

CONTROL PROPORCIONAL

Oswaldo Camacho Montes, Ubaldo Emmanuel Sánchez Salinas, *Instituto Tecnológico Superior de Huichapan*
Asesor Jesús Arturo Escobedo Cabello

Abstract— El control de velocidad de un motorreductor de DC, es generado por un controlador proporcional en lazo cerrado (control P), que se encuentra implementado en una placa Arduino Mega 2560 y retroalimentado por un encoder mediante un código de programación que toma en cuenta la ecuación de transferencia para la planta en cuestión. El objetivo de este controlador es mantener una velocidad constante mediante el seguimiento de una señal de referencia en el motor pese a la ausencia de su valor nominal de voltaje o la carga que se le aplique en el eje, para ello utiliza una señal PWM la cual aumenta o disminuye dependiendo del procesamiento de la señal del sensor(encoder) al controlador y proporcionando un margen de error con respecto a la referencia que le es proporcionada.

I. INTRODUCCIÓN

El control automático desempeña una función vital en los avances de la ingeniería, principalmente en industrias como aeroespacial, balística, robótica, automotriz, alimentaria etc. También es esencial en las operaciones industriales como el control de presión, control de velocidad, temperatura, humedad, viscosidad y flujo, lo que indica que dependiendo de las necesidades de cada proceso se deberá seleccionar un tipo de control automático ya que se dividen en dos grupos importantes que se mencionan a continuación: Sistemas de control en lazo cerrado: Este tipo de sistemas retroalimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de referencia, a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. Sistemas de control en lazo abierto. En este tipo de sistemas en los cuales la salida no afecta la acción de control. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Dentro de estos sistemas encontramos controladores como PI-D, PD, P, I-PD y PID entre otros cada uno de ellos tiene características diferentes por lo que evidentemente al hablar de un control de velocidad para un motor es necesario precisión y confiabilidad en las mediciones del controlador. Para lograr dichas necesidades se debe tener una señal de retroalimentación con monitoreo constante de la velocidad del motor pero que a su vez se acople con un controlador simple y preciso lo que deja como un excelente candidato a un controlador Proporcional (P) por sus características a la hora de controlar la velocidad de un motor, en el presente trabajo se trata de mostrar la aplicación de este controlador en un motor de DC.

II. PLANTEAMIENTO

Se busca desarrollar un sistema de control en lazo cerrado PID (Proporcional Integral Derivativo) que sea capaz de operar

de forma automática, sin embargo para dicho desarrollo, es necesario elaborar una planta que opere bajo un control P (Proporcional) haciendo uso una etapa de potencia y otra de control, implementadas en una plataforma arduino.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de control Proporcional P con el método de Modulación por Ancho de Pulso (PWM), en una placa de desarrollo Arduino capaz de regular la velocidad de un motorreductor DC.

B. Objetivos Específicos

- Realizar un circuito de potencia capaz de soportar las características de operación del motorreductor mediante la implementación de un puente H para el control de lazo cerrado.
- Desarrollar un circuito de control que pueda leer y adecuar la señal digital del sensor (retroalimentación) en una placa de desarrollo Arduino que sea compatible con el circuito de potencia.
- Establecer un sistema que pueda modular la velocidad de un motorreductor vinculando los circuitos de potencia y de control previamente realizados para generar una planta de lazo cerrado.

IV. MARCO TEÓRICO

A. PWM

La modulación por ancho de pulsos (Pulse-Width-Modulation) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (por ejemplo una senoidal o una cuadrada), ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga. El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con su periodo. Expresado matemáticamente:

$$D = \frac{\tau}{T}$$

Donde: D = Es el ciclo de trabajo

τ = Es el tiempo en el que la función es positiva (ancho del pulso)

T = Es el periodo de la función

La construcción típica de un circuito PWM se lleva a cabo mediante un comparador con dos entradas y una salida. Una de las entradas se conecta a un oscilador de onda diente de sierra, mientras que la otra queda disponible para la señal moduladora. En la salida la frecuencia es generalmente igual

a la de la señal diente de sierra y el ciclo de trabajo esta en función de la portadora. La principal ventaja que presentan los circuitos PWM es la posibilidad de que haya interferencias generadas por radio frecuencia. Con un controlador cerca de la carga y realizando filtrado de la fuente de alimentación.

B. Arduino Mega

Es una placa de desarrollo de hardware compuesta respectivamente por circuitos impresos que integran un microcontrolador (μ c) usualmente Atmel AVR, puertos digitales y analógicos de E/S los cuales pueden conectarse a placas de expansión (shields) que amplían las características de funcionamiento de la placa arduino. así mismo contiene un puerto de conexión USB desde donde se puede alimentar la placa y establecer comunicación serial con la computadora. Básicamente se enfoca en acercar y facilitar el uso de la electrónica y programación de sistemas embebidos.

C. Motorreductor DC

Son maquinas alimentadas por energía eléctrica directa y no son mas que simples motores con una caja de transmisión o sistema de engranaje que reducen la velocidad generada por el motor y aumentan la fuerza de salida en el eje. Regularmente se encuentran con distintas prestaciones o relaciones entre cierto numero de vueltas del eje y las revoluciones por minuto que da el motor además el voltaje de alimentación puede cambiar de 12v a 24v.

D. Protoboard

Es una placa o tablero de pruebas con orificios que se encuentran conectados eléctricamente entre si de manera interna, habitualmente siguiendo patrones de líneas, en el cual se pueden insertar componentes electrónicos y cables para el armado de prototipos de circuitos electrónicos.

E. Fuente de Alimentación (PSU)

Es un dispositivo que se encarga de transformar la corriente alterna de la linea eléctrica comercial que se recibe en corriente directa que es la utilizada por los dispositivos electrónicos, suministrando los diferentes voltajes requeridos por los componentes y brindando protección frente a eventuales inconvenientes en el suministro eléctrico como la sobrecarga.

F. Software Arduino

Consiste en un entorno de desarrollo (IDE) basado en el entorno de Processing y lenguaje de programación basado en wiring, así como en el cargador de arranque (boot loader) que es ejecutado en la placa. el microcontrolador de la placa se programa a través de una computadora, haciendo uso de comunicación serial mediante un convertidor de niveles RS232 a TTL serial.

G. Osciloscópio

Es un instrumento de visualización electrónico para la representación gráfica de señales eléctricas que pueden variar en el tiempo. presenta los valores de las señales eléctricas en forma de coordenadas en una pantalla, en la que normalmente el eje X (horizontal) representa tiempos y el eje Y (vertical) representa tensiones, suelen incluir otra entrada, llamada eje thrasher que controla la luminosidad del haz, permitiendo resaltar o apagar algunos segmentos de la traza. la imagen obtenida se denomina oscilograma y en ella se contiene la información de la señal del circuito que se analiza.

H. Cronómetro

Un cronómetro es un reloj de precision que se emplea para medir fracciones de tiempo, los cronómetros suelen usarse en competencias deportivas y en las industrias para tener registro de fracciones temporales mas breves.

I. Encoder

Son un eficaz sensor de posicionamiento con extrema precisión. Transforman movimientos de rotación en señales digitales. Funcionan sin desgaste mediante detección fotoeléctrica o magnética. Para ello disponen de un disco graduado que esta sujeto firmemente en el eje o de un soporte magnético móvil. Existe dos tipos de encoders los tipo incremental y los encoders tipo absoluto.

V. DESARROLLO

A. Materiales

para la realización del presente proyecto se utilizaron los siguientes materiales:

- Arduino Mega 2560.
- Fuente de Alimentación
- Motorreductor CD de 12V con encoder
- Tablilla de Pruebas Protoboard
- Puente H
- Cronómetro
- Cables
- Computadora

B. Método

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron los siguientes pasos:

- Conexión de la etapa de potencia.

Básicamente la etapa de potencia tiene dos finalidades las cuales consisten en cambiar el sentido de giro del motor y a su vez proteger nuestro circuito de control. Nuestra placa Arduino no puede gestionar directamente motores de CD con un consumo elevado de corriente, dado que la máxima intensidad que es capaz de proporcionar en sus pines de salida es de unos escasos 20mA. Por lo tanto, seleccionamos un controlador capaz de soportar la carga de nuestro motor, el doble puente H basado en el conocido driver L298 fue ideal por sus dimensiones

y prestaciones como potencia suficiente, dos salidas, alimentación lógica de 6-12v, corriente máxima de 2A, rango de alimentación 4.8-46v y soporta temperaturas de -25 a +130 °C. a continuación la conexión típica del puente en H fig. 1

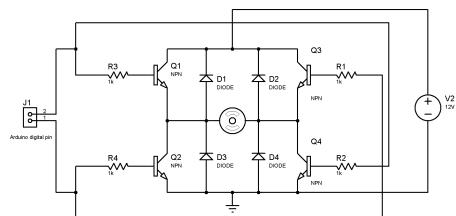


Fig. 1. Diagrama Puente H

- Circuito de control.

Para poder controlar el motor DC, es necesario un dispositivo capaz de leer la señal digital proveniente del encoder, procesarla y generar un PWM modular que responda dependiendo de las necesidades de la planta, un requisito indispensable para un control de lazo cerrado es la velocidad de respuesta en las operaciones y acciones. Por lo que elegimos un Arduino Mega 2560 el cual contiene un microcontrolador bastante poderoso y con una excelente velocidad de procesamiento de información en el programa del controlador que gobiernan en todo momento el comportamiento de nuestro motor e identifica las perturbaciones en la planta, por ende esto se ve reflejado en una completa autonomía que disminuye errores humanos. Además por ser una tarjeta de desarrollo tiene muchas otras ventajas como modificar el circuito para mejoras posteriores fig. 2

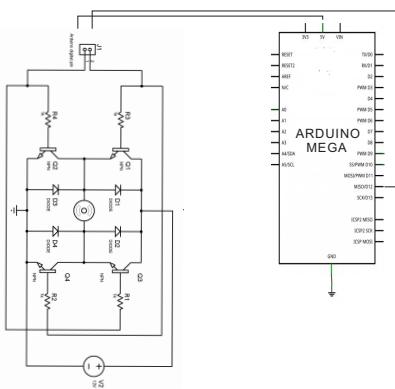


Fig. 2. Diagrama Circuito de Control

- Programa de control.

El circuito de control por si solo no puede hacer nada, necesita un programa fuente para operar con autonomía este programa es nuestro controlador Proporcional (P), que es almacenado en el interior de una memoria contenida en el microcontrolador de la tarjeta de desarrollo Arduino Mega. Este programa no

es más que una serie de instrucciones obtenidas por el modelo matemático de la planta el cual describe el comportamiento del sistema ante perturbaciones. Básicamente nuestro programa es una receta de cocina que estará monitoreando el proceso y ordenando las salidas (acciones) respecto de la entrada que nuestro encoder proporciona. Visto de manera simple el programa regulará la velocidad de nuestro motor aumentando o disminuyendo el periodo del PWM, según la referencia que el usuario le proporcione.

- Implementación.

Para la realización del presente proyecto fue necesario integrar el circuito de control, el programa de control y el circuito de potencia a nuestro motorreductor. por lo que se tuvo que recurrir a una serie de pasos a continuación descritos:

- Acoplamiento de circuitos. Para poder unir los distintos circuitos de nuestro proyecto fue necesario revisar cada una de las características de los componentes, es decir, la cantidad de voltaje y corriente que soportan para que no se dañen entre sí, en seguida revisar cuidadosamente que las tierras sean comunes, porque recordando un poco los circuitos unidos formaran un sistema el cual tendrá como objetivo controlar la velocidad de nuestro motorreductor y la forma de integrarlos es conectar una señal común como lo es la masa.
- Revisión del programa de control. Para que el programa pudiera ser funcional en nuestra planta fue necesario realizar pruebas que cumplieran con las características de nuestro control, por lo que con ayuda del osciloscopio y el cronómetro se monitoreo que la señal de PWM reaccionara de acuerdo a la señal de entrada, y el tiempo de respuesta fuese lo más rápido posible ante perturbaciones. Otro punto importante fue revisar si las lecturas de RPM eran correctas o tenían algún margen de error y de esta forma corregir antes de su implementación.
- Puesta en marcha. Una vez generado el controlador en código de programación se puso en marcha el sistema empezando con una referencia pequeña que no pudiera generar daños a los componentes, pero lo suficientemente buena para localizar fallas de último momento. En este punto se comprobó que el sistema completo reaccionaba correctamente ante la ausencia nominal de su voltaje o ante cargas generadas por el proceso y el tiempo que tarda en estabilizar o alcanzar la referencia que se le proporcionó.
- Comprobación. Se comprobó la seguridad del controlador modificando constantemente el valor de referencia y revisando que fuese capaz de seguir esa referencia estas referencias fueron incluso mayores a los parámetros de velocidad del motor por lo que evidentemente comenzó a fallar pero no por cuestiones del controlador ya que este intento seguir la referencia en todo momento.

- Mediciones. Por ultimo recurrimos a la medición de nuestro sistema. obteniendo así valores como el ancho de pulso, frecuencia, corriente, voltaje y revoluciones por minuto de nuestro motor. fig. 3

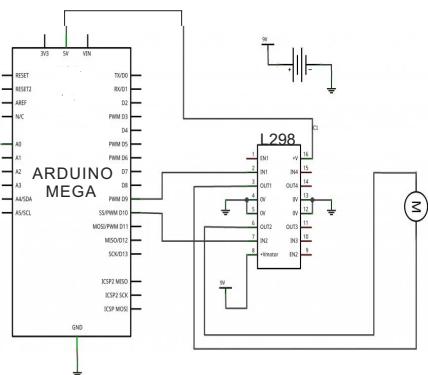


Fig. 3. Diagrama de Conexión Implementado

VI. RESULTADOS

De la presente implementación se obtuvo un control de velocidad en lazo cerrado con una eficiencia bastante aceptable y con características particulares, por ejemplo, la integración del circuito de potencia con el circuito de control lo que robustece el sistema para la implementación de motores con características distintas sin la necesidad de volver empezar de cero, en la imagen se muestra los componentes ya implementados fig. 4

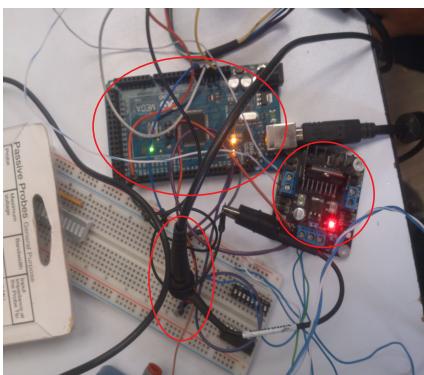


Fig. 4. Circuito Conectado en Físico

Este tipo de control, aunque es bueno puede mejorarse bastante modificando un poco la forma en la que calcula el error, de todas formas es funcional para muchas aplicaciones en industrias que no requieren de exagerada precision. EL control Proporcional funciona de una manera completamente autónoma siguiendo una señal de referencia, pero claramente esta señal jamas es alcanzada por el controlador lo que provoca un retraso en la señal de acción y provocando que no sea tan exacto como un controlador PID. Fue necesario tomar algunas mediciones con ayuda del osciloscópio y el

cronómetro fig. 5

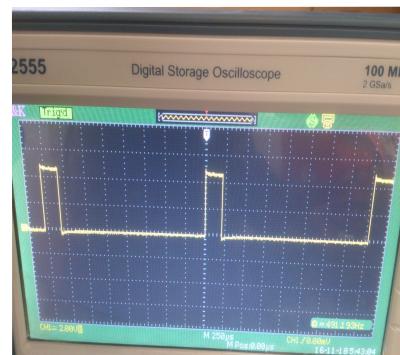


Fig. 5. foto de PWM en osciloscópio

En la siguiente imagen se muestra el sistema completo conectado a la computadora y se señala el motorreductor con su respectivo encoder, fig. 6

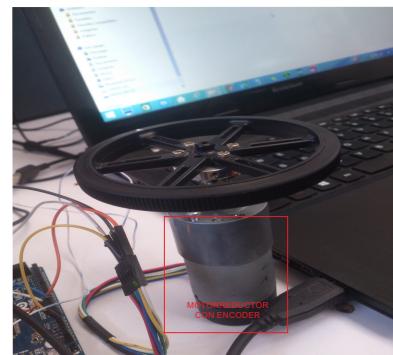


Fig. 6. foto de PWM en osciloscópio

Es importante mencionar que la sintonización del controlador se realizó bajo el método de prueba y error, es decir se modificaron constantemente los valores de la ganancia hasta obtener uno que cumpliese con los requisitos de nuestra planta en la siguiente figura se muestra el circuito mientras es programado. 7

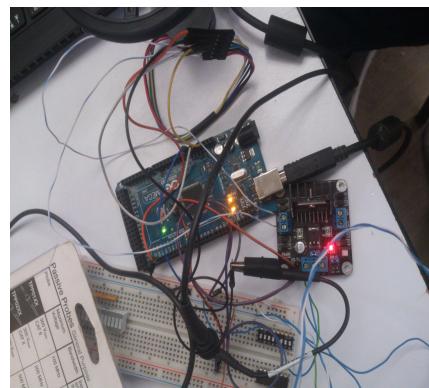


Fig. 7. foto de PWM en osciloscópio

VII. CONCLUSION

Se pudo concluir que el controlador proporcional en conjunto con el modulo PWM son una herramienta bastante eficiente y precisa para el control de velocidad de cualquier motor de DC, por supuesto que también tiene posibilidades de mejorar a un controlador PID con ciertas modificaciones en su código lo que hace que sea muy versátil para su implementación en procesos industriales.

Ubaldo Emmanuel Sánchez Salinas

Con la realización del proyecto mostrado se concluye que el control proporcional da una excelente estabilidad al motor de DC y es adaptable para motores con características distintas siempre y cuando tengan un sensor que retroalimente nuestro controlador por lo cual puede ser ampliamente utilizado en la industria.

Oswaldo Camacho Montes

REFERENCES

- [1] Alexander Borbón A. and Walter Mora F, *Edicion de Texto Científico con L^AT_EX2012*, 2da ed. Escuela de Matemática, instituto tecnológico de costarrica, 2012.
- [2] Ned Mohan, Tore M. Undeland and William P. Robbins., *ELECRONICA DE POTENCIA*, 3ra ed. Mc Graw Hill, 2009.
- [3] Muhammad H. Rashid., *ELECRONI DE POTENCIA circuitos, dispositivos y aplicaciones*, 3ra ed. Pearson Prentice Hall , 2002.
- [4] Benjamin C. Kuo., *Sistemas De Control Automático*, 7ma ed. PHH Prentice Hall, 1996.
- [5] W. Bolton, *Ingeniería de Control*, 2da ed. Alfaomega, 2001.