

CONSTRUCTION AND ANALYSIS OF A CONTROL VALVE IN AN OPEN LOOP COOLING SYSTEM

CONSTRUCCION Y ANALISIS DE UNA VALVULA DE CONTROL EN LAZO ABIERTO EN UN SISTEMA DE REFRIGERACION

MSc(c). Emil Hernández Arroyo

Universidad Pontificia Bolivariana-Bucaramanga

Tel.: 57-7-6796220, Ext. 463

E-mail: emil.hernandez@upbbga.edu.co

Abstract: This deals with the project of design, construction and implementation of a control valve in open loop for the cooling system of the pilot plant, located in the laboratory of the Universidad Pontificia Bolivariana Bucaramanga branch. The design parameters are determined by the properties of the system named above, and its construction is made simple and economical. Similarly, adjusting for control, a LOGO! RC 12/24. The result is the graphic output flow vs. temperature in the heat exchangers. It also proposes the optimal working temperature for the cooling system.

Keywords: Flow, valve, cooling system, open loop control.

Resumen: Este documento se basa en el desarrollo del proyecto para el diseño, construcción e implementación de una válvula de control en lazo abierto, para el sistema de enfriamiento de la planta piloto, ubicada en el laboratorio de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. Los parámetros de diseño se determinan según las propiedades de funcionamiento del sistema anteriormente nombrado; y su construcción se hace de forma sencilla y económica. De igual forma, se adapta para su control, un LOGO! 12/24 RC. Como resultado, se obtiene la grafica caudal vs temperatura de salida en los intercambiadores de calor. También, se propone la temperatura óptima de trabajo, para el sistema de enfriamiento.

Palabras clave: Flujo, válvula, sistema de refrigeración, control en lazo abierto.

1. INTRODUCCION

El campo de la industria a nivel mundial, ha venido automatizando los procesos de producción de distintas áreas; para volverlos más eficientes y confiables. De este modo, aumentar la calidad y producción de los mismos.

Al realizarse un proceso de automatización, se disminuyen las posibilidades de error, debido a que el operador no interviene directamente en ellos; por tanto, se pueden excluir errores provenientes de la negligencia o descuido.

La automatización de sistemas industriales, es un proceso que se ha venido desarrollando desde la revolución industrial de 1945. Cuando se siente la necesidad de aumentar la producción del textil. Desde entonces, el gremio industrial ha visto la posibilidad de mejorar rápidamente en sus procesos (independientemente del área en que se desarrollen). Siendo el control de caudal de un flujo, uno de los más desarrollados, debido a que interviene en más de un proceso (Algunos como: Alimentación, petrolera, acueducto, etc.).

Iniciándose con la creación de numerosos sistemas de válvulas manuales para la regulación del caudal; hasta la implementación de sistemas neumáticos, hidráulicos y electrónicos; que posicionan el vástago de la válvula. [1].

La automatización de una válvula, se realiza para regular la cantidad exacta de un fluido, necesario en un determinado tiempo dentro de un proceso. Existen dos posibilidades para la regulación automatizada: En lazo abierto y en lazo cerrado; las cuales se basan en, fijar el caudal sin posibilidades de auto corrección (*on-off*), y fijar el caudal con la posibilidad de auto corrección; respectivamente.

Con la finalidad de mejorarse, la eficiencia y la producción de un proceso industrial, disminuyendo gastos, en los insumos de producción y en horas hombre para cada sección del proceso, se genera la instalación de una válvula de automatización. Al sistema de refrigeración de la planta piloto de la Universidad Pontificia Bolivariana se le instaló una válvula de compuerta en lazo abierto, controlada a través de un LOGO! 12/24 RC (PLC); con el fin de controlar el caudal del refrigerante (agua), y lograrlo variar con gran exactitud el caudal en 11 posibilidades.

El porcentaje de caudal alcanzado en cada una de las posiciones, fue realizado por medio de pruebas experimentales. De igual forma, se verificó el aumento de la eficiencia del sistema de refrigeración. Este proceso se llevo a cabo de forma experimental, por falta de información del fabricante de los intercambiadores de calor de casco y tubos; y porque la válvula de compuerta no es utilizada para sistemas de retracción del caudal en posiciones intermedias del vástago (completamente abierta o cerrada).

Se realizaron las tablas y gráficas pertinentes, donde se muestra los datos obtenidos de las diferentes pruebas. De igual manera, se especifica el caudal aproximado, para alcanzar una alta eficiencia por el sistema de refrigeración; donde se refleja, que el sistema debe ser modificado ya que su diseño fue sobredimensionado [2].

2. METODOLOGIA

Para que el prototipo de la válvula de compuerta, controlada por el LOGO!, en lazo abierto; pudiese regular el caudal del refrigerante del sistema de refrigeración; fue necesario repartirse en varios aspectos:

2.1 Diseño

Para iniciarse el diseño de la válvula de control, se tuvo en cuenta los siguientes parámetros de trabajo del sistema de refrigeración:

- Presión máxima: 60 PSI
- Tipo de refrigerante: Agua
- Temperatura máxima del refrigerante: 100 °C
- Diámetro de la tubería: 2 pulgadas

Con esto se determinó las propiedades de trabajo necesarias para la válvula. Luego de esto, el diseño se subdividió en los siguientes apartados.

2.1.1 Programación del LOGO

Se diseñó de tal forma, que sólo cumpla la función de comparar dos señales (externa e interna), en la cual encienda y apague el motor, en un sentido de giro (determinado por la diferencia de señal). Esta programación permite aumentar o disminuir el número de posibles posiciones del vástago. Igualmente ayuda a otorgar mayor exactitud en las posiciones de apertura.

2.1.2 Transmisión de potencia:

La transmisión de potencia diseñada para este sistema, está compuesta por varios mecanismos; las cuales son:

- **Tornillo sinfín - corona:** para transmitir el movimiento desde el motor al vástago de la válvula; y al engranaje recto de la señal interna (potenciómetro multivoltas de 10K) ver características (tabla 1). Se escogió por ser un reductor de velocidad y amplificador de potencia. La diferencia de velocidad es de 70.

Tabla 1. Características del tornillo sinfín

	Tornillo sinfín	Corona
# de Dientes	1	70
Diámetro Exterior	20 mm	72 mm
Diámetro de paso	18 mm	70 mm
Paso	3.1416	3.1416
Modulo	1	1
Material	Bronce fosforado	Baquelita

- **Engranajes rectos:** Transmite el movimiento entre el eje de la corona al potenciómetro interno multivoltas de 10K (Señal interna). La diferencia de velocidad es de 0.862 características en la tabla (2).

Tabla 2. Características de engranajes.

	Engranaje del eje	Engranaje del potenciómetro
# de Dientes	25	29
Diámetro Exterior	27	31
Diámetro de paso	25	29
Paso	3.1416	3.1416
Módulo	1	1
Material	Bronce fosforado	Bronce fosforado

- **Ejes:** Fueron diseñados según los parámetros de trabajo de cada eje ver figura 1 y figura 2:

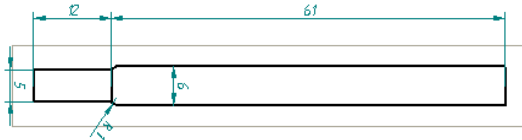


Fig. 1. Eje del tornillo sinfín:

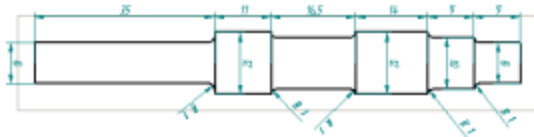


Fig. 2. Eje de la corona:

El material de ambos ejes es acero inoxidable 316L.

- **Acoples:** Se implementó tres sistemas diferentes de acoples: [7].
 1. **Ajustes.**
 2. **Prisionero:** Tamaño del prisionero es de M5, con una profundidad mínima de 6 mm.
 3. **Polygon standards PC4:** son las características de diseño del acople,

Cada acople está compuesto por dos sistemas diferentes:

- **Acople para el eje del motor y tornillo sinfín:** Tienen el ajuste forzado y un prisionero, respectivamente.
- **Acople para el eje de la corona y vástago de la válvula:** Tienen ajuste forzado y el sistema del polygon standards PC4, respectivamente.
- **Acople para el engranaje recto de 29 dientes y potenciómetro multivoltas de 10K:** Tienen el ajuste forzado y un prisionero, respectivamente.

- **Acople del tornillo sinfín y eje del tornillo sinfín:** Tienen el ajuste forzado y un prisionero, respectivamente.
- **El acople de la corona y del engranaje recto de 25 dientes:** son de ajuste forzado sobre el eje de la corona.

Circuito electrónico: Se diseñó una fuente que trabajara con una entrada de 120V CA, y una salida entre 0-24V CD. Para ser utilizada ya sea por el motor o por la señal análoga del LOGO!.

Base y recubrimiento del sistema de la válvula:

La base fue diseñada para sostenerse y ajustarse por el cuerpo de la válvula. Igualmente para sostener y alinear el sistema de transmisión de potencia; también, para sostener la parte electrónica. [4].

Los materiales provistos para su diseño fueron: Lamina estructural A-36, barra cuadrada de 5/16 y ángulos de 3/4 x 3/4 x 1/8.

2.2 Construcción

La construcción se llevó a cabo según lo correspondiera cada pieza (ver figura 3).

El sistema de transmisión de potencia se llevó a cabo por maquinado (Torno y fresa).

La estructura de la base y recubrimiento de la válvula se llevo a cabo por corte de cizalla, y ensamblada por soldadura 6013- 33 y tornillos con tuerca.

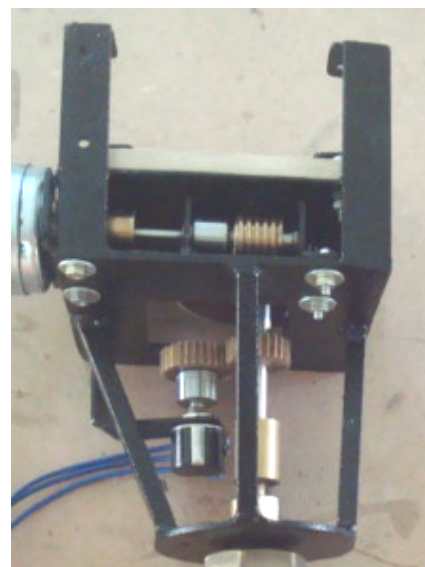


Fig. 3. Partes internas de la válvula

2.1.1 Implementación en sistema de refrigeración

La válvula de compuerta en lazo abierto, se instaló en el sistema de refrigeración con la implementación de una unión universal de dos pulgadas, y dos (XXX) para poderse desmontar y montar con facilidad.



Fig. 4. Válvula instalada

Una vez instalada (ver figura 4), se realizaron varios tipos de pruebas:

1° Prueba: Se encendía el sistema de refrigeración por un tiempo determinado, donde se medía la presión en algunos puntos del sistema de refrigeración; luego se apagaba y se medía el volumen de refrigerante almacenado en una tasa. Este procedimiento se repitió 11 veces.

2° Prueba: Se encendía la caldera, una vez que se estabilizaba, se encendía el sistema de refrigeración. Luego se determinaba la mayor apertura de la válvula, se apuntaban las temperaturas y presiones; de distintos puntos del sistema de refrigeración y la línea de vapor proveniente de la caldera. Este proceso se realizó con el ventilador encendido de la torre de enfriamiento, y se repetía 11 veces, según las posiciones estipuladas en la primera prueba.

3° Prueba: Se repite el proceso de la prueba # 2, pero con el ventilador apagado de la torre de enfriamiento.

3. ANALISIS DE RESULTADOS

Los datos obtenidos de las pruebas, fueron (ver tabla 3):

3.1 Primera Prueba

Tabla 3. Prueba del % de apertura de la válvula.

% de Apertura de la válvula	Volumen (ml)	tiempo (s)	Caudal (ml/s)	Presión de carga (PSI)	Presión de descarga (PSI)	Δ de presión (PSI)	ρ(Kg/m³)
100	0.07452	16.79	0.00442656	35	19	16	997.207
90	0.07452	17	0.00437188	34	19	15	997.207
80	0.0735	17.2	0.00427872	34	19	15	997.207
70	0.07322	16.85	0.00434564	35	19	15	997.207
60	0.072	16.94	0.00429075	36	19	17	997.207
50	0.06954	16.5	0.00421477	36	18	18	997.207
40	0.06855	17.01	0.00403014	40	18	22	997.207
30	0.06134	16.92	0.00362534	45	11	29	997.207
20	0.04441	17.15	0.00258968	56	11	45	997.207
10	0.00372	17.07	0.00021774	60	11	49	997.207
0	0	17.12	0	60	11	49	997.008

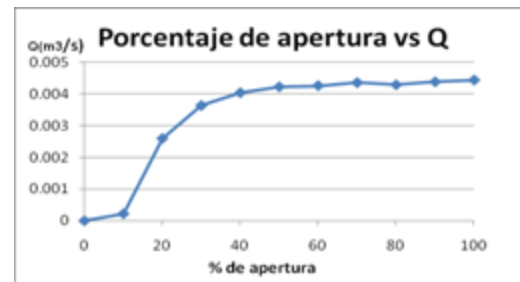


Fig. 5. Gráfica de la prueba de apertura

Como se puede observar en la fig. 5, el caudal del sistema de refrigeración, aumenta en proporciones considerables hasta el 50% de apertura, después de este, la variación es mínima. Este comportamiento es completamente aceptable, ya que la característica de válvula es de apertura rápida.

3.2. Segunda Prueba

Datos del sistema de refrigeración:

Tabla 4. Datos del sistema de refrigeración

(%) de apertura	T ₁ (°C)	P ₁ (PSI)	T ₂ (°C)	P ₂ (PSI)	T _{S2} (°C)	P _{S2} (PSI)
100	24	37	22	22	23	18
90	24	37	22	22	23	18
80	24	37	22	22	23	17
70	24	37	22	22	23	17
60	24	38	23	22	24	17
50	24	39	23	21	24	17
40	24	40	23	21	24	16
30	24	44	23	20	24	15
20	24	54	23	16	24	13
10	24	65	23	14	26	10
0	25	70	58	13	60	9

Datos de la línea de vapor:

Tabla 5. Datos de la línea de vapor

(%) de apertura	T ₁ (°C)	P ₁ (PSI)	T _{S1} (°C)	P _{S1} (PSI)	T ₂ (°C)	P ₂ (PSI)	T _{S2} (°C)	P _{S2} (PSI)
100	125	17	29	18	34	17	24	18
90	125	17	28	18	31	17	24	18
80	125	17	27	18	28	17	24	18
70	125	17	27	18	28	17	24	18
60	125	17	27	18	27	17	24	18
50	125	17	27	18	27	17	24	18
40	125	17	27	18	27	17	24	18
30	124	17	26	18	26	17	24	19
20	124	17	26	18	26	17	24	19
10	124	17	29	18	26	17	24	19
0	123	17	40	18	28	17	24	19

El sistema de refrigeración consta de dos intercambiadores de calor de casco y tubos, de diferente longitud. Las siguientes tablas de resultados de las transferencias de calor, hacen referencia al de menor longitud. Ya que cuando se trabaja con la turbina, el sistema de refrigeración solo trabaja con un intercambiador.

El análisis de la transferencia de calor que se realiza en el intercambiador de calor de casco y tubos, se hace por sumatoria de energías, por falta de datos del fabricante. Y para determinar un caudal con el cual se aumente la eficiencia del sistema refrigeración, se supone que los intercambiadores están completamente aislados en la superficie. Por tanto, los resultados son sólo una aproximación del valor real.

$$m_v(hi_v) + m_a(hi_a) = m_v(hs_v) + m_a(hs_a) + m_{aire}(\bar{h}_{aire}) \quad (1)$$

$$q_a = AU \cdot \left[\frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \right] \quad (2)$$

$$Q_a = \frac{m_a}{r} \left[\frac{Kg/s}{Kg/m^3} \right] \quad (3)$$

Se realizan dos tipos de pruebas diferentes; una con el ventilador de la torre de enfriamiento encendido y otro apagado; para determinarse los parámetros con los que se aumentaría la eficiencia del sistema de refrigeración.

Se puede observar que la transferencia de calor aumenta con respecto al caudal de paso, pero disminuye con el aumento de la temperatura del refrigerante.

Por tanto, se obtiene mayor eficiencia con el ventilador encendido.

Se toma el mayor coeficiente de transferencia de calor de las dos pruebas y se determina el caudal necesario, a partir de la transferencia de calor, en las condiciones con la que se espera que trabajara el sistema de refrigeración

Transferencia de calor deseada: 16.524 KW.

	Encendido	Apagado
Caudal (m ³ /s)	0.00014	0.00015

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La transferencia de calor del sistema de refrigeración es proporcional al caudal de paso e indirectamente proporcional a la temperatura del refrigerante.

Si el caudal del intercambiador de casco y tubo de menor longitud para alcanzar la transferencia de calor deseada, no llega ni al 10% de apertura de la válvula, mucho menos lo hará el de mayor longitud, debido a que aumenta el área de transferencia.

Se recomienda cambiar la bomba del sistema de refrigeración para disminuir la velocidad del refrigerante. De esta forma, se disminuirá el caudal de paso por el sistema.

Presionar a los fabricantes de los intercambiadores de calor de casco y tubos, para que entregue los datos faltantes; y de esta forma determinarse un dato real con el que se pueda comparar y determinarse la verdadera eficiencia que debe alcanzar el sistema de refrigeración.

REFERENCIAS

- [1]. Caroli, Enrique. *Válvulas de control*. En 2008 [Citado en 2009] website: <http://www.monografias.com>.
- [2]. Comeval Corporation. Empresa especializada en el diseño y producción de válvulas. En 1974 [Citado en 2009] website: <http://www.comeval.es>.
- [3]. Mosquera, Luis. "Control e Instrumentación". N° 24. Bucaramanga; I. M., 1992.
- [4]. Viana, Camilo. *Pérdidas en válvulas*. En 2008 [Citado en 2009] website: <http://fluidos.eia.edu.co>.
- [5]. Siemens Corporation. *Manual del LOGO! 12/24 RC*. En 1996 [Cit. el 2009] website: <http://www.automation.siemens.com>.
- [6]. Hidalgo, Manuel. *Engranaje*. En 2007 [Cit. en 2009] website: <http://es.wikipedia.org>.
- [7]. Mott, Robert. *Diseño de elementos de máquinas*. 4 Ed. México D.F., Pearson Education, 2006.
- [8]. Hamrock, Bernard, Jacobson, Bo, y Schmid, Steven. *Elementos de máquinas*. 1 ed., México, D.F., McGraw- Hill, 2000.