

Semiautomatización del proceso de corte por oxiacetileno

RESUMEN

Este documento expone el diseño e implementación de un prototipo electrónico que semiautomatiza la regulación de presiones de oxígeno y gas propano para el equipo cortador de metales marca VICTOR en la empresa MADECAR.

El objetivo de dicha implementación es garantizar la calidad del corte, puesto que el sistema ejecutado anteriormente tenía como inconveniente la no adecuada graduación del gas y el oxígeno, procedimiento que se llevaba a cabo con criterios manuales o empíricos.

ABSTRACT

This document shows the design and adaptation of an electronic prototype that is useful in the regulation of propane gas and oxygen pressures, by semiautomatic ways, for the metal cutting equipment VICTOR, in MADECAR.

The goal of the adjustment is to warrant easier methods to regulate the gas mixture used in the cutting (oxygen and propane gas), to look for a best cutting quality. This innovation is needed because the previous system had was no-suitable graduation of the cutting system: so this procedure was done by manual or empiric methods.



EDWARD HERNANDO BEJARANO BARRETO

Estudiante de Tecnología en Electrónica. VI Semestre.
Ha realizado estudios en redes y mantenimiento de computadores. Sus áreas de interés son la electrónica digital y el control electrónico.
e-mail: edwardud@hotmail.com



JULIE ANGÉLICA MUÑOZ CASTELBLANCO

Estudiante de Tecnología en Electrónica. VI Semestre.
Área de interés: telecomunicaciones.
e-mail: julieangelica@hotmail.com

Palabras clave

Presión, regulación, motorreductor, válvulas, control electrónico, interfaz usuario-máquina, operario, kilopascales, libras de presión.

Introducción

Este trabajo de grado se implementa en la empresa MADECAR, cuyo objeto social es la fabricación y reparación de carrocerías de estacas para camiones. En el desarrollo de este proceso de manufactura, se manipulan metales, entre ellos, aceros de diversos calibres. Entre muchos procedimientos, es necesario cortar estos materiales, actividad en que se emplea un equipo de corte oxiacetilénico.

La necesidad de desarrollar la semiautomatización planteada surge porque se emplean criterios manuales o empíricos para realizar la puesta a punto del cortador, como el color de la llama, que se deja a la experiencia práctica del operario.

Como la calibración se realizaba por prueba y error, podían presentarse variaciones en la intensidad de la llama del soplete; por tanto, las imprecisiones en los cortes involucraban pérdidas de materia prima, para el caso de temperaturas excesivas, y demoras en la ejecución de corte por baja temperatura en la llama.

El sistema base del equipo de corte está conformado por un tanque de oxígeno, un tanque de gas propano, tres válvulas de paso, un soplete, dos válvulas de calibración en el soplete, una boquilla, mangueras y demás accesorios.

En el desarrollo realizado se implementaron dos actuadores (electroválvulas proporcionales) que regulan las presiones de los gases. Estas válvulas son controladas por una etapa de potencia que suministra la corriente y el voltaje necesarios para su correcto funcionamiento. Esta etapa se rige por el control electrónico, que recibe las señales entregadas por los sensores y ordena a los actuadores el movimiento determinado.

Para la visualización se utiliza una pantalla de cristal líquido LCD 4x20 líneas con backlight (requerido para

trabajos en ambientes poco iluminados), en la que se muestran los valores medidos de las presiones a manejar y los datos que se introducen en el controlador.

El bloque de control también tiene como función tomar las señales de los transductores que miden la presión de los gases, enviando señales eléctricas proporcionales a las presiones de los mismos. Los datos para el corte son introducidos por el usuario desde un panel, en el que se escoge el calibre del metal a cortar (figura 1)^[1].

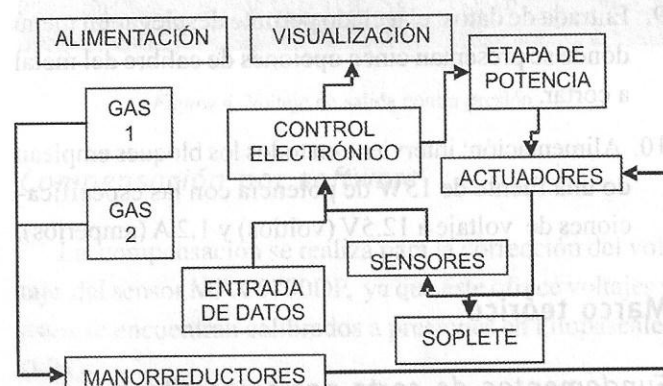


Figura 1. Diagrama funcional.

1. Gas 1, gas 2: gases contenidos en los tanques (oxígeno y gas).
2. Sensores de presión: ubicados a la entrada del soplete, su unidad de medida está dada en (Kpa) Kilopascales, que son convertidos a libras de presión en la parte de control.
3. Control electrónico: recibe las señales entregadas por los sensores; luego ordena a los actuadores la activación del grado de apertura de las válvulas. También permite la visualización en la pantalla y la toma de datos por el operario.
4. Visualización: se utiliza una pantalla de cristal líquido LCD 4x20 líneas con backlight, en la que el operario visualiza el calibre del metal a cortar. También muestra los datos de presión en un rango de 0 a 99 Psi (libra de presión).

5. Manorreductores: permiten regular las presiones de salida de los tanques de oxígeno y de gas propano. Su calibración se realiza manualmente a una presión máxima de 70 Psi.
6. Actuadores: electroválvulas que permiten regular las presiones de entrada en el soplete.
7. Soplete: elemento en que se mezclan el oxígeno y el propano para el corte del metal.
8. Etapa de potencia: suministra la potencia necesaria para los actuadores. También sirve como driver entre la etapa de control electrónico y las electroválvulas.
9. Entrada de datos: el teclado permite desplegar un menú donde se presentan cinco opciones de calibre del metal a cortar.
10. Alimentación: interviene en todos los bloques empleando una fuente de 15W de potencia con las especificaciones de voltaje a 12.5V (voltios) y 1.2 A (amperios).

Marco teórico

Fundamentos de corte por oxiacetileno

El corte por oxiacetileno se utiliza solamente para metales ferrosos. Uno de los aspectos más importantes del proceso es la oxidación del metal. Cuando se calienta un metal ferroso hasta ponerlo al rojo y se expone a la acción del oxígeno puro, ocurre una reacción química entre el metal caliente y el oxígeno, conocida como oxidación, en la que se libera una gran cantidad de calor.

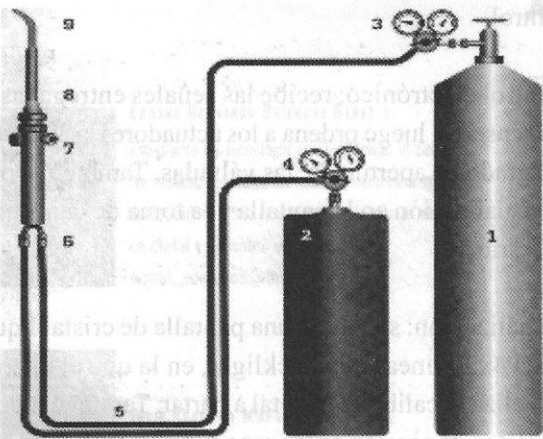


Figura 2. Equipo de oxigás.

Equipo de corte

1. Cilindro de oxígeno
2. Cilindro de gas propano
3. Regulador para oxígeno
4. Regulador para gas
5. Mangueras de gases
6. Válvulas antirretroceso
7. Válvulas de control de gas
8. Soplete
9. Boquilla de corte (*Véase figura 2*).

Sistema de oxigás

Un equipo de oxiacetileno está constituido por un cilindro de oxígeno y uno de combustible, que eventualmente podría ser acetileno, propano o mezclas afines a cada aplicación.

Cada cilindro requiere un regulador de presión, mangueras y soplete. El soplete actual es empleado tanto en soldadura y en corte, lo que es posible a través de simples cambios en los aditamentos que comprende^[2].

Manorreductores

Es un elemento mecánico que toma la presión existente en una cavidad o ducto de entrada y la reduce en una cavidad o ducto de salida. También se le denomina válvula de estrangulamiento o regulador de presión.

Los manorreductores están compuestos de dos cámaras, una alta y otra baja, entre las cuales existe una válvula que se mantiene cerrada por la presión ejercida por un resorte. La apertura de la válvula se realiza al girar el husillo, que empuja la membrana, y una varilla en contacto con la válvula.

La presión del gas se reduce al quedar estrangulado su paso por la válvula. Cuanto menor sea el paso, más reducida será la presión de la cámara baja.

Soplete

La función de un soplete es mezclar y controlar el flujo de gases necesarios para producir una llama oxigás. Un soplete consta de un cuerpo con dos válvulas de entrada, un mezclador y una boquilla de salida. Mejorando la versatilidad puede disponer de un equipo de soldadura y corte, sólo con el cambio de algunos elementos sobre un rango común.

Boquillas

Las boquillas para el corte están hechas con un anillo de agujeros o aberturas que rodean el agujero de oxígeno para el corte, los cuales suministran una flama de precalentamiento que produce una distribución uniforme del calor en el contorno del orificio para el oxígeno y permite cambiar en cualquier momento la dirección del corte.

Efecto piezoeléctrico

Este fenómeno físico se presenta en cristales. Cuando se aplica una presión mecánica en las caras de un cristal, aparece una diferencia de potencial eléctrico. El efecto funciona también a la inversa: cuando se aplica un campo eléctrico a ciertas caras de una formación cristalina, ésta experimenta distorsiones mecánicas^[3]

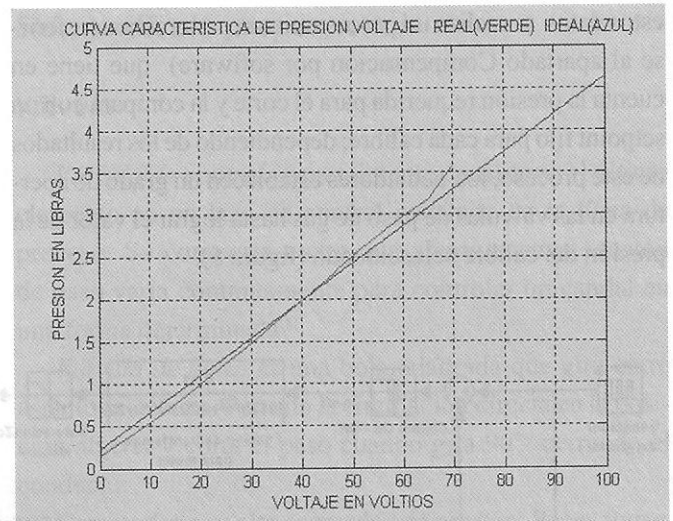


Figura 4. Voltaje de salida contra presión.

Diseño e implementación de la solución

Sensor de presión

El transductor piezorresistivo MPX5700 (figura 3) es un sensor de presión diseñado para un amplio rango de aplicaciones, pero particularmente se emplea en micro-controladores o microprocesadores con entradas análogas digitales (A/D). Teniendo en cuenta la curva característica del sensor ofrecida por el fabricante, se realizó una comparación entre ésta y la curva hallada en las pruebas, dando como resultado una muy buena aproximación a la curva ideal (figura 4)^[4]

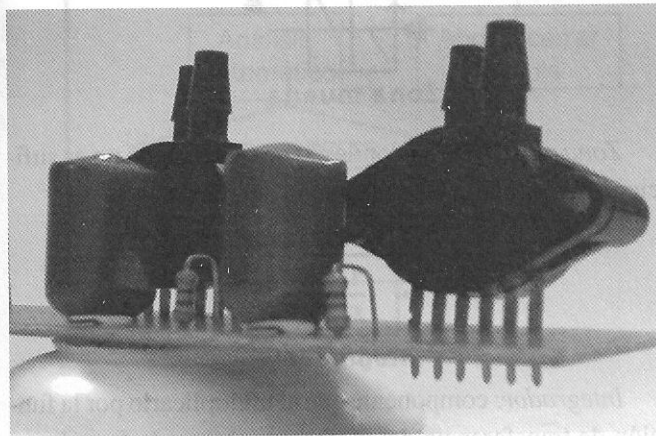


Figura 3. MPX5700DP.

Compensación por software

La compensación se realiza para la corrección del voltaje del sensor MPX 5700DP, ya que éste ofrece voltajes y estos se encuentran calibrados a presiones en kilopascales (kPa).

La compensación por software se realizó teniendo en cuenta que 6.89 KPa corresponden a 1 Psi (libra de presión). El sensor ofrece 6.4 mV/KPa, lo equivalente a 44.13 mV / Psi, y ya que el ADC a 10 bits tiene una sensibilidad de 4.88mV, se toma la diferencia entre el voltaje por libra de presión y la sensibilidad del ADC, lo que da una constante de 9.17, entre la cual se divide el valor de lectura del ADC para convertirla a libras de presión.

$$\frac{8.11}{001397s^2+4.72e-005s+22}$$

Función de transferencia para motor

Unidad de control

El bloque de control se compone de un microcontrolador 16F877A que utiliza dos pines análogos; en uno se toma el voltaje generado por la presión del oxígeno, y en el otro la presión del gas propano. La captura de señales para los datos escogidos por el operario se lleva a cabo por la lectura de pulsadores con el puerto (RD) del microcontrolador. Con

estos datos se realiza un procesamiento matemático (referirse al apartado Compensación por software) que tiene en cuenta la presión requerida para el corte y la compara con un setpoint fijo para cada calibre; dependiendo de los resultados de este proceso, los actuadores establecen un grado de apertura en las válvulas de paso de gas hasta lograr el valor de la presión del calibre seleccionado (figura 5).

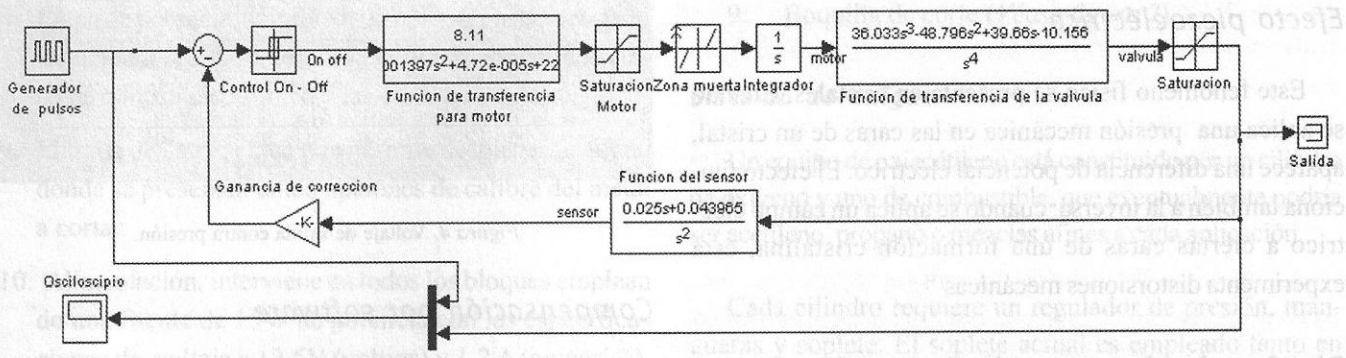
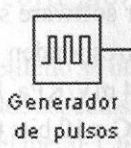
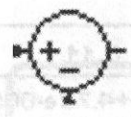


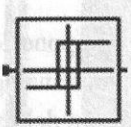
Figura 5. Diagrama de bloques. Control.



Este generador es el setpoint del equipo: la resta entre esta señal y la del voltaje ofrecido por el sensor da como resultado el error de sistema.



Sumador restador del sistema de control: suma la señal ofrecida por el generador y resta la señal dada por el sensor (Sistema de lazo cerrado).

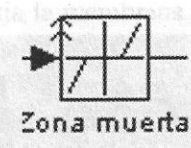


Control On/Off: tipo de control utilizado para el equipo diseñado.

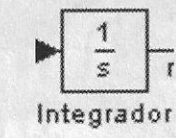


Función de transferencia del motor (velocidad angular): para obtener esta función se recurrió a la ecuación característica del motor y a la hoja técnica ofrecida por el fabricante, en la que se encuentran las especificaciones del mismo.

Saturación del motor: voltajes máximos y mínimos de trabajo del motor.



Zona muerta: zona donde el voltaje aplicado no es suficientemente alto para el arranque del motor.



Integrador: componente que al multiplicarlo por la función de transferencia del motor, se obtiene la función en términos de desplazamiento angular.

$$\frac{36.033s^3 - 48.796s^2 + 39.66s - 10.156}{s^4}$$

Función de transferencia de la válvula

Función de transferencia de la válvula: función hallada aplicando una presión fija a un extremo de la válvula. Dependiendo del ángulo de apertura, se observa la presión resultante.

$$\frac{0.025s + 0.043965}{s^2}$$

Función del sensor

Función de transferencia del sensor: función obtenida aplicando presión al sensor y tomando los valores ofrecidos por este para hacer una tabla, graficarlos y obtener la ecuación de la recta.

Para la visualización se utilizó el puerto RB que controla totalmente la configuración de la LCD (figura 6).

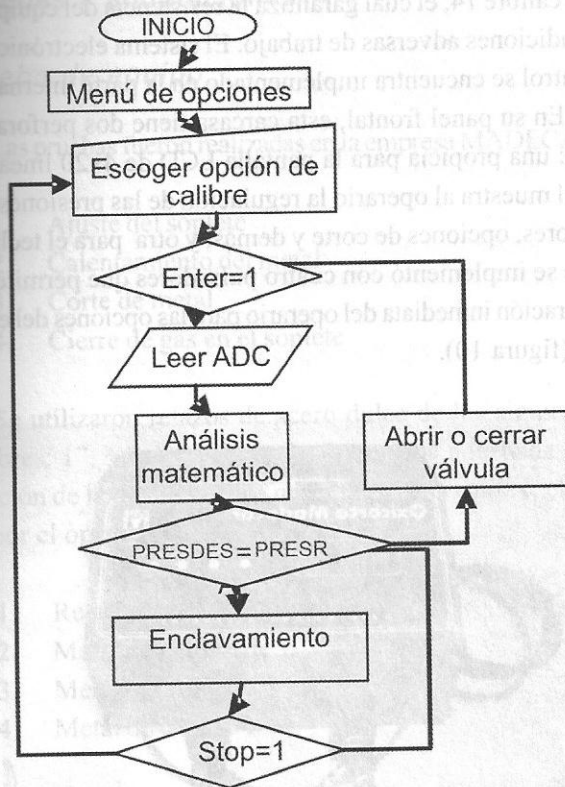


Figura 6. Diagrama de Flujo. Control

Electroválvula proporcional

Válvula

Válvula de control: generalmente constituye el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso. Se comporta como una abertura cuya sección de paso varía continuamente para controlar un caudal en una forma determinada^[5]

Válvula de bola: es una bola taladrada que gira entre asientos elásticos. Permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando gira 90° cerrando el conducto.

Características: alta capacidad de presión. Pocas fugas. Cierre hermético con baja torsión (par).

Válvula reguladora de presión

El elemento utilizado para modificar es una válvula de bronce con un diámetro de 3/8 de pulgada. Es una válvula de bola conectada al eje del motor por medio de una extensión que hace que gire dependiendo de los pulsos aplicados (figura 7).

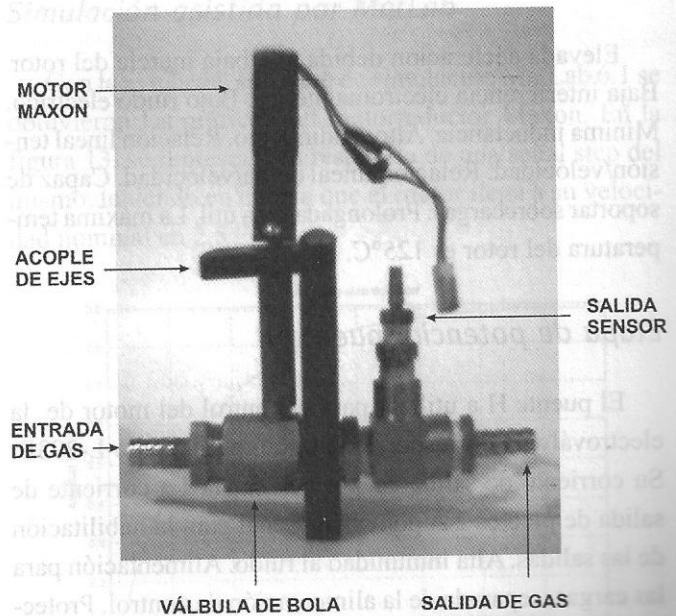


Figura 7. Válvula reguladora de presión.

Motor de corriente directa con escobillas MAXON

Los motores de CD con escobillas tienen, en teoría, un comportamiento lineal, es decir, la velocidad desarrollada será proporcional al voltaje aplicado, lo cual no es completamente cierto en todo el rango de voltajes ^[6] (figura 8).

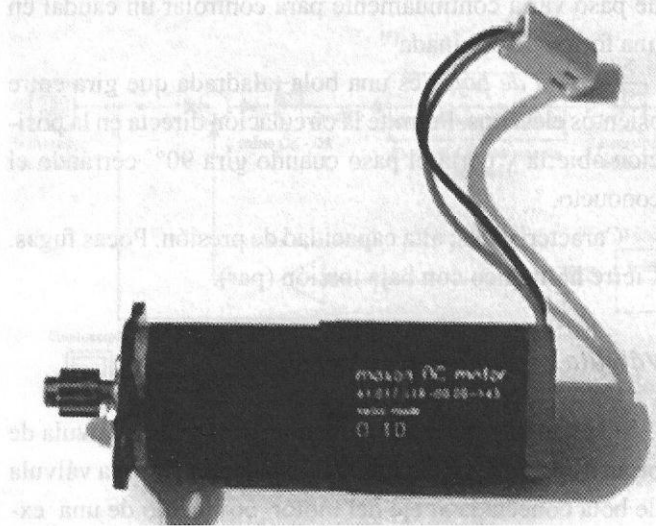


Figura 8. Motor MAXON.

Características del motor MAXON

Elevada aceleración debida a la baja inercia del rotor. Baja interferencia electromagnética. Bajo ruido eléctrico. Mínima inductancia. Alto rendimiento. Relación lineal tensión/velocidad. Relación lineal carga/velocidad. Capaz de soportar sobrecargas. Prolongada vida útil. La máxima temperatura del rotor es 125°C.

Etapa de potencia: puente H

El puente H a utilizar para el control del motor de la electroválvula corresponde al circuito integrado L-293B. Su corriente de salida es 1 A por canal. La corriente de salida de pico es 2 A por canal. Señal para la habilitación de las salidas. Alta inmunidad al ruido. Alimentación para las cargas, separada de la alimentación de control. Protección contra sobre-temperaturas. Cada canal es controlado por señales de entrada compatibles TTL, y cada pareja de canales dispone de una señal de habilitación que desconecta las salidas de los mismos.

Aspecto físico del equipo

La parte externa del equipo consta de los elementos ilustrados en la figura 9.

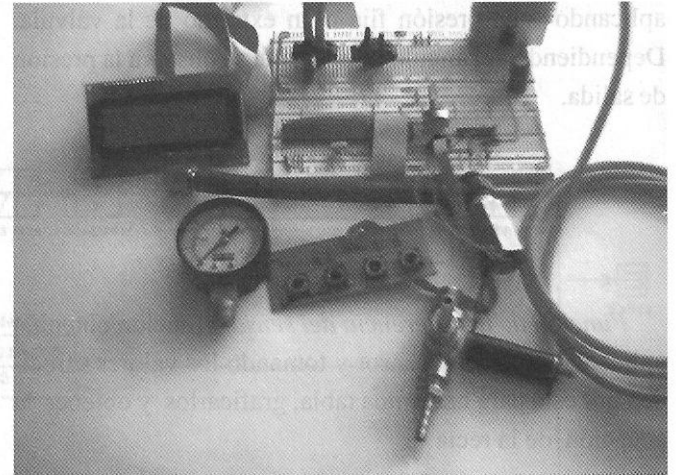


Figura 9. Elementos.

La carcasa del equipo está construida en acero inoxidable calibre 14, el cual garantiza la resistencia del equipo en condiciones adversas de trabajo. El sistema electrónico de control se encuentra implementado en la parte interna.

En su panel frontal, esta carcasa tiene dos perforaciones: una propicia para la pantalla LCD de 4x20 líneas, la cual muestra al operario la regulación de las presiones, los valores, opciones de corte y demás, y otra para el teclado, que se implementó con cuatro pulsadores que permiten la operación inmediata del operario para las opciones del equipo (figura 10).



Figura 10. Carcasa.

La unidad de control se encuentra recubierta con resina sintética que garantiza la seguridad del equipo. La alimentación de oxígeno y el suministro de gas propano llegan a través de mangueras flexibles propias para el manejo de cada tipo de gas, con sus respectivos empaques de sellado.

Especificaciones técnicas del equipo

Dado los resultados del equipo planteado, las especificaciones técnicas de fabricación de la implementación final, son las expuestas en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Presión	70	Psi max
Voltaje de entrada	65-130	VAC
Frecuencia	50-60	Hertz
Peso	6	Libras

Figura 11. Especificaciones técnicas.

Pruebas y simulaciones

Prueba de equipo

Las pruebas fueron realizadas en la empresa MADECAR.

1. Ajuste del soplete
2. Calentamiento del metal
3. Corte de metal
4. Cierre de gas en el soplete

Se utilizaron retazos de acero dulce de los siguientes calibres: 1", 3/4", 1/2", 3/8" y 1/4", con una adecuada graduación de la presión de los gases para cada calibre, elegida por el operario.

1. Retazos de acero dulce a cortar
2. Metal de calibre de 1/2"
3. Metal de calibre 3/8"
4. Metal de calibre 1/4"

Simulación asistida por PROTEUS

Con el software de simulación PROTEUS se realizaron las pruebas de los diferentes módulos que componen el equipo y del código de programación del microcontrolador.

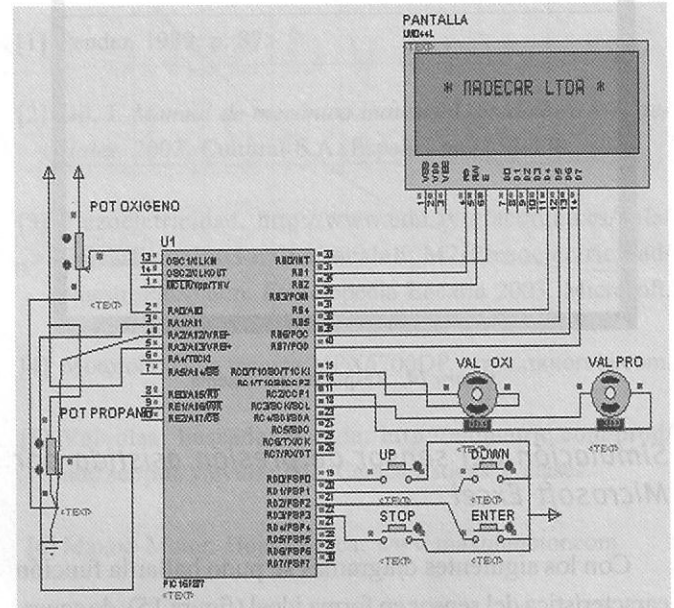


Figura 12. Simulación de funcionamiento del sistema de control.

Simulación asistida por MatLab

Con la ayuda del software de simulación MatLab 6.1 se obtuvieron las gráficas del motorreductor Maxon. En la figura 13, se representa la respuesta de una señal step del mismo, teniendo en cuenta que el motor llega a su velocidad nominal en 2,5 [7,8]

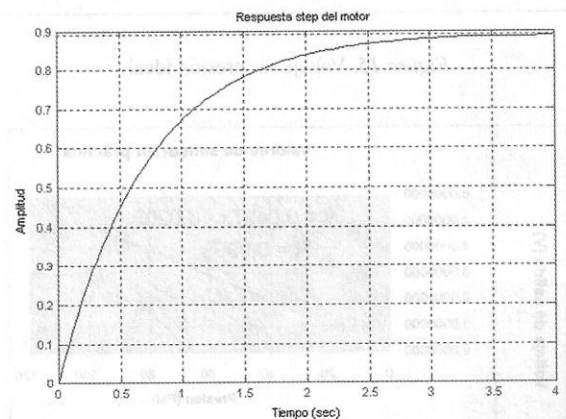


Figura 13. Respuesta step del motor.

La figura 14 muestra la respuesta del sistema de control (referirse al apartado unidad de control, figura 5). Se observa la señal de respuesta del comportamiento de todo el sistema (verde) y la señal dada por el generador (azul).

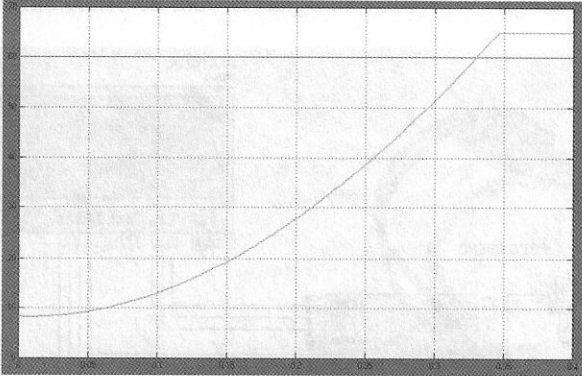


Figura 14. Respuesta del sistema.

Simulación del sensor de presión asistida por Microsoft Excel

Con los siguientes diagramas se pudo hallar la función característica del sensor en forma ideal (figura 15), de acuerdo con los datos prácticos (figura 16).

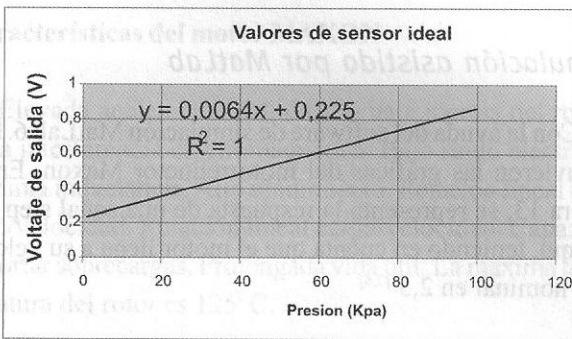


Figura 15. Voltaje vs. presión ideal.

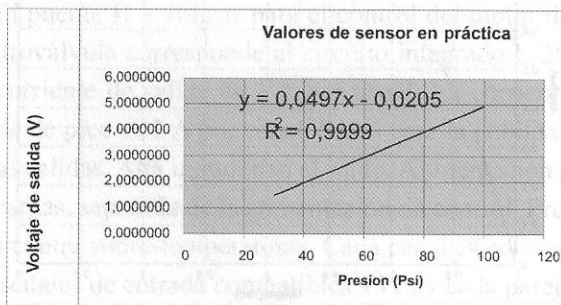


Figura 16. Voltaje vs. presión práctica.

Resultados

Para las pruebas realizadas con el equipo de oxicorte, con la presión del gas propano en 50 Psi (libras de presión) y variando la presión del oxígeno de forma manual, antes de la implementación, los resultados fueron:

Calibre	Pulgadas	¼	3/8	1/2	¾	1
	(mm)	6.4	9.5	12.7	19	25.4
Tiempo de corte (s)		22.4	26.9	30.6	30.3	46.8
			4	2	1	6
Presión oxígeno (psi)		15	20	25	30	35
Grosor del corte (mm)		3.14	4	3.6	3.6	4
Tiempo de calentamiento del metal (seg)		11	17.5	13	11	29

Figura 17. Datos tomados sin implementación.

Con la implementación, donde la graduación de la presión del oxígeno y del gas propano se realiza por medio del control realizado, los resultados fueron:

Calibre	Pulgadas	¼	3/8	1/2	¾	1
	(mm)	6.4	9.5	12.7	19	25.4
Tiempo de corte (s)		17.3	22.1	26.8	28.7	36.9
Presión gas (psi)		5	6	7	8	9
Presión oxígeno (psi)		15	20	30	30	4
Grosor del corte (mm)		1.8	2	2.1	2	1.9
Tiempo calentamiento del metal (seg)		8	12.5	12	9	22

Figura 18. Datos tomados con implementación.

Se mejoró el tiempo de corte promedio en 25.9%; el grosor del corte en 46.26% en promedio; el tiempo de calentamiento del metal en 22.55%. Además, se logró mayor eficiencia del operario, ya que el tiempo y el consumo de los gases utilizados son mucho menores, y no se corren riesgos de sobrepresión. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que en la empresa se maneja boquilla 2, la cual otorga un grosor de corte mínimo de 1.7 mm a 2 mm.

Perspectivas

Se puede automatizar el equipo para que realice diversos cortes en superficies planas, cuya interfaz hombre-má-

quina sea un computador, con soporte de un software especialmente desarrollado para este fin.

Sería interesante rediseñar la electroválvula proporcional, de modo que aumente su eficacia para presiones mayores de 150 libras de presión. Así se tiene la posibilidad de ampliar el rango de calibres del metal a cortar.

Lo anterior amplía el objetivo de este proyecto (orientado únicamente al oxiacorte) a otras técnicas de corte para mejorarlas.

Conclusiones

El diseño de las electroválvulas proporcionales se logró con válvulas de bola y motorreductores, con los cuales se optimizó el desempeño y se dio una respuesta más rápida a el accionamiento mecánico.

Durante la implementación del dispositivo, el sensor seleccionado cumplió las expectativas, ya que la linealidad de éste garantizó una lectura precisa, facilitando los cálculos matemáticos del sistema en la etapa de control.

Según las pruebas realizadas, se observó que la implementación mejoró los tiempos de corte y las pérdidas por sobrepresión.

Una de las partes más importantes en el desarrollo del equipo es la etapa de control electrónico, en la cual el algo-

ritmo hace una corrección de datos con una iteración de 0.35 segundos. Además, con su interfaz humano-máquina facilita que el operario escoja la opción del calibre del metal a cortar.

Referencias

- [1] Pender, 1989, p. 87.
- [2] Gil, J. *Manual de mecánica industrial. Soldadura y materiales*. 2002. Cultural S.A. España, pp. 156-178.
- [3] Piezoelctricidad. http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/fisicaInteractiva/sacaleE_M2/Piezolectricidad/NuestroPiezo.htm. Enciclopedia Encarta 2003. Microsoft.
- [4] Motorola. Hoja técnica MPX5700DP. www.motorola.com.
- [5] Válvulas: buscador google. <http://mdmetric.com/prod/mazzer/pdf/Valvulas.pdf>. Características y clases.
- [6] Maxon Motor. Hoja técnica. www.maxonmotor.com.
- [7] Chi-Tsong, C. *Analog and Digital Control System Design. Transfer- Function, State-Space, & Algebraic Methods*. United States of América: Saunders College Publishing, Hartcourt Brace Jovanovich College Publishers, 1993.
- [8] Kuo, C. *Sistemas de control automático*. 7 ed. México: Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1993.