

# Relé configurable para sistemas de ventilación



Guillermo Molina, Gustavo Boschi,  
Luis Carrazan, Mariano Deleu  
Laboratorio de Electrónica  
Universidad de la Marina Mercante  
[www.udemm.edu.ar](http://www.udemm.edu.ar)

**Palabras clave:** Relé electrónico, control de potencia, eficiencia energética

En el presente trabajo se exponen los avances logrados en el desarrollo de conmutadores de potencia aplicado a motores eléctricos de inducción, con el objeto de ahorrar energía. Para lograrlo, se recurre al desarrollo de una lógica que comandará un relé de estado sólido, permitiendo que su ciclo de actividad sea variable de acuerdo al requisito del proceso. El proyecto está orientado a motores de corriente alterna aplicados a 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 los usuarios.

## Introducción

El objetivo del dispositivo de conmutación de potencia es reducir la demanda de energía eléctrica en un motor de corriente alterna en uso continuo. Por ejemplo, el que se utiliza en equipos de ventilación industrial. Esto se consigue modificando el tiempo de aplicación de la tensión de alimentación a través de un control electrónico de costo moderado, implementado con un kit Arduino. Este tipo de dispositivo electrónico es de tecnología flexible, abierta y de bajo costo.

Es práctica general de los proyectistas de sistemas de ventilación que cuando seleccionan el motor de accionamiento para dicho ventilador, la potencia nominal calculada para el motor no se encuentre exactamente dentro de los valores ofertados por el

catálogo de los fabricantes, por lo que deben colocar un motor de potencia inmediatamente superior a la exigida para la aplicación proyectada.

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

La forma tradicional de reducir la potencia entregada al ventilador es mediante un variador de frecuencia, disminuyendo la velocidad, sin embargo, esta solución resulta onerosa.

El diseño propuesto en este trabajo 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.

## Metodología

El estudio presentado en este artículo está basado en el concepto de la modulación digital del tipo ASK aplicada a una señal senoidal que alimenta un motor de inducción como, por ejemplo, el utilizado en equipos de ventilación industrial. Esto se consigue modificando el tiempo de aplicación de la tensión de alimentación a través de un control electrónico de costo moderado, implementado con un kit Arduino. El kit Arduino UNO dispone en su arquitectura de un módulo PWM como parte del conjunto de módulos periféricos internos y tiene la característica de generar una señal rectangular periódica con ancho de pulso variable.

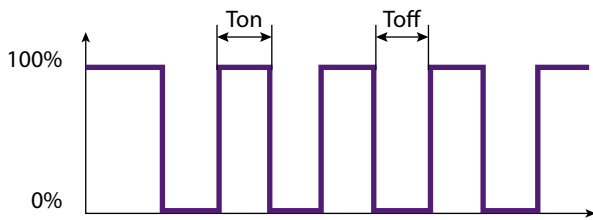


Figura 1. Esquema de la señal de mando del relé de estado sólido

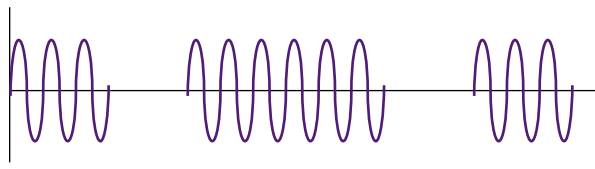


Figura 2. Señal de tensión aplicada al motor

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

La figura 1 muestra la señal para aplicar al mando del relé de estado sólido de modo de energizar y desenergizar el motor de inducción monofásico.

Una señal de características similares fue generada mediante la programación del módulo PWM de la placa Arduino.

La configuración adoptada para el presente desarrollo permite variar tanto la frecuencia como el ciclo de actividad de la señal rectangular que comandará al relé de estado sólido.

Esta señal rectangular (señal moduladora) se utilizará para modular la señal sinusoidal de la red pública, resultando una modulación digital del tipo ASK, tal como indica la figura 2.

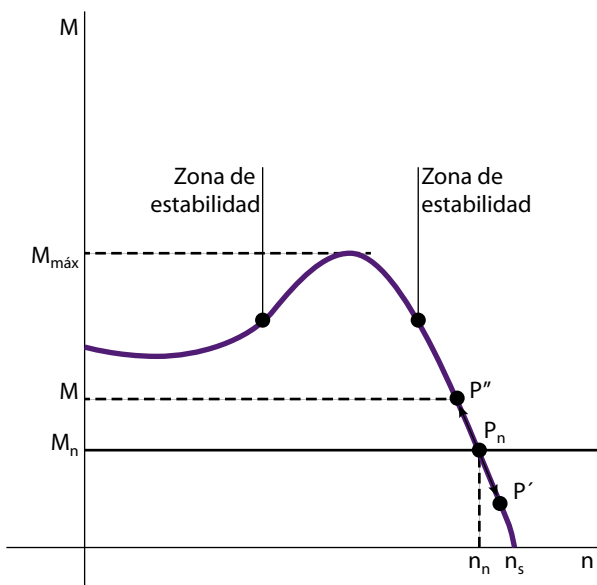


Figura 3. Diagrama momento versus velocidad de un motor de inducción. ('Pn': par nominal; 'Mn': momento nominal, cuando el motor está en funcionamiento estable)

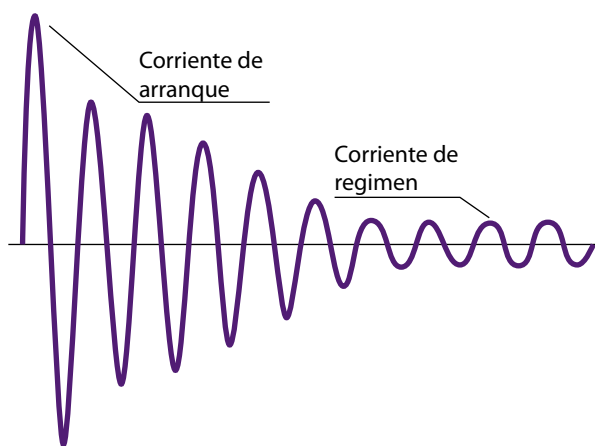


Figura 4. Corriente del motor en distintas fases de funcionamiento

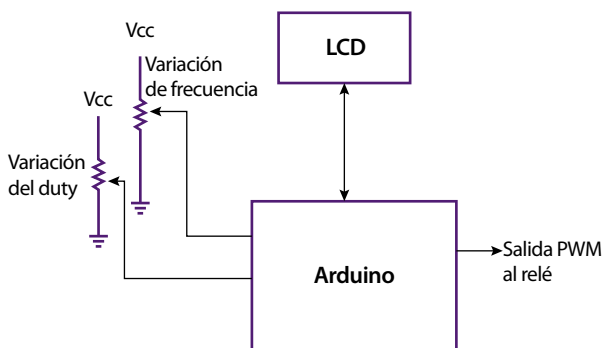


Figura 5. Diagrama en bloques del circuito

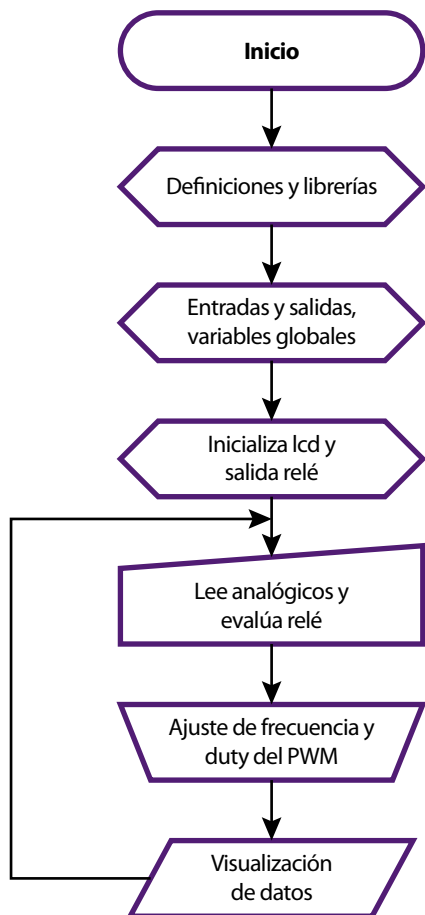


Figura 6. Diagrama de flujo del programa

En cuanto al motor asincrónico monofásico, se realizaron los ajustes de la señal modulante, la frecuencia y el tiempo de apagado de modo que se garantice que el motor trabaje dentro de la zona de estabilidad tal como muestra la figura 3.

La duración del corte energético debe ser tal que el motor no abandone la zona de estabilidad, lo cual permite un arranque “rápido” sin gran consumo de corriente (menor o igual a dos veces la corriente nominal).

En la figura 4 se muestra la corriente en función del tiempo durante el arranque del motor de inducción.

Lógicamente, cuando se produce la interrupción de alimentación al motor y el posterior restablecimiento, se efectuará un nuevo pico de arranque, el cual debe cuidarse que no sea muy superior del valor nominal.

### Desarrollo

Se propuso construir un sistema que controle el accionamiento de un relé de estado sólido mediante control por ancho de pulso (PWM), donde el control del ciclo activo se pueda modificar a través de un potenciómetro analógico. Dicha señal aplicada a un relé de estado sólido permitirá modular la señal senoidal de red (cincuenta hertz –50 Hz–).

Se estableció un rango variable para el periodo de la señal de control que fuera de diez milésimas de segundos hasta siete segundos (10 ms-7 s).

Para resolver el problema se utilizó una placa Arduino UNO con una placa accesoria que cuenta con una pantalla LCD de dieciséis por dos caracteres y cinco pulsadores. La pantalla permite visualizar tanto la frecuencia como el ciclo de actividad de la señal rectangular (señal modulante).

Además, se emplearon dos potenciómetros rotativos, uno para variar la frecuencia de la señal modulante y el otro para variar su ciclo de actividad. El diagrama en bloques se muestra en la figura 5.

Se realizó la programación en lenguaje C, utilizando el compilador propio del sistema Arduino, la figura 6 muestra el diagrama de flujo del programa.

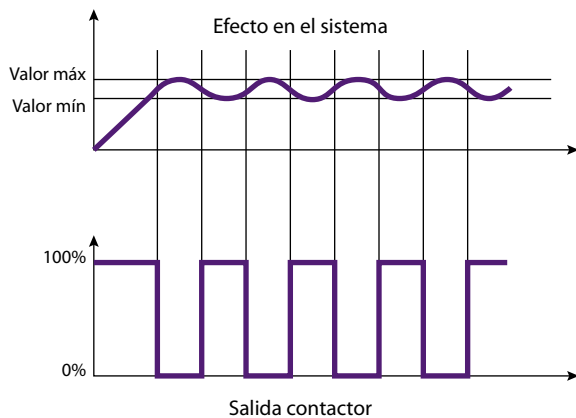


Figura 7. Señal de mando del relé y su relación con la velocidad en el eje del motor

La señal modulante se aplicó a un relé de estado sólido que se encarga de energizar y desenergizar el motor de inducción, siguiendo la idea del control On-Off de la figura 7, en la cual puede observarse el efecto en el sistema (variación de la velocidad en el eje del motor) debido a dicha conmutación.

Con la finalidad de evitar un pico de corriente considerable, se eligió un relé de estado sólido que posee la característica de cruce por cero.

El hecho de efectuar la conmutación en el cruce por cero de tensión permite reducir notablemente la corriente en el motor al inicio del tiempo (tiempo activo indicado en la figura 1).

### Pruebas realizadas

A los efectos de comprobar el ahorro energético, se realizaron los ensayos pertinentes sobre un motor que acciona un ventilador centrífugo (figura 8), el cual impele presión al aire del conducto (figura 9).

Los datos del motor a inducción son:

- » Marca: *Czerweny* tipo monofásico
- » Potencia nominal: 0,5 CV
- » Velocidad: 2.830 revoluciones por minuto
- » Corriente nominal: 2,1 amperes



Figura 8. Conjunto ventilador-motor



Figura 9. Conducto conectado al ventilador

La figura 10 muestra el diagrama eléctrico del programador lógico para el control de potencia.

En cuanto a los parámetros característicos del aire del conducto, se efectuó la medición de la velocidad con un anemómetro digital, mientras que la presión se midió con un manómetro digital. Dichas mediciones fueron efectuadas en el conducto azul de la figura 9.

Como primera parte del ensayo, se conectó el conjunto ventilador-motor de la figura 8 de forma directa a la red eléctrica. Con esta conexión se obtuvieron los datos de los parámetros para analizar en régimen continuo.

La segunda parte del ensayo consistió en conectar el conjunto ventilador-motor siguiendo el esquema de la figura 8 durante una hora. Se ajustó el controlador de forma tal de obtener en la señal

Régimen	Potencia consumida	Presión en el conducto de aire	Velocidad en el conducto de aire
Continuo	391 W	14,9 mBar	28 m/s
Intermitente	337 W (valor máximo medido)	14,3 mBar (valor mínimo medido)	26 m/s (valor mínimo medido)

Tabla 1

de conmutación de la figura 1 (tiempo de encendido de cinco segundos, tiempo de apagado de un segundo), es decir, el funcionamiento del conjunto mencionado fue en régimen intermitente.

Esta parte del ensayo permitió tomar datos para posteriormente contrastarlos con los de la primera parte y evaluar ahorro energético versus modificación de los parámetros del aire en el conducto (velocidad y presión).

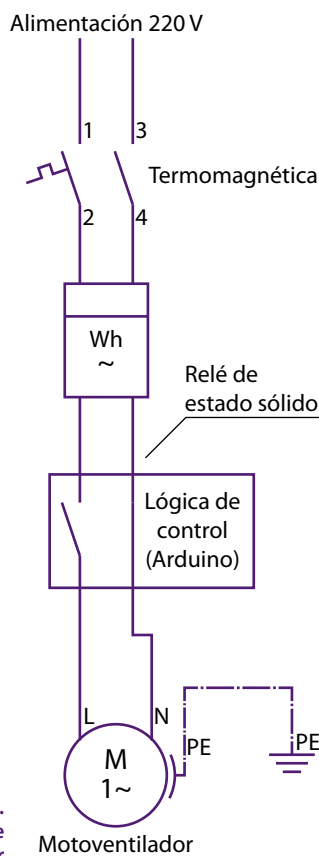


Figura 10. Esquemático del control de potencia del motor

### Conclusión

De la comparación del funcionamiento entre el régimen continuo y el régimen intermitente surgieron los datos volcados en la tabla 1.

En esta etapa del proyecto puedo verificarse un ahorro energético del 13,8 por ciento con una imperceptible reducción del cuatro por ciento (4%) en la presión del conducto y una disminución del 7,14 por ciento en la velocidad del aire en el conducto.

Queda abierta la experimentación (para una etapa posterior) con una realimentación en velocidad del motor con la finalidad de mejorar la estabilidad en la disminución de dicha magnitud y, en consecuencia, valores más estables de presión y velocidad en el conducto de aire, dado que se apreciaron fluctuaciones. ■

### Referencias

- [1] Chapman, S., *Máquinas eléctricas*, McGraw-Hill Interamericana, Santafé de Bogotá, 1993.
- [2] Resnick, R., Halliday, D., *Física Parte 1*, Compañía Editorial Continental, México D. F., 1980.
- [3] Pueyo, H., Marco, C., *Análisis de modelos circuitales*, Arbó, Buenos Aires, 1993.
- [4] Kustra, K., *Comunicaciones digitales*, Hasa, Buenos Aires, 1986.
- [5] Maloney, T., *Electrónica industrial moderna*, Pearson, México D. F., 2006.

Guillermo Molina: [gmolina@udemmm.edu.ar](mailto:gmolina@udemmm.edu.ar)  
 Gustavo Boschi: [gustavo.boschi@docentes.udemm.edu.ar](mailto:gustavo.boschi@docentes.udemm.edu.ar)  
 Luis Carrazan: [luis.carrazan@docentes.udemm.edu.ar](mailto:luis.carrazan@docentes.udemm.edu.ar)  
 Mariano Deleu: [mariano.deleu@docentes.udemm.edu.ar](mailto:mariano.deleu@docentes.udemm.edu.ar)

Nota del editor. La nota aquí reproducida fue originalmente presentada por los autores como artículo de investigación en el Congreso de Automatización y Control, en el marco de la Semana de Control Automático AADECA '18.