

PROTOTIPO FUNCIONAL DE UNA ELECTROVÁLVULA PROPORCIONAL DE BAJO COSTO CON VÁSTAGOS FIJOS Y DESPLAZAMIENTO AXIAL

Juan Fernando Ramírez Correa

Jose Daniel Arroyave Gomez

Tecnología Electromecánica

Elkin Edilberto Henao Bravo

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

23 de nov 2015

RESUMEN

El costo de una válvula analógica de control con señal electrónica es elevado (superior a un millón de pesos la más básica), incluso para los tamaños más comerciales. Cuando se compara ese valor, con la suma de costos de los insumos para convertir una válvula manual en una automática, se observa que es posible desarrollar dispositivos que cumplan la misma función de control con alta confiabilidad, eficiencia y menor precio del que se consigue en el mercado. Por lo tanto se diseñó e implementó el acople mecánico de los vástagos así como el soporte de los cuerpos de la válvula y el motor. Dichos dispositivos se realizaron para válvulas de vástago fijo así como para válvulas de vástago con desplazamiento axial. Adicionalmente se desarrolló un sistema de accionamiento electrónico para controlar la apertura de la válvula. Este proyecto se ha venido desarrollando dentro del marco del semillero de Automática del Instituto Tecnológico Metropolitano.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a todos los miembros del semillero de automática y control que con su apoyo y sugerencias este proyecto poco a poco fue desarrollándose de una manera óptima. Especialmente a John Alexander Isaza que fue la persona que nos motivó para incursionar en el semillero como en el proyecto, a Elkin Henao por asesorarnos en el transcurso del proyecto tanto escrito como funcional y aportar con su conocimiento a solucionar algunos inconvenientes que se nos fueron presentando al pasar los días. También agradecer a los profesores Javier Castrillón por el diseño en 3D de las válvulas y Marco Tulio por ayudar a plasmar la idea del buje para la válvula de vástago ascendente y finalmente agradecer a Gabriel, laboratorista de Máquinas y Herramientas por su asesoría en la realización de las piezas que se necesitaban maquinar (bujes y soporte).

TABLA DE CONTENIDO

- Introducción.....4
- Marco teórico.....6
- Metodología.....10
- Resultados y discusión.....20
- Conclusiones recomendaciones y trabajo futuro.....24
- Referencias.....25

1. INTRODUCCIÓN

- **Generalidades**

Los principales elementos finales de control (EFC) dentro de un sistema de automatización son las válvulas. Los elementos finales de control (EFC) pueden ser los reguladores de velocidad, reguladores de energía y las válvulas que son las más utilizadas industrialmente.

Las válvulas son el principal EFC dentro de un sistema de automatización y pueden ser de diferentes tipos que son apropiados para varios procesos industriales específicos, ejemplo de ellas son: Válvula de compuerta, válvula de aguja, válvula mariposa, entre otras. También se agrega en este sistema los actuadores que, como su nombre lo indica, actúan sobre otros cuerpos para así lograr la apertura o cierre de manera autónoma, hay actuadores neumáticos, hidráulicos, magnéticos, etc.

En este proyecto se realiza un prototipo funcional de una electroválvula a bajo costo y por lo tanto la pequeña y mediana industria es la población beneficiada, ya que mediante el desarrollo de este proyecto se puede adquirir una electroválvula a un menor costo, estas válvulas a nivel local son muy costosas (un millón cien mil pesos M/L sin cumplir con todas las especificaciones requeridas), y con un control de apertura automatizada para los diferentes procesos que se presentan industrialmente, pensando en mejorar el proceso por medio de la automatización. Además también las pueden utilizar instituciones de educación superior para enseñar de una manera más tangible la importancia de estas.

Con este tipo de dispositivo es posible modificar la circulación de diferentes tipos de fluidos, permitiendo controlar las cuatro variables fundamentales en los sistemas industriales: Nivel, Flujo, Presión y Temperatura.

Por lo cual en el semillero de investigación en Automática se está trabajando en la construcción de un prototipo de válvula automática con control electrónico de bajo costo. Para el desarrollo del proyecto se cuenta con los recursos que nos brinda el ITM.

Para empezar se expondrá el marco teórico para dar un contexto sobre el funcionamiento de una electroválvula y sus partes; luego comentaremos en la metodología la descripción del proceso que se llevó a cabo como es la mano-factura de sus partes, la utilización de recursos y la implementación de las piezas; después se mostrarán los resultados que sirven para demostrar el funcionamiento del dispositivo desarrollado, su curva característica y los errores encontrados en el proceso. Hacia el final del informe se encuentran las conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro. Por último se listarán las referencias usadas en la elaboración del informe y el proyecto.

- **Objetivos**

- 1.2.1. General**

- Desarrollar un prototipo funcional de una electroválvula proporcional de bajo costo con vástagos fijos y desplazamiento axial.

- 1.2.2. Específicos**

- Diseñar un soporte y acople entre el motor y las válvulas de vástago fijo y de desplazamiento axial.

- Implementar un sistema de accionamiento electrónico para controlar la apertura de las válvulas.

- Validar el funcionamiento de las válvulas frente a diferentes modos de operación.

2. MARCO TEÓRICO

La automatización y el control industrial se conforman por varios elementos (hardware y software) que se encargan de modificar las variables del proceso para garantizar mayor eficiencia, eficacia y efectividad. Como hardware se refiere a todos los elementos que modifican la información y como software a los algoritmos que condicionan la toma de decisiones.

Los procesos industriales automatizados se encuentran en todo tipo de industria, estos contienen lazos de control que involucran etapas como el ajuste de dicho proceso, aquí se identifica básicamente un elemento conocido como elemento final de control, el cual recibe una señal y toma decisiones para corregir una variable física del proceso.

Se encuentran diferentes tipos de elementos finales de control, estos reciben la señal del controlador para así modificar el flujo de masa y/o energía del proceso. Este proyecto se enfoca principalmente en controlar el EFC (elemento final de control); entre ellos se encuentra la válvula, que son el 95% o más de las aplicaciones en las que interviene un EFC. Esta juega un papel muy importante en el bucle de regulación, realiza la función de variar el caudal del material que fluye por ella y a su vez, el valor de la variable medida, comportándose como un orificio de área continuamente variable.

Una electroválvula se conforma por dos componentes, el cuerpo y el actuador. El cuerpo es el que está en contacto con el fluido y su geometría determina el diferencial de presión y el coeficiente de flujo; los cuerpos más utilizados en control son los de compuerta, globo, aguja y mariposa. El actuador es el encargado de convertir los pulsos eléctricos en pulsos mecánicos para abrir y cerrar la válvula de manera autónoma, los actuadores más utilizados para esto son: Los mecánicos, eléctricos, electromagnéticos, electro-neumáticos y electro-hidráulicos. Normalmente el accionamiento es el que determina qué tipo de válvula es, por ejemplo una válvula solenoide se refiere a las que tienen un actuador electromagnético. Las

válvulas neumáticas, de accionamiento eléctrico e hidráulico requieren de fuentes de alimentación continuas para realizar sus tareas de una manera óptima.

Hay gran cantidad de electroválvulas con modelos y formas de accionamiento distintos, el modelo más básico es la electroválvula con cierre o apertura total, es decir el paso del material por la tubería es nulo o máximo. Otro modelo es aquel que nos permite controlar la apertura de la válvula en cualquier posición entre su cierre total y su apertura máxima, incluso con diferentes curvas de comportamiento (ver imagen 1).

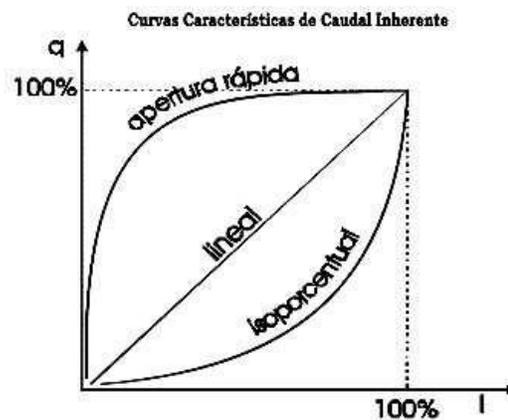


IMAGEN 1: TOMADO DE (ARCE MORENO, CONTRERAS, & LÓPEZ MUÑOZ, 2005)

Parte fundamental de una electroválvula es el acople entre el actuador y el vástago de las válvulas, la mejor opción es realizar un buje que es un componente mecánico cuya finalidad es la de conectar por fricción estática, dos o más elementos que pueden transmitir un momento de torsión y absorber un impulso axial (Casal, 2003).

En este proyecto se utilizaron dos tipos de válvulas, una de compuerta o denominada también válvula de tajadera, la cual al cerrarse se mueve de forma vertical al flujo del material controlando el caudal que pasa por esta (Creus, 2010), y una de aguja que es llamada así por el vástago en forma de cono que sirve de obturador a una perforación de pequeño diámetro en comparación con el diámetro nominal de la válvula. (Valvias, 2011)

Se seleccionó como actuador un sistema electromecánico basado en el uso de un motor paso a paso el cual es controlado por medio de un circuito electrónico programable. El motor paso a paso se compone de dos elementos, los cuales son el rotor y el estator. El estator es el elemento fijo del motor, el cual posee cierta cantidad de bobinas; a medida que se energizan los embobinados se produce un movimiento de rotación en la parte móvil de la máquina. En el rotor (parte móvil del motor) se tiene un imán el cual es el encargado de convertir los pulsos eléctricos en pulsos mecánicos y así crear movimiento en el rotor, lo que permite transmitir el torque que posee dicho motor.

"Los motores paso a paso, son motores libres de escobillas donde el movimiento de rotación se realiza en forma incremental, en pasos que van desde los 90° hasta ángulos menores a 1,8°, y también tienen la propiedad de poder fijarse a una posición" (Cuenca., 2007)

Un sistema electrónico programable es una forma genérica de llamar a todos los sistemas cuyas funciones se pueden variar mediante programación (software), partiendo de una misma base electrónica (hardware). Los equipos más representativos de esto son los ordenadores, aunque pueden contemplarse también los autómatas programables entre otros. (Hermosa Donante, 2004)

Hay pocas investigaciones formales que impliquen el desarrollo de prototipos funcionales de válvulas de control con accionamiento electrónico. Además que sean de bajo costo y que su desarrollo sea estandarizado para su producción en masa. En (Guerrero Meza, 2006), (Vargas Moran & Garcia Vergara, 2004) se presentan dos trabajos de grado de ingeniería donde se desarrollan prototipos de válvulas de control. El desarrollo de un prototipo de válvula de control isoporcentual es presentado en (Guerrero Meza, 2006); esta válvula es controlada por medio de un motor paso a paso y un micro-controlador. Solo es posible monitorear el comportamiento de la válvula a través de software y no se puede modificar su comportamiento inherente ni sus modos de operación. En otro trabajo presentado

(Vargas Moran & Garcia Vergara, 2004) se realiza el prototipo de una válvula de control de bajo costo para una aplicación específica (gas combustible) limitando su potencialidad; se emplea sensor de posición y motor de corriente directa (DC) para su control. En la literatura se encontró un documento formal presentado por la Universidad Pontificia Bolivariana (Reyes & Hernandez, 2011). En dicho documento se diseña y construye una válvula electrónica de control. Se realizan pruebas experimentales para caracterizar su comportamiento, pero nuevamente no se desarrollan algoritmos para modificar sus características inherentes.

3. METODOLOGÍA

En este proyecto se realizó una electroválvula de control de bajo costo, para este propósito fueron utilizados los siguientes elementos: Dos válvulas (con vástago fijo y ascendente), una válvula con vástago fijo, como su nombre lo indica, es la que gira entorno a su mismo eje. Mientras que la válvula de desplazamiento ascendente tiene un vástago que se desplaza a medida de que se da la apertura de la compuerta (Ver Imagen 2) o aguja (Ver Imagen 3) en este caso.



Imagen 2. Válvula de compuerta.



Imagen 3. Válvula de aguja.

También se necesitó un sistema electrónico programable que garantice el control de un motor paso a paso el cual gobierna la apertura y el cierre de dichas válvulas (Ver Imagen 4 y 5).

Como se mencionó anteriormente se usa un motor paso a paso como accionamiento para abrir o cerrar la válvula, dicho elemento es controlado por una tarjeta electrónica que se encarga de entregar la corriente necesaria para su funcionamiento a partir de unos pulsos de control entregados por un sistema electrónico programable.

3.1 Tarjeta Electrónica

El esquemático de la tarjeta electrónica que sirve como manejador del motor se observa en la imagen 2. En ella se observa un motor paso a paso unipolar que tiene conectado los terminales comunes de cada devanado directamente a Vcc (6V) y se utilizan 4 transistores NPN para conmutar la conexión a tierra de los restantes terminales. Dichos transistores se usan en modo de saturación y corte para que funcionen como interruptores y se controlan por señales que vienen del Arduino. Se usan diodos de protección, uno por cada embobinado. Debido a la necesidad que la referencia de apertura de la válvula sea entregada por un dispositivo externo, se agregó a la tarjeta una entrada de 0 a 10V que por medio de un divisor de voltaje y un amplificador operacional (OP-AMP) en modo seguidor, entrega dicha referencia al sistema programable. El cálculo de las resistencias R1-R4 depende de la corriente que requiere el motor para su funcionamiento y se calculan con las ecuaciones 1 y 2.

$$I_B = I_C / \beta$$

$$R = (V_{in} - V_{th}) / I_B$$

La variable I_B es la corriente de base del transistor la cual se calcula a partir de la ganancia en corriente (β) y la corriente de colector (I_C) la cual en este caso es la corriente nominal del motor.

La resistencia entonces depende del voltaje de entrada (V_{in}), el voltaje de umbral (V_{th}) del transistor usado y la corriente de base.

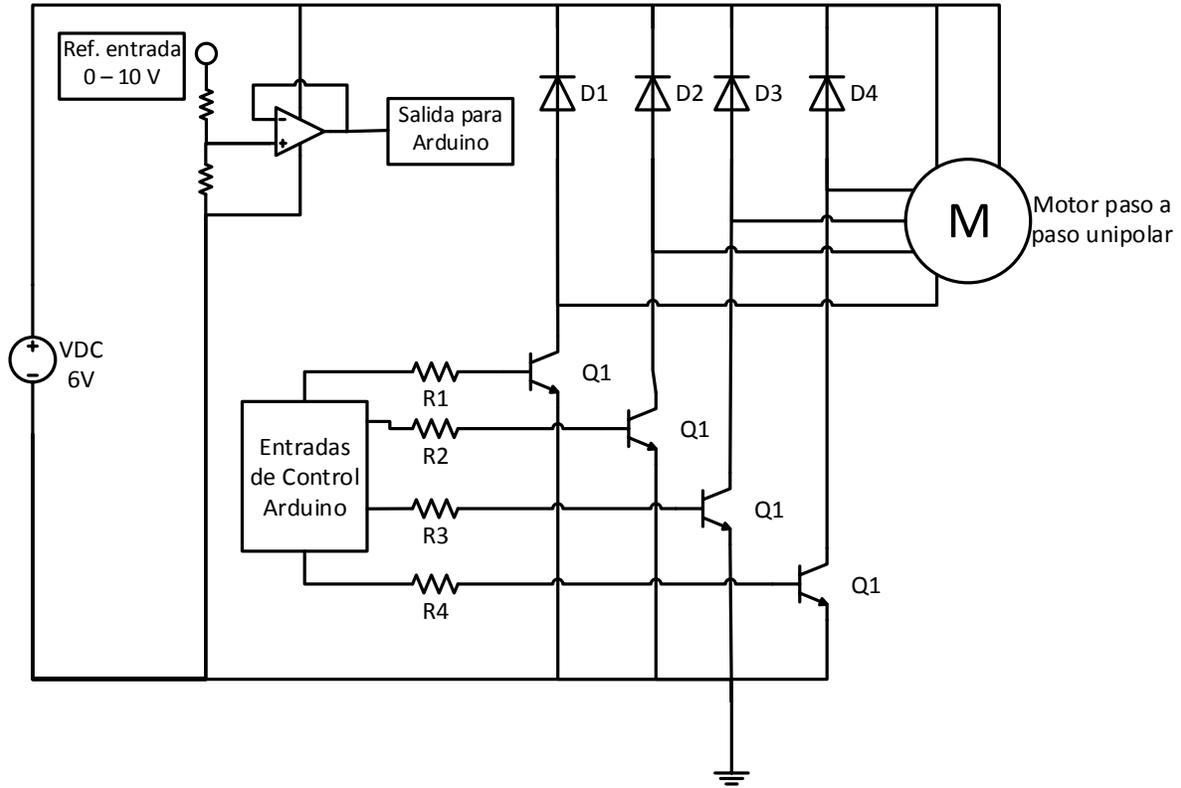


Imagen 4. Esquema de la tarjeta electrónica

3.2 Lógica de programación del sistema

El sistema electrónico programable usado es un Arduino mega 2560, pero puede ser reemplazado por cualquier microcontrolador de uso general. El algoritmo usado para el control de apertura y cierre de la válvula es mostrado en el diagrama de flujo de la imagen 3. La válvula es un actuador que recibe una entrada de un controlador que regula el flujo que está pasando por la tubería donde se encuentra. Para esto se tiene una entrada análoga que en el diagrama recibe el nombre de DatoEntrada. También es necesario que el algoritmo controle la posición del motor paso a paso que es finalmente quien mueve la válvula, para esta operación se han dispuesto cuatro salidas digitales del Arduino para poder generar una secuencia binaria que permite al motor moverse en el sentido que se necesita. Debido a que es posible que exista una falla de energía mientras que la válvula está en

funcionamiento, es necesario guardar la posición actual en una memoria EEPROM para evitar descalibración y por ende mal funcionamiento, en el diagrama esta variable recibe el nombre de DatoEEPROM.

El algoritmo empieza configurando los puertos del Arduino tanto para la entrada como las salidas. Luego inicializa las variables necesarias en el proceso, aparte de las dos mencionadas se usa Tolerancia y PasoMotor. Luego, el algoritmo entra en un ciclo que tiene como primer paso leer el dato proporcionado por el controlador y que se encuentra almacenado en DatoEntrada. El algoritmo usa como punto de partida para la posición el dato guardado en DatoEEPROM, de este modo se garantiza que la posición de arranque será la última que almacenada antes de una desconexión. La primera vez que se enciende el sistema DatoEEPROM será igual a cero.

Para evitar oscilaciones continuas de la válvula cerca del punto de operación que podrían disminuir su vida útil, se usó una tolerancia que evita que se dé una orden al motor en caso de que el valor absoluto de la resta entre DatoEntrada y DatoEEPROM sea menor que Tolerancia. En caso contrario, el algoritmo entra a un ciclo para abrir o cerrar la válvula dependiendo si DatoEntrada es mayor o menor que el valor almacenado anteriormente en DatoEEPROM. Estos ciclos incrementan o decrementan la abertura de la válvula en un solo paso del motor usando la variable PasoMotor. Los valores se actualizan en tiempo real en la memoria EEPROM en caso de falla eléctrica repentina.

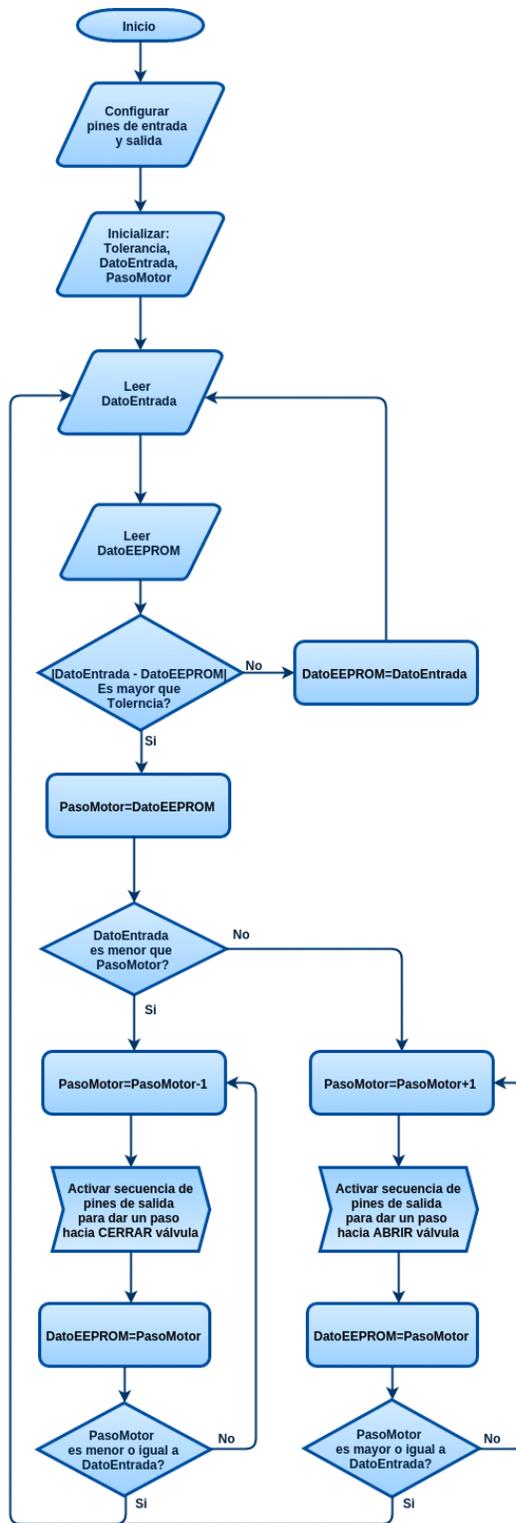


Imagen 5. Diagrama de flujo

3.3 Fabricación del acople y soporte

Para cada una de las válvulas se realizó el diseño de una pieza, el buje que garantiza la transmisión del torque desde el motor hasta el vástago. La mecanización de estos bujes (Ver Imagen 6) se realizó en un torno convencional en el taller de máquinas y herramientas. Primero que todo se cilindró y posteriormente se refrentó – Labrar en el torno un plano perpendicular al eje de la pieza. – (Real Academia Española, 2014) el material (barra de aluminio) que se utilizó para la realización de estos bujes, luego se realizaron las perforaciones con las brocas respectivas para la entrada del vástago y del rotor del motor, estas perforaciones se realizaron en el torno para garantizar que los agujeros fueran concéntricos, luego en el taladro se realizaron los orificios donde van los prisioneros que fijaran tanto al vástago como al rotor. Para el buje de la válvula de vástago ascendente (Ver Imagen 7) se realiza el mismo procedimiento que el buje anterior pero además en la fresadora se realizaron dos agujeros más para las guías que ayudan a transmitir el torque y permiten el desplazamiento necesario. Finalmente se tronza - Dividir o hacer trozos. – (Real Academia Española, 2014) el buje por la mitad.



Imagen 6. Buje elaborado en el laboratorio de máquinas y herramientas; el cual cumple la función de unir el eje del motor con el vástago de la válvula.



Imagen 7. Buje elaborado en el laboratorio de máquinas y herramientas, el cual cumple la función de unir el eje del motor con el vástago de la válvula.

Se realizó además un soporte que permite acoplar todos los elementos del sistema (Ver Imagen 8), esto es, motor y válvula, con el fin de garantizar que los dos elementos permanezcan inmóviles. El soporte en la parte superior posee cuatro orificios los cuales son los encargados de sujetar el motor, en la parte inferior solo contiene uno en el cual descansa el soporte sobre el cuerpo de la válvula.



Imagen 8. Prototipos maquinados y terminados, listos para ser probados.

Después que la parte mecánica estuviese lista, se tienen que alinear las piezas, para no tener problemas de fricción y obtener un torque que pueda lograr la apertura de la válvula y se pueda emplear el sistema de control del motor paso a paso. Para esto se programó un sistema electrónico que garantiza el funcionamiento óptimo, y se hace necesario el acondicionamiento electrónico, el cual corrige y amplifica aspectos a la señal recibida, para que la siguiente etapa del proceso funcione adecuadamente.

Luego se realizó el modelamiento 3D en Keyshot de los prototipos de la válvula de compuerta (Ver Imagen 9) y de la válvula de aguja (Ver Imagen 10) y así tener un respaldo grafico de alta calidad del proyecto realizado, además se realizaron los planos más detallado de cada una de las válvulas en SolidEdge (Ver Imagen 11 y 12).



Imagen 9. Render no paramétrico sobre el prototipo de la electroválvula tipo compuerta terminada.

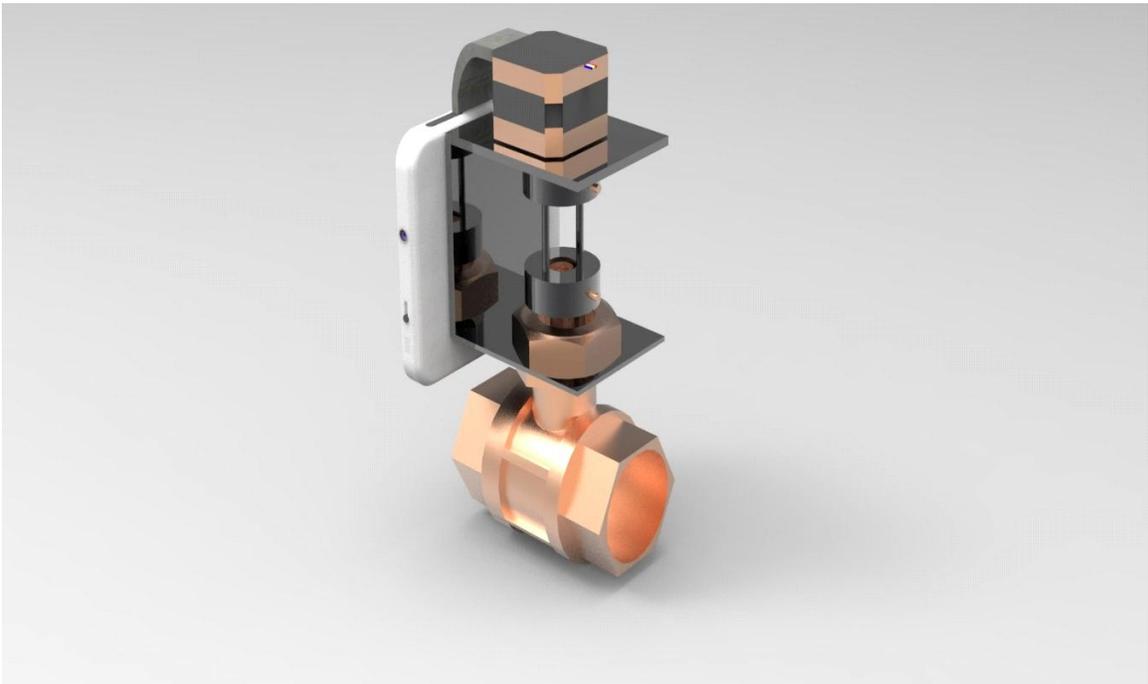


Imagen 10. Render no paramétrico sobre el prototipo de la electroválvula tipo aguja terminada.

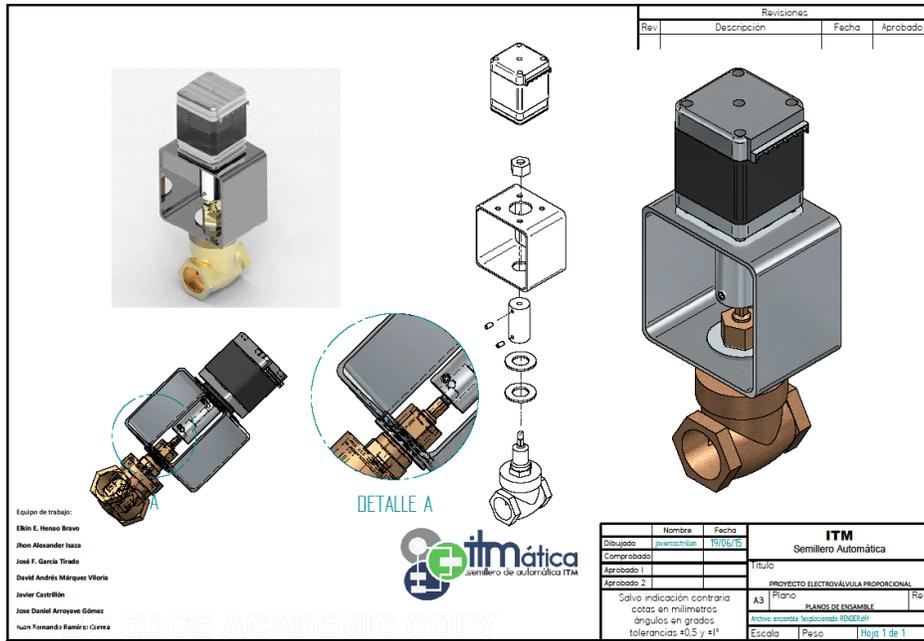


Imagen 11. Plano de la electroválvula tipo compuerta explosionada, detallando cada una de sus piezas.

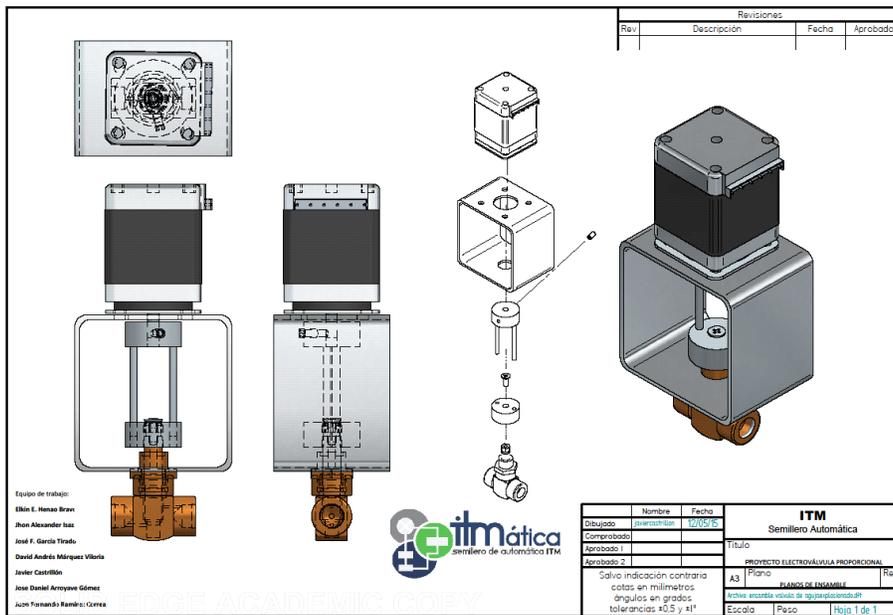


Imagen 12. Plano de la electroválvula tipo aguja explosionada, detallando cada una de sus piezas.

Se llevaron a cabo diferentes experimentos con una planta piloto para corroborar la validez del proyecto, en el cual se tuvieron en cuenta varios factores como son:

- Certificar que las piezas maquinadas quedan centradas.
- Buscar el torque necesario para poder garantizar el movimiento.
- Tener en cuenta la alineación de las piezas a la hora de realizar el acople.
- Encontrar la manera de tener la menor fricción posible a la hora del movimiento requerido.
- Garantizar 0 fugas a la hora del funcionamiento.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado de las pruebas de la válvula en vacío fue exitosa, por lo tanto se cumple el primer objetivo el cual es lograr la apertura de la válvula por medio de un dispositivo electrónico.

Se encontraron problemas de alineación entre las piezas y fugas, por lo tanto haciendo pruebas de ensayo y error se logró que la electroválvula funcionara en óptimas condiciones, para así poder realizar las pruebas en el banco (Ver Imagen 15).

Las pruebas que realizaron fueron tipo aforo. Primero se definió un volumen constante que en este caso fueron 10 litros, de ahí se controla la apertura de la válvula variando el voltaje entre 0v-11.93v (Ver Imagen 16) y se utiliza un cronómetro para medir el tiempo en que se llegaba al volumen establecido. También se realiza la prueba de manera descendente (11.93v-0v) para conocer el comportamiento del sistema en apertura y cierre. Los datos obtenidos en las pruebas se registran en la Tabla 1. Por la geometría y la curva de apertura de la electroválvula se puede decir que es de apertura rápida. (Ver Imagen 13 y 14.)

| Voltaje (V) | Tiempo (seg) | Volumen (m ³) | Flujo (m ³ /seg) |
|-------------|--------------|---------------------------|-----------------------------|
| 0 | 0 | 0,01 | 0 |
| 1 | 248 | 0,01 | 4,03226E-05 |
| 1,4 | 172 | 0,01 | 5,81395E-05 |
| 1,7 | 93 | 0,01 | 0,000107527 |
| 2 | 39 | 0,01 | 0,00025641 |
| 2,4 | 33 | 0,01 | 0,00030303 |
| 2,8 | 25 | 0,01 | 0,0004 |
| 3,4 | 23 | 0,01 | 0,000434783 |
| 4,2 | 21 | 0,01 | 0,00047619 |
| 5,4 | 20 | 0,01 | 0,0005 |
| 7,5 | 21 | 0,01 | 0,00047619 |
| 11,93 | 21 | 0,01 | 0,00047619 |
| 11,93 | 21 | 0,01 | 0,00047619 |
| 7,5 | 21 | 0,01 | 0,00047619 |
| 5,4 | 20 | 0,01 | 0,0005 |
| 4,2 | 21 | 0,01 | 0,00047619 |
| 3,4 | 23 | 0,01 | 0,000434783 |
| 2,8 | 25 | 0,01 | 0,0004 |
| 2,4 | 32 | 0,01 | 0,0003125 |
| 2 | 40 | 0,01 | 0,00025 |

| | | | |
|-----|-----|------|-------------|
| 1,7 | 59 | 0,01 | 0,000169492 |
| 1,4 | 102 | 0,01 | 9,80392E-05 |
| 1 | 260 | 0,01 | 3,84615E-05 |
| 0 | 0 | 0,01 | 0 |

Tabla 1. Datos obtenidos en la prueba de caudal.

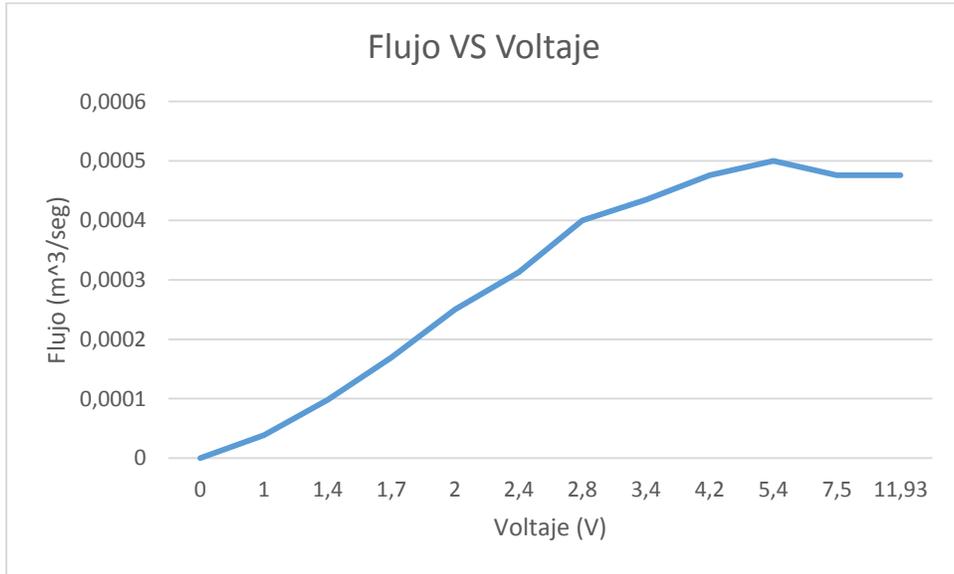


Imagen 13. Curva característica de la electroválvula de manera descendente.

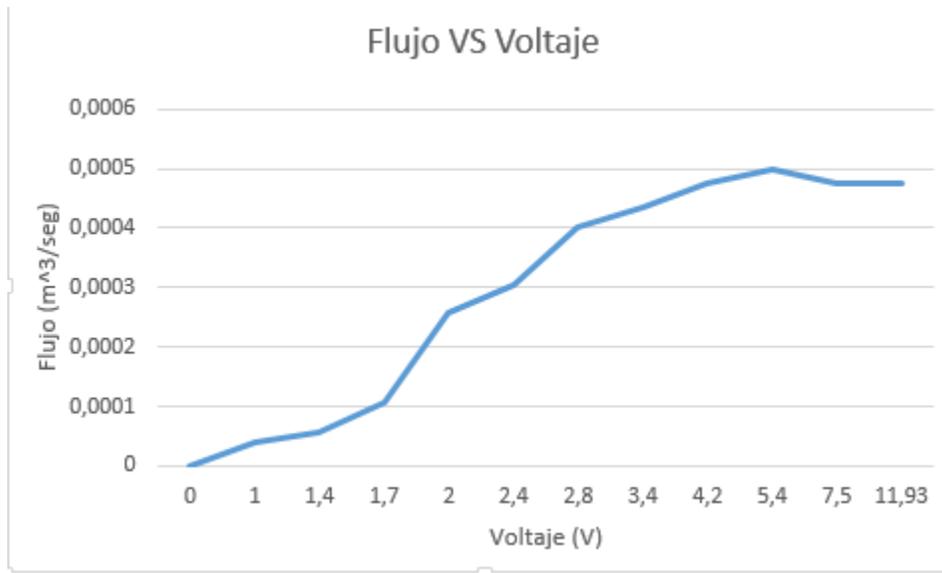


Imagen 14. Curva característica de la electroválvula de manera ascendente



Imagen 15. Pruebas con la electroválvula tipo compuerta en la planta piloto para hallar su curva característica.



Imagen 16. Variación del voltaje de 0 a 10v para calcular el caudal que tiene a 0v, 1v, 2v, 3v, 4v...

Así hallando el caudal cuando la válvula obtiene 3v, 4v...Hasta los 9v, también se lograron varios tipos de aperturas en la válvula, lo cual era lo que deseábamos por medio de la configuración de control (Ver figura 1).

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y

TRABAJO FUTURO

Se desarrolla un prototipo funcional de una electroválvula proporcional de bajo costo con vástagos fijos y desplazamiento axial, para esto se diseña un soporte y un acople entre el motor y estas, después se implementa un sistema de accionamiento electrónico para controlar la apertura de las válvulas; se nota que al recibir una señal de voltaje, la electroválvula presenta un cambio en su apertura generando una variación en el caudal y así validando el funcionamiento de las válvulas frente a diferentes modos de operación.

A medida que trabajamos en el proyecto se encontraron diferentes inconvenientes a la hora de realizar la electroválvula. El error principal era la alineación de los soportes, el cual se corrigió maquinando un nuevo prototipo donde los agujeros del motor y la válvula si estuvieran lineales, los bujes también se modificaron en su longitud para que se adaptaran al nuevo soporte, con esto se eliminaron fugas y movimientos no deseados entre el vástago y el rotor, entre otros.

Para trabajo futuro sería apropiado profundizar en cuales serían los materiales más adecuados para mecanizar dependiendo de sus características, nuevas ideas para futuros soportes y también reemplazar la fuente de voltaje por un PLC y a su vez, poder controlar la apertura de la válvula.

6. REFERENCIAS

Casal, A. (25 de Junio de 2003). Bujes de Sujeción. Recuperado el 17 de Septiembre de 2014, de Mecapedia: <http://www.mecapedia.uji.es/catalogos/buje/tecnopower.1.pdf>

Creus Solé, A. (2010). Instrumentación Industrial. México: Alfaomega.

Valvias. (16 de Mayo de 2011). Válvula de aguja. Recuperado el 26 de Febrero de 2015, de Valvias: <http://www.valvias.com/tipo-valvula-de-aguja.php>

Cuenca., F. D. (Mayo de 2007). Instituto balseiro, universidad nacional de cuyo. Obtenido de <http://www.ib.cnea.gov.ar/nmayer/monografias/pasoapaso.pdf>

Hermosa Donante, A. (2004). Electrónica Digital Fundamental. Barcelona: Marcombo.

Guerrero Meza, N. C. (2006). *Ingeniería e implementación de un prototipo parcial de una válvula de control de flujo*. Pamplona: Universidad de Pamplona.

Reyes, M. A., & Hernandez, E. (2011). Dispositivo electromecánico para accionamiento e implementación de una válvula de control en lazo abierto para una planta térmica. *inge@uan*, 48-51.

Vargas Moran, C., & Garcia Vergara, R. A. (2004). *Diseño, construcción y caracterización de una válvula de control de procesos para gas combustible*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Real Academia Española. (17 de Octubre de 2014). Diccionario RAE 23.ª edición. Madrid, España.

FIRMA ESTUDIANTES Juan Fernando Ramirez C.
Jose Daniel Arroyave Gomez

FIRMA ASESOR Erin E. Alonso B.

FECHA ENTREGA: 08/10/2015

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____