempo de recuperación adecuado para las necesidades de la planta.

El correcto funcionamiento de un sistema motor – variador reside fundamentalmente en el correcto dimensionamiento de las partes eléctricas y mecánicas del mismo. Una bomba mal dimensionada puede dar lugar al apareamiento de fallas que pueden ser detectadas por el variador.

Por los resultados logrados, se concluye que los objetivos planteados por el proyecto han sido cumplidos. El sistema presenta un nivel de presión constante durante operación y una activación conveniente de la bomba auxiliar para suplir con el caudal requerido por las máquinas homogenizadora y de UHT instaladas en la Pasteurizadora Quito.

VI. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la colaboración de la directora Ana Rodas, Silvana Arévalo y mi familia en la consecución del presente proyecto.

VII. REFERENCIAS

- [1] BARNES Malcom, “Practical speed drives and Power electronics”, Elsevier 2003, Oxford UK.
- [2] BROWN Martin, “Siemens Standard Drives Application Handbook”, Siemens Standard Drives 1997, Congleton.
- [3] EUROPUMP and Hydraulic Institute, “Variable Speed Pumping: A guide to successful applications”, Elsevier Advanced Technology 2004, Oxford, UK.
- [4] INDUSTRIAL ELECTRONICS SERIES, “The Power Electronics Handbook”, CRC Press 2002, USA.
- [5] PEERLESS Pump Company, “System Analisis for pumping equipment selection”, Peerless Pump Company 2005, Indianapolis, Indiana.
- [6] SIEMENS, “Micromaster 440 0.12 kW – 250 kW Instrucciones de Uso”, Siemens 2006.
- [7] SIEMENS, “Micromaster 440 Lista de Parámetros”, Siemens 2006.
- [8] SIEMENS, “Logo Manual del Producto”, Siemens 2008.
- [9] SIEMENS, “PI closed loop control for MM420 and MM440”, Siemens 2007.



VIII. BIOGRAFÍA

Lenin Gonzalo Falconí Estrada. Nació el 5 de junio de 1984 en la ciudad de Quito. Los estudios primarios los realizó en la Escuela Experimental Municipal Espejo. Los estudios secundarios los realizó en el Colegio Municipal Experimental Sebastián de Benalcázar con especialización en Ciencias Físico Matemáticas. Participó en el Concurso Nacional de Física Albert Einstein del 2002, obteniendo el 5to lugar a nivel nacional. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en 2013. Actualmente desarrolla proyectos de control y automatización para la empresa Inasel, formándose dentro del programa Solution Partner de Siemens en las áreas de MicroAutomation y Drive Technology.

Áreas de interés: Física, robótica, lenguajes de programación, control de movimiento, sistemas scada, automatización industrial, música.

(entetenea@gmail.com)

Ana Rodas Benalcázar. Ingeniera en Electrónica y Control y Master en Gerencia Empresarial con Mención en Operaciones. Profesor principal del Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional. Sus áreas de interés incluyen: instrumentación, control de procesos y electrónica de potencia.