

# Conmutador inteligente para procesos de ventilación industrial

## Resumen

En el presente trabajo se exponen los avances logrados en el desarrollo de conmutadores inteligentes para sistemas de potencia aplicado a motores eléctricos de inducción, con el objeto de ahorrar energía. Para lograrlo se recurre al desarrollo de un circuito lógico cuyo ciclo de actividad será variable de acuerdo al requisito del proceso. El proyecto está orientado a motores de corriente alterna utilizados en sistemas de ventilación industrial. La metodología planteada, pretende variar los tiempos de aplicación de la señal eléctrica al motor. Esto da por resultado un ahorro de energía con consecuencias casi imperceptibles para las personas. Otros campos de aplicación de esta tecnología de conmutación podrían darse en sistemas de climatización, procesos industriales de calentamiento mediante resistencias eléctricas, etc.

## 1. Introducción

El objetivo del conmutador inteligente es reducir la demanda de potencia eléctrica en un motor de corriente alterna en uso continuo. Por ejemplo,

el utilizado en equipos de ventilación industrial. Esto se consigue modificando el tiempo de aplicación de la señal de alimentación a través de un control electrónico de costo moderado, implementado –en este caso– con un Kit Arduino. Este tipo de dispositivo electrónico es de tecnología flexible y abierta.

Es práctica general de los proyectistas de sistemas de ventilación, que al seleccionar el motor de accionamiento del ventilador de dicho sistema la potencia nominal calculada para el motor no se encuentre exactamente dentro de los valores ofertados por el catálogo de los fabricantes, teniendo que colocar un motor de potencia inmediatamente superior a la exigida para la aplicación proyectada.

Esto trae aparejado una disminución en el rendimiento del motor y de su factor de potencia, pues ambos parámetros encuentran su valor óptimo cuando la potencia mecánica demandada al motor adopta el valor nominal para el que fue proyectado dicho motor, [1].

El diseño propuesto tiene la característica de llevar la potencia exigida al motor por el ventilador a la potencia

de cálculo del motor para el diseño del sistema de ventilación en cuestión. Con la finalidad de lograr dicha reducción, se aprovecha la inercia mecánica del sistema.

## 2. Marco teórico:

La inercia es la propiedad que tienen los cuerpos de permanecer en su estado de reposo relativo o movimiento relativo. Dicho de otra forma, es la resistencia que opone la materia a modificar su estado de movimiento, incluyendo cambios en la velocidad o en la dirección del movimiento. Como consecuencia, un cuerpo conserva su estado de reposo relativo o movimiento rectilíneo uniforme relativo si no hay una fuerza que, actuando sobre él, logre cambiar su estado de movimiento, [2]. Podríamos decir que es la resistencia que opone un sistema de partículas a modificar su estado dinámico.

En física se dice que un sistema tiene más inercia cuando resulta más difícil lograr un cambio en el estado físico del mismo. Los dos usos más frecuentes en física son la inercia mecánica y la inercia térmica.

La primera de ellas aparece en

mecánica y es una medida de dificultad para cambiar el estado de movimiento o reposo de un cuerpo, [2].

La inercia térmica mide la dificultad con la que un cuerpo cambia su temperatura al estar en contacto con otros cuerpos o ser calentado, [2].

El proyecto consta de dos etapas, a saber:

- Desarrollo de la etapa de potencia.
- Desarrollo de la programación del circuito lógico.

El estudio presentado en este artículo se centra sobre la segunda etapa y está basado en el concepto de la modulación del ancho de pulso.

El Kit Arduino UNO dispone en su arquitectura un módulo PWM (pulse wide modulation) como parte del conjunto de módulos periféricos internos del mismo y tiene la característica de generar una señal rectangular periódica con ancho de pulso variable.

Esta placa es capaz de variar el valor medio de la señal rectangular generada, lo cual tiene una gran importancia ya que como una de sus aplicaciones permitirá controlar la potencia suministrada a la carga.

La Fig. 1 esquematiza la idea aplicada al control de intensidad lumínica en una lámpara incandescente.

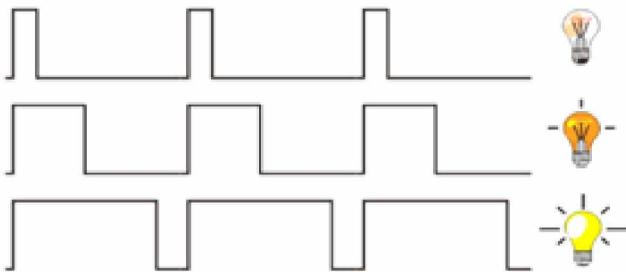


Figura 1. Esquema del efecto físico logrado al actuar sobre el ancho de pulso de una señal periódica rectangular (extraído de [w1])

Se denomina ciclo de actividad, o “duty cycle”, a la relación entre el tiempo de alto de la señal en un ciclo y al período total de la señal rectangular. El ciclo de actividad será una magnitud adimensional mayor a cero y menor que uno. Mientras más cercano a uno, mayor será la transferencia de potencia, pues mayor será el valor medio de la señal.

La configuración adoptada para el presente desarrollo permite variar tanto la frecuencia como el ciclo de actividad de la señal rectangular.

### Descripción del sistema construido

Se propuso construir un sistema que controle el accionamiento de un relé electromecánico mediante control por ancho de pulso (PWM), donde el control del ciclo activo se pueda modificar a través de un potenciómetro analógico. Se estableció un rango variable para el período de la señal

de control, que fuera de 10 milésimas de segundos hasta 7 segundos.

Para resolver el problema se utilizó una placa ARDUINO UNO con una placa accesoria que cuenta con un LCD de 16x2 caracteres y 5 pulsadores. El LCD permite visualizar tanto la frecuencia como el ciclo de actividad de la señal rectangular.

Además, se emplearon dos potenciómetros rotativos de los cuales uno permite variar el ciclo de actividad desde 0 hasta 1 y el otro potenciómetro nos permite variar el período de la señal desde 10 mS hasta 7 S tal como previamente se mencionó. El esquema circuital se muestra en la Fig. 2.

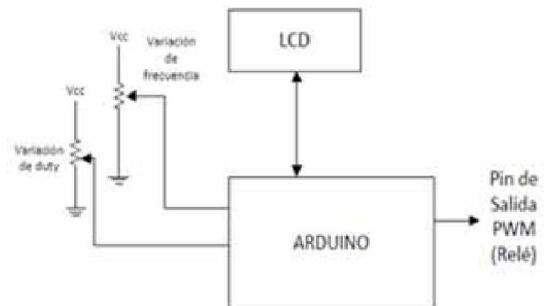


Figura 2. Diagrama en bloques del circuito

Luego de implementar el circuito, se ejecutó el programa desarrollado, verificando los requerimientos del proyecto propuesto. Se realizó la programación en lenguaje C, utilizando el compilador propio del sistema Arduino.

La Figura 3 permite ver la placa experimental durante la prueba del circuito.

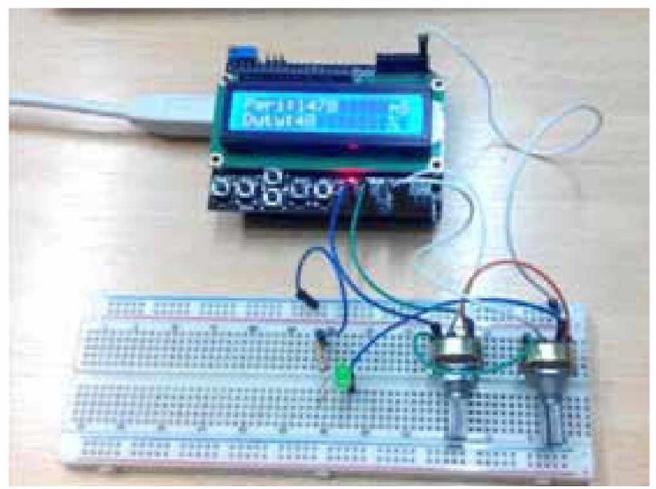


Figura 3. Imagen del circuito implementado

Para verificar la salida, se empleó un osciloscopio digital con la finalidad de poder corroborar el ancho de pulso y período de la señal en todo el rango proyectado.

La Figura 4 muestra los efectos logrados en la señal rectangular

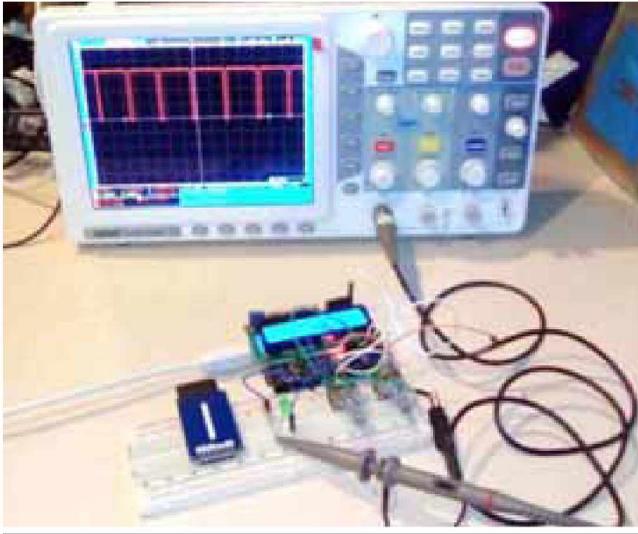


Figura 4. Visualización del ciclo de trabajo y período de la señal

### Resultado de las mediciones

A los efectos de comprobar el ahorro energético se realizaron los ensayos pertinentes sobre un motor que acciona un ventilador centrífugo mostrado en las figuras 5 y 6; la salida del ventilador es aplicada al conducto de la figura 7.



Figura 5. Conjunto ventilador-motor

En el conducto de color azul de la figura 6 se realizó la medición de la presión.



Figura 6. Conducto de medición para ventilador

### Ensayo en régimen continuo:

Conectando el conjunto ventilador- motor de la figura 5, directamente a la red eléctrica se obtuvieron los siguientes resultados en funcionamiento a régimen continuo:

Potencia. Consumida Medida = 397 W.

Corriente eléctrica consumida = 2,18 A.

En la figura 7 se observan las mediciones efectuadas con el analizador de potencia, las cuales resultaron prácticamente constantes durante el tiempo establecido para el ensayo, que fue de una hora.



Figura 7. Mediciones eléctricas en régimen continuo.

Por otro lado se midió la presión en el mencionado conducto de salida (figura 6), obteniéndose un valor de 15,4 mBar, como puede observarse en la figura 8.



Figura 8. Medición de presión en el conducto.

De la medición de potencia mostrada en la figura 7, siendo la misma prácticamente constante y habiéndose establecido

el tiempo de ensayo en 1 hora, concluimos que la energía eléctrica consumida por el sistema es de 397 Watt-h.

**Ensayo en régimen intermitente:**

Se colocó a la salida del sistema Arduino de la figura 2 un relé electro-mecánico en el terminal donde el Kit Arduino provee la señal PWM.

Dicho relé se encargó de controlar la energía eléctrica aplicada al motor (etapa de potencia), resultando un control del tipo “ON-OFF”.

Siendo el tiempo ON el intervalo en el cual el motor recibe energía eléctrica y el tiempo OFF el intervalo en el cual el motor no recibe energía eléctrica pero continúa en movimiento como consecuencia de la inercia mecánica de las partes rotantes del sistema. La figura 9 esquematiza el proceso “ON-OFF”.

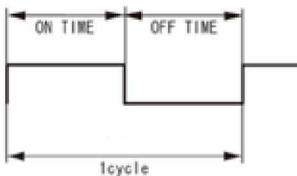


Figura 9

Se ajustaron mediante los potenciómetros los siguientes valores de la señal PWM:

- Período 6 seg.
- Tiempo de ON= 5 seg.
- Tiempo de OFF= 1 seg.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Presión mínima medida en el conducto = 14,9 mBar,
- Energía consumida= 340 W-h (figura 10)



Figura 10. Registro de la energía consumida en una hora.

**Conclusiones:**

Sabiendo que:

$$\text{Ahorro [\%]} = \frac{\text{Energía en Régimen Controlado} - \text{Energía en Régimen Continuo}}{\text{Energía en Régimen Continuo}} \times 100$$

y reemplazando los valores obtenidos en ambos ensayos:

$$\text{Ahorro [\%]} = \frac{340 - 397}{397} \times 100 = -14,35\%$$

$$\Delta \text{ presión en el conducto [mBar]} = 14,9 - 15,4 = -3,2\%$$

Como conclusión puede verificarse un notable ahorro energético sin una reducción significativa de la presión en el conducto con respecto al funcionamiento en régimen continuo.

Queda abierta la experimentación con una etapa de potencia de estado sólido para el accionamiento del motor y la aplicación del método a otros procesos industriales, como ser calentamiento mediante resistencias eléctricas.

**Referencias**

[1] Chapman, S. Máquinas Eléctricas (2a. ed.). Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana. (1993)

[2] Resnick, R & Halliday, D. Física Parte1 (1a.ed.). México, D.F., Mexico: Compañía Editorial Continental. (1980)

**Páginas Web consultadas**

[w1]

<https://learn.mikroe.com/ebooks/microcontroladorespicc/chapter/modulos-ccp/> (fecha última consulta: 30/11/2017).