

CONTROL DE VELOCIDAD EN MOTORES INDUSTRIALES³.

INDUSTRIAL MOTOR SPEED CONTROL.

**Autores: Carlos Sepúlveda, Maikol Alirio Caballero Duran
Yilber Joel Caballero Duran***

***Universidad de Pamplona**, Ingenierías y Arquitectura, Ingeniería Eléctrica Villa del
Rosario, Norte de Santander, Colombia.
E-mail: {joelkballero99} @gmail.com.

Resumen: En las industrias, ya sea en la automatización como en las líneas de ensamblaje, es necesario la implementación de motores eléctricos, por esto muchas empresa recurren al trabajo que realizan estas máquinas y implementado motores en casi todos los medios industriales, debido a su alta potencia producida por el trabajo de estas máquinas es de gran importancia desarrollar un programa computacional que me permita controlar la velocidad de los motores para así evitar subidas de tensión masivas que me causen daños permanentes en el sistema que comprenden estos motores y llegando hasta el caso de detener su servicio o su producción.

Palabras claves: velocidad, motores, controladores.

Abstract: In the industries, either in automation or in assembly lines, it is necessary to implement electric motors, which is why many companies resort to the work carried out by these machines and implemented motors in almost all industrial environments, due to their high power produced by the work of these machines is of great importance to develop a computer program that allows me to control the speed of the motors in order to avoid massive power surges that cause permanent damage to the system that comprises these motors and even go so far as to stop their service or its production.

Keywords: speed, motors, drivers.

³ El presente artículo ha sido revisado y ajustado por Ingeniería, Sostenibilidad y Sociedad bajo expresa autorización de sus autores.

1. INTRODUCCIÓN

La demanda energética global no desaparecerá y las necesidades de electricidad crecerán a mayor velocidad que las de cualquier otra forma de energía, afirma ABB (2021). Hoy, las industrias consumen el 40% de toda la electricidad.

En las últimas décadas, afirman varios Autores, (2016), los motores eléctricos han pasado a ser un elemento cotidiano. Su aplicación transita desde las investigaciones hasta la población, prestando su uso en innumerables aplicaciones diarias.

La industria no es ajena a su uso, por el contrario. En la producción automotriz como las líneas de ensamblaje, el motor eléctrico ha sustituido al de combustión, ya que los motores de combustión tienen una baja eficiencia (alrededor del 30%) y en el mejor de los casos un 45% logradas por medio de un motor de tipo diésel hibridado, o un motor diésel naval.

Los motores de combustión, afirma Ecoinventos (2019), tienen los días contados. Estos alcanzan un promedio de 75% de eficacia y son más eficientes en el tema del control ya que se pueden alcanzar ajustes muy finos que los motores de combustión se le es difícil y costoso de implementar.

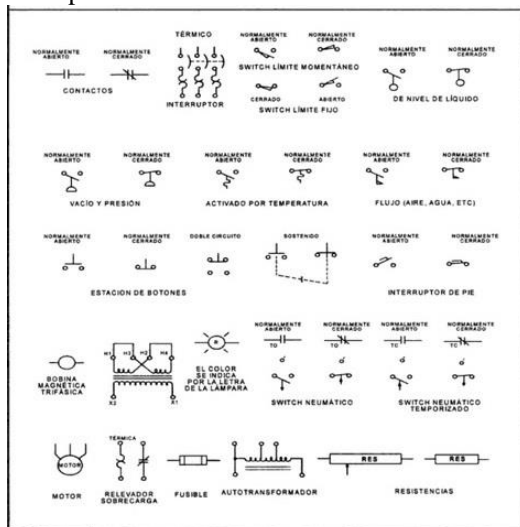


Figura 1. Símbolos comunes usados en el control de máquinas eléctricas.

(Fuente: Fundamentos de control de motores eléctricos en la industria, 2004).

Por demás, en el caso de los equipos electrónicos de control de los motores eléctricos, la reducción del tamaño tiene la facilidad de implementarse en espacios reducidos los controles de los motores. Esto es posible teniendo una interfaz digital hombre máquina donde los motores de combustión no son funcionales.

Con el pasar de los años el tamaño de los circuitos electrónicos ha disminuido

notablemente, aseveran Rincón Castrillo & García Pabón (2020), trayendo como consecuencia una menor separación entre los pines de los circuitos integrados, con el fin de ocupar el menor espacio en donde se implemente, sin dejar de lado el aumento de la eficiencia en sus parámetros operacionales.

La industria mecánica considera cada vez más usar motores eléctricos para la construcción de sus vehículos. En las líneas de ensamblaje mejoran de una forma significativa la eficiencia de producción de sus servicios, dando lugar a mejores producciones. Respecto a la contaminación ambiental, los autos eléctricos, redacta La Vanguardia (2019), no generan emisiones, lo que beneficia al medio ambiente y a las personas.

Finalmente, pero no menos importante, es la utilización de softwares integrales para el manejo adecuado de los controladores. Gracias a la globalización y a la necesidad de gestionar de manera más segura y eficiente la información, “el desarrollo de software se convierte en una tarea exigente y de alta demanda” (Lasso Cardona et al., 2020).

2. CONTROLADORES Y VELOCIDAD.

En el control de velocidad de motores industriales es recomendable utilizar los controladores PID ya que este tipo de control es el más preciso y su velocidad de respuesta en el estado transitorio de la planta es más anticipada que los otros tipos de controladores y su estabilización es exacta en comparación con lo proporcionales (P) y Proporcionales Derivativos o PD.

Cuando se colocan motores grandes se debe colocar un diodo en paralelo al motor ya que almacena corrientes inversas y estas sean disipadas por el mismo y el circuito de control no se vea afectado. Para garantizar el funcionamiento correcto del circuito en aplicación real se puede colocar un disipador en el mosfet o transistor para que el calor no afecte.

2.1 Controlador de dispositivo.

Llamado normalmente controlador (en inglés, device driver), es un programa informático que permite al sistema operativo interactuar con un periférico, haciendo una abstracción del hardware y proporcionando una interfaz -posiblemente estandarizada- para usarlo.

2.1.1. El variador de velocidad.

Los variadores de frecuencia de velocidad para el control de motores eléctricos pueden reducir

la energía eléctrica en el orden de hasta el 70%, redacta ABB (2021), en su página. La eficiencia de motores y variadores de frecuencia ha mejorado considerablemente con el tiempo, continúa la marca, aumentado en un 3% durante la última década, además, se han reducido las emisiones de CO₂ a la atmósfera.



Figura 2. Variador de velocidad ABB.
(Fuente: ABB World site, 2021).

2.2. PID. Algo viejo muy útil.

El Controlador Proporcional, Integral y Derivativo es un mecanismo de control simultáneo por realimentación ampliamente usado en sistemas de control industrial. Este dispositivo, cita Picuino (2021), permite controlar un sistema en lazo cerrado para que alcance el estado de salida deseado.

El algoritmo del control PID consta de tres parámetros distintos:

Proporcional: Se aumenta la acción correspondiente para reducir la divergencia entre el estado deseado / estado conseguido y para incrementar la velocidad de respuesta. Si se alcanza la respuesta deseada en velocidad y error, el PID ya está sintonizado.

De volverse inestable el sistema antes de lograr la respuesta esperada, aumentamos la operación derivativa.

Integral: En el caso de que el error del sistema sea mayor que el error que se espera, se ampliará la constante integral K_i hasta que el error disminuya con la rapidez esperada.

Derivativa: Si el sistema es inestable, se aumentará poco a poco la constante derivativa K_d para obtener estabilidad en la respuesta.

Con estas sencillas reglas es sencillo afinar poco a poco el controlador PID hasta conseguir la respuesta deseada.

El valor proporcional depende del error presente, el integral de los errores pasados y el derivativo es una predicción de los errores predictivos. La adición de estas tres acciones es utilizada para concordar el proceso por medio de un elemento de control. Ej: la posición de una válvula de control.

El controlador PID de dominio de tiempo continuo ideal para un proceso SISO está, según

expresa O'Dwyer (2006), en el dominio de Laplace de la siguiente manera:

$$U(s) = G_c(s)E(s)$$

$$G_c(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Dónde:

K_c = ganancia proporcional.

T_i = constante de tiempo integral

T_d = constante de tiempo derivada.

Si $t_i = \infty$ y $T_d = 0$ (es decir, control P), entonces es claro que el valor medido en lazo cerrado, continua O'Dwyer, entonces siempre será menor que el valor deseado, r (para procesos sin un término integrador, como un valor positivo error es necesario para mantener el valor medido constante, y menor que el valor deseado).

En los sistemas existentes hay límites que reducen la capacidad del controlador para conseguir la respuesta que se desea obtener. Por más que incrementemos la acción correspondiente, llegaremos a saturar el controlador. Por tanto, es preciso tener en cuenta que la velocidad de respuesta de los sistemas reales se encuentran limitados y el control no lo podrá superar.

2.3. PWM.

PWM (Pulse Width Modulation) o Modulación de Ancho de Pulso, es un tipo de señal de tensión usada en electrónica con variados objetivos y tareas. Esta modulación, cita Gómez (2017), está formada por una señal de onda cuadrada que no siempre tiene la misma relación entre el tiempo que está en alto y el tiempo que está en bajo.

Antes del desarrollo de la PWM, la única manera de ajustar el voltaje o la corriente con fines de atenuación era el uso de reóstatos o potenciómetros, infiere Kohlhasse (2020). Además, es más fácil controlar componentes mayores, como pueden ser como motores, válvulas y bombas.

La modulación por ancho de pulsos de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, 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.

Por ejemplo, nos redacta Nava Trujillo, (2020), si le aplicamos PWM a un LED podemos variar su intensidad de brillo y si le aplicamos un PWM a un motor DC logramos variar la velocidad del mismo.

2.4. CONTROL PID SOBRE UN VARIADOR DE VELOCIDAD.

Para este proyecto se propuso el control automático de un controlador de velocidad VFD con Variador de Frecuencia Inversor de Giro 2.2KW 3HP 220V 12^a.

Ejecutamos un control de lazo cerrado para controlar la velocidad de un motor eléctrico Weg 1hp 3500rpm Ip55 220/440v Trifásico Ie2. Generamos diferentes setpoint, onda sinodal, y onda cuadrada con sus cuantificaciones de amplitud y frecuencia parametrizables.

Trabajaremos con el lenguaje de cálculo técnico MATLAB: “entorno de programación para el desarrollo de algoritmos, análisis de datos, visualización y cálculo numérico” (PUCP, I. 2021).

3. TABLAS, FIGURAS Y ECUACIONES.

Las diferentes figuras a continuación muestran un esquema básico de controlador PID, el cual está compuesto por su respectivo proceso y el controlador. Esta planta está sometida a perturbaciones las cuales actúan en el proceso, y si este controlador está bien diseñado este lograra volver a estabilizar la maquina en el nivel deseado.

A continuación se representan los cuatro tipos de controladores que existen, en las gráficas muestran sus respectivas características y con esto se puede observar que el controlador que mejor cumple su trabajo es el controlador PID, ya que este tiene una mayor rapidez de respuesta para lograr su estabilización y su sobre impulso es uno de los más bajos, esto es importante ya que si un sobre impulso es muy alto el controlador puede llegar a fallar.

$$c(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t)dt + K_d \cdot \frac{\partial e(t)}{\partial t}$$

Para:

- $c(t)$ = señal de control
- $e(t)$ = señal de error
- K_p, K_i, K_d = parámetros del controlador PID

Figura 3. Algoritmo elemental PID.

(Fuente: PID. Enfoque descriptivo, 2005).

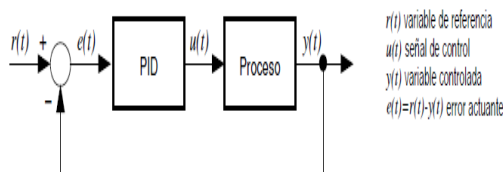


Figura 4. Lazo de control realimentado.

(Fuente: PID. Enfoque descriptivo, 2005).

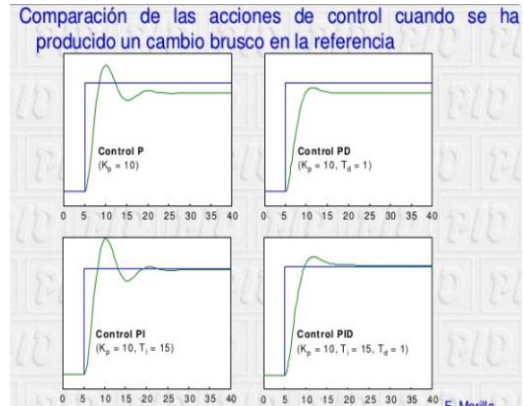


Figura 5. Respuesta de velocidad de los controladores P, PI, PID, PD.

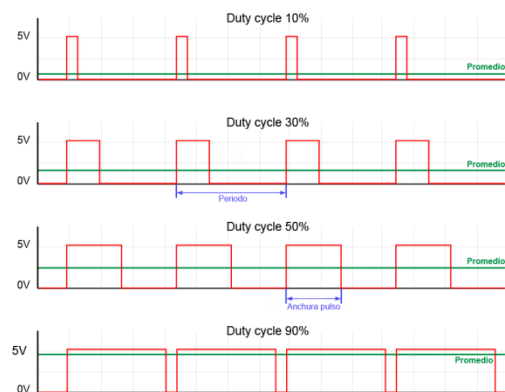


Figura 6. PWM.

(Fuente: Platzi, 2020).

En la ecuación se describe el funcionamiento del controlador PID, ya que tiene todas las características de cada uno de los otros controladores (la alta velocidad de reacción en el estado transitorio y su estabilización exacta en el estado estable). Por este motivo este controlador es el más apropiado para cumplir el trabajo para el cual fue diseñado.

4. CONCLUSIONES

El PWM es muy efectivo al momento de controlar dispositivos electrónicos.

Las gráficas del programa de MATLAB fueron las esperadas por lo que podemos concluir que el circuito 2 está muy bien diseñado por lo que el circuito 2 puede ser utilizado en cualquier circuito que se requiera controlar la velocidad de un motor.

Concluimos que el controlador con las mejores características es el PID, ya que este tipo de controlador tiene integrado en su composición las características principales de los otros controladores.

REFERENCIAS.

- ABB. (2021). *Métodos de Control de la Velocidad del Motor* | ABB. Drives. <https://new.abb.com/drives/es/eficiencia-energetica/metodos-control-velocidad-motor>
- Autores, V. (2016). *Importancia de los motores eléctricos en la sociedad*. <https://www.milenio.com/opinion/varios-autores/universidad-politecnica-de-tulancingo/importancia-de-los-motores-electricos-en-la-sociedad>
- Ecoinventos. (2019, Enero 17). Estos son los motivos por los que un motor eléctrico supera a uno de combustión. *EcoInventos*. <https://ecoinventos.com/motor-electrico-vs-motor-combustion/>
- Fárez, J. P., & Chumbi, R. (2013). Control PID aplicado sobre un variador de velocidad. *Revista Galileo*, 186-191. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/29984>
- Gómez, E. (2017, diciembre 19). Qué es PWM y para qué sirve. *Rincón Ingenieril*. <https://www.rinconingenieril.es/que-es-pwm-y-para-que-sirve/>
- Kohlhase, K. (2020). *La PWM: ¿Qué es? ¿Cómo puedo utilizarla?* <https://www.digikey.com/es/blog/pulse-width-modulation>
- La Vanguardia. (2019, febrero 8). *¿Los coches eléctricos son buenos para el medio ambiente?* ECO. <https://www.lavanguardia.com/motor/eco/20190208/46280602238/coches-electricos-medio-ambiente-beneficios.html>
- Lasso Cardona, L. A., Rincón Reyes, E., & Estrada Holguín, G. D. (2020). INTRODUCCIÓN A LA EVALUACIÓN DE CAPACIDADES: UNA REVISIÓN TEÓRICA. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2(36), 34 A 44. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.24054/16927257.v36.n36.20.4012>
- Nava Trujillo, F. A. (2020). *Modulación por ancho de pulso PWM*. Platzi. <https://platzi.com/tutoriales/1609-electronica/8894-modulacion-por-ancho-de-pulso-pwm/>
- O'Dwyer, A. (2006). *Handbook of PI and PID. Controller Tuning Rules. 2nd Edition*. Imperial College Press.
- Ogata, K. (2003). *Ingeniería de control moderna. Tercera edición. MODERN CONTROL ENGINEERING, Third Edition*. Prentice-Hall, Inc. A Simon & Schuster Company.
- Picuno. (2021). *Controlador PID - Control Automático*. PicunoTecnoRecursos. <https://www.picuno.com/es/arduprog/control-pid.html>
- PUCP, I. (2021). ¿Qué es MATLAB? | Innova con MATLAB | Pontificia Universidad Católica del Perú. *Innova con MATLAB* | Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/matlab/que-es-matlab/>
- Rincón Castrillo, E. D., & García Pabón2, J. J. (2020). IMPLEMENTATION OF THE ELECTRICAL-ELECTRONIC SYSTEM AND SOFTWARE SYSTEM OF A CNC MACHINE. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Volumen 2*(Número 36). <https://doi.org/10.24054/16927257.v36.n36.20.3997>

SIMULADORES PID.

<https://www.picuno.com/downloads/motion-control-031.zip>

<https://www.picuno.com/downloads/thermal-control-011.zip>

nota: Kaleb Kohlhase, Técnico en Electrónica - Departamento de Ingeniería de Aplicaciones de Digi-Key, recomienda usar Arduino si deseas apreciar la PWM.

Los dos modelos a utilizar son: 1050-1024-ND y 1050-1018-ND.