

# ACONDICIONAMIENTO DE PLATAFORMAS OPEN SOURCE - ARDUINO PARA LA EDUCACIÓN EN AUTOMÁTICA

## Diseño de un Circuito de Acondicionamiento para el ARDUINO UNO como Controlador Lógico Programable en Aplicaciones Industriales

Yepez-Figueroa, Johnny J<sup>1,\*</sup>, Victores, Juan G, Oña, Edwin D., Balaguer, Carlos, Jardón, Alberto

*Robotics Lab, Dpto de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid, Avda. de la Universidad, 30, 28911, Leganés, España.*

### Resumen

Se presenta el diseño y la implementación de un circuito de potencia para mejorar la funcionalidad del módulo ARDUINO UNO, permitiendo su uso en aplicaciones industriales como un controlador lógico programable (PLC). El diseño se enfoca en el acondicionamiento de los pines de Entrada/Salida de propósito general (GPIO), se selecciona los pines digitales para que manejen tanto entrada como la salida de señales de 110/220 VAC, haciéndolos adecuados para controlar dispositivos industriales de alto voltaje como contactores, con respecto a los pines destinados para salidas de modulación por ancho de pulsos (PWM) se acondicionan para señal analógica con rango de 0 a 10 VDC, necesarias para la interconexión con equipos industriales como los variadores de frecuencia (VDF). Para el diseño de este circuito se utilizan optoacopladores y amplificadores operacionales para garantizar el aislamiento eléctrico, la precisión de la señal y la estabilidad. El circuito se probó y validó para su uso tanto en entornos de 110 VAC como de 220 VAC, lo que confirma su idoneidad para aplicaciones industriales globales.

Este artículo también incluye una revisión exhaustiva de soluciones PLC basadas en módulos con arquitecturas OPEN SOURCE como el ARDUINO. Los resultados demuestran que el circuito ofrece una solución flexible y de bajo coste para ampliar las capacidades de módulos OPEN SOURCE en entornos industriales, proporcionando una plataforma fiable para controlar y supervisar maquinaria de potencia.

### Palabras Clave:

palabra 1, palabra 2, 5-10 palabras clave (tomadas de la lista del sitio web de IFAC).

### 1. Introducción

En los últimos años, la automatización industrial ha tenido un crecimiento significativo, impulsado por la necesidad de optimizar procesos, aumentar la eficiencia energética y por supuesto reducir costos operativos. En este contexto los Controladores Lógicos Programables (PLC) han jugado un papel crucial por ser dispositivos robustos y confiables, diseñados específicamente para controlar maquinarias y procesos industriales. Sin embargo, la creciente demanda por soluciones más flexibles y económicas ha llevado a la exploración de alternativas que,

sin sacrificar rendimiento, se mantengan costos más accesible y mayor versatilidad.

Plataformas de código abierto (OPEN SOURCE) como el Arduino se han convertido popular en la educación y proyectos de prototipos, aunque su diseño original no está destinado a entornos industriales, su arquitectura abierta, la disponibilidad de numerosos módulos y la posibilidad de programación personalizada, han motivado su uso en aplicaciones de bajo y medio nivel de complejidad. No obstante, la placa de Arduino presenta limitaciones en su capacidad para interactuar directamente con señales analógicas y con potencia requeridas por muchos equipos industriales.

Este trabajo aborda estas limitaciones mediante el diseño de un circuito que acondiciona los pines GPIO, permitiendo su integración en sistemas industriales para controlar actuadores, motores y otros dispositivos. Una parte del diseño se enfoca en acondicionar los pines para que puedan manejar señales de 110/220 VAC, ya sea como entradas o salidas. La otra parte se

\*Autor en correspondencia.

Correos electrónicos: johnnyjavier.yepez@uc3m.es (Yepez-Figueroa, Johnny J), jcgvicto@ing.uc3m.es (Victores, Juan G), eona@ing.uc3m.es (Oña, Edwin D.), balaguer@ing.uc3m.es (Balaguer, Carlos), ajardon@ing.uc3m.es (Jardón, Alberto)

URL: www.cea-ifac.es (Yepez-Figueroa, Johnny J)

<sup>1</sup>Nota al pie para el autor 1

Tabla 1: Comparación de PLCs utilizados en automatización industrial

Marca	Modelo	Entradas Digitales	Salidas Digitales	Entradas Analógicas	Salidas Analógicas	Tipo de Aislamiento	Costo (USD)
Siemens	S7-1200	14	10	2	0	Optoacoplador	400 - 600
Allen Bradley	MicroLogix 1100	10	6	2	0	Relé	300 - 500
Schneider	Modicon M221	14	10	2	2	Optoacoplador	250 - 400
Omron	CP1L	12	8	4	2	Relé/Optoacoplador	200 - 350
Mitsubishi	FX5U-32MR/ES	16	16	4	2	Relé	500 - 700
WAGO	PFC200	16	8	2	2	Optoacoplador	600 - 900
Fatek	FBs-24MC	16	8	2	1	Optoacoplador	150 - 300

centra en la conversión de señales PWM (Pulse Width Modulation) en señales analógicas de 0 a 10 VDC. Con estos desarrollos, se busca ampliar las aplicaciones industriales en las que la placa Arduino puede ser utilizado, proporcionando una solución de bajo coste sin comprometer la funcionalidad requerida en entornos industriales.

A continuación, se presenta un estudio que revisa y analiza los desarrollos recientes en el campo de la automatización industrial, destacando los enfoques y métodos utilizados para adecuar al Arduino como un PLC.

### 1.1. Estado del arte.

En la Tabla 1 se detallan algunas características principales de los PLC más comunes utilizados en la automatización industrial. Esta comparación ilustra la capacidad de estos dispositivos frente a microcontroladores de plataformas Open Source, proporcionando una visión clara de sus entradas/salidas (I/O), tipo de aislamiento (relé u optoacoplador) y el costos de adquirirlos, permitiendo elegir la tecnología más adecuada para cada aplicación específica.

Una de las características más importantes de los PLC es la protección de sus circuitos internos mediante sistemas de aislamiento, que aseguran la integridad del controlador frente a picos de tensión, interferencias electromagnéticas y otras perturbaciones comunes en entornos industriales. Diversas publicaciones científicas han explorado diferentes métodos de aislamiento, como el uso de optoacopladores, relés y varistores, para adaptar el Arduino a aplicaciones industriales y robustas. Estas soluciones no solo mejoran la capacidad del Arduino para manejar cargas más grandes y proteger sus componentes frente a interferencias electromagnéticas, sino que también permiten que este microcontrolador económico se utilice en sistemas que tradicionalmente requieren la robustez de un PLC. En este capítulo, se analizan diversas investigaciones y enfoques técnicos que han aplicado estos métodos de aislamiento para optimizar el uso del Arduino en sistemas industriales.

El trabajo de (Mir y Swarnalatha, 2018) explora la implementación del microcontrolador Arduino para un modelo de sistema de automatización industrial, destacando un modelo industrial pero a pequeña escala para replicar operaciones secuenciales típicas de líneas de producción industriales, tales como el control y monitoreo continuo de variables críticas como el nivel de agua y temperatura. Por otro lado, el trabajo de (Rúnarsson,

2016) profundiza el ensamblaje y evaluación de líneas de producción automatizadas en un contexto más industrial.

Otro trabajo es el aplicado en la industrial de manufactura (Chiluisa Cabezas y Asqui Chacha, 2019), en donde aborda la implementación de optoacopladores, permitiendo que los sistemas basados en microcontroladores como Arduino puedan interactuar de manera segura y efectiva con los componentes de potencia en aplicaciones industriales.

Las aplicaciones más comunes en la adaptación del Arduino son las señales digitales, como ejemplo, para el control de contactores; dispositivos esenciales en la automatización industrial para manejar cargas eléctricas pesadas. Estos contactores requieren señales de control con cierta corriente y tensión que superan las capacidades nativas de los pines GPIO del Arduino.

#### Salidas Digitales.

Una de las soluciones para adaptar las salidas del Arduino a las necesidades de control de contactores es el uso de optoacopladores y relés, por ejemplo, aplicaciones como domótica en donde se requiere controlar dispositivos energizados por corriente alterna, (Puri y Nayyar, 2016) describe un circuito de potencia mediante optoacoplador MOC3021 que permite el acondicionamiento de los GPIO's de un microcontrolador PIC16F877A, este enfoque garantiza la protección del microcontrolador frente a picos de tensión y ruido eléctrico, en este caso permitiendo el control efectivo de luminarias.

Otro estudio similar, (Bakanagari et al., 2013) implementaron un enfoque novedoso para el control de velocidad del motor de inducción, en el que también se empleó optoacopladores MOC3021, para gestionar la conmutación de cargas en corriente alterna, lo que es crucial para la robustez de sistemas industriales basados en microcontroladores.

El MOC3021 está diseñado específicamente para el control de triacs, permitiendo la conmutación segura de cargas AC, aislando completamente el microcontrolador de las líneas de corriente alterna, eliminando el riesgo de daño eléctrico al sistema de control, siendo relevante en aplicaciones donde se controlan cargas inductivas como contactores y solenoides, que pueden generar picos de voltaje potencialmente dañinos.

Otro optoacoplador para el aislar los circuitos de diferentes potencial es el 4N25, (Riedemann et al., 2019) en este trabajo utiliza este elemento para permitir que el Arduino controle la sincronización entre el alternador con la red eléctrica.

#### Entradas Digitales.

Las entradas digitales del Arduino son diseñadas para bajo

Tabla 2: Comparativa de modelos de Arduino para aplicaciones industriales

Modelo de Arduino	Procesador	Número de GPIOs	Tensión de Operación	Memoria Flash	RAM	Capacidad de Alimentación (V)	Conectividad	Características Destacadas para Entornos Industriales
Arduino Uno Rev3	ATmega328P (8-bit, 16 MHz)	14 (6 PWM)	5V	32 KB	2 KB	7-12V	UART, I2C, SPI	Buena opción para tareas simples. Limitado en memoria y pines.
Arduino Mega 2560	ATmega2560 (8-bit, 16 MHz)	54 (15 PWM)	5V	256 KB	8 KB	7-12V	UART, I2C, SPI	Ideal para aplicaciones que requieran muchos GPIOs.
Arduino Due	SAM3X8E (32-bit, 84 MHz)	54 (12 PWM)	3.3V	512 KB	96 KB	7-12V	UART, I2C, SPI	Procesador más potente, ideal para tareas complejas y rápidas.
Arduino Nano	ATmega328P (8-bit, 16 MHz)	14 (6 PWM)	5V	32 KB	2 KB	7-12V (o vía USB)	UART, I2C, SPI	Compacto y práctico, adecuado para proyectos más pequeños.
Arduino MKR Zero	SAMD21 Cortex M0 (32-bit)	22	3.3V	256 KB	32 KB	5V vía USB, o batería Li-Po 3.7V	UART, I2C, SPI, I2S	Ideal para integración con sistemas de bajo consumo energético.
Arduino MKR 1000	SAMD21 Cortex M0 (32-bit)	8	3.3V	256 KB	32 KB	5V vía USB, o batería Li-Po 3.7V	WiFi, UART, I2C, SPI	Integración con WiFi, ideal para IoT en entornos industriales.
Arduino Portenta H7	Dual Core ARM Cortex-M7 + M4	160+ GPIO (con expansión)	3.3V	2 MB	1 MB	5V vía USB-C, o batería Li-Po 3.7V	WiFi, BT, UART, I2C, SPI, CAN	Potente, soporta aplicaciones AI/ML, robusto para uso industrial.

voltaje (5 VDC), para recibir señales provenientes de sensores industriales que operen a niveles de 24 VDC o incluso 110/220 VAC deben acondicionarse, por ello se investigó varias publicaciones.

El estudio de (Aathinarayanan et al., 2018) para el control de velocidad de un motor de inducción, se utiliza optoacopladores 4N25 en un circuito para detección de cruce por cero, nuevamente la investigación destaca la importancia de los optoacopladores para garantizar el aislamiento segura entre las señales de baja y alta tensión.

El aislamiento galvánico mediante optoacopladores es una técnica ampliamente utilizada para proteger las entradas del Arduino de tensiones industriales. *Martínez y López (2017)* describen el uso de optoacopladores 4N25 para recibir señales de 24 VDC, reduciendo la señal a un nivel seguro para el microcontrolador. Esta técnica es fundamental en aplicaciones donde se requiere una alta inmunidad al ruido eléctrico.

Otro enfoque más avanzado es la combinación de optoacopladores con redes resistivas y zener, como describe *Kumar (2019)*, implementa un sistema de monitoreo de seguridad industrial, en este diseño, los optoacopladores manejaban señales de entrada de 220 VAC, se detalla la integración de sensores de proximidad y otro dispositivos de señalización industrial con el Arduino Uno.

#### Conversión de Señales PWM a Control Analógico.

Una de las aplicaciones críticas es la conversión de la señal PWM generada por el ARDUINO a una señal analógica, lo que es esencial para controlar dispositivos como variadores de frecuencia en motores eléctricos. En esta línea, un artículo relevante es el de Feng Zhou y Wei Xiong, titulado "Using PWM Output as a Digital-to-Analog Converter on DSP", publicado en la conferencia internacional de IEEE en 2010. Este trabajo describe cómo utilizar generadores PWM integrados en un

DSP para realizar conversiones de digital a analógico mediante el filtrado de las señales PWM. Aunque este estudio se centra en un DSP, los principios discutidos son aplicables a ARDUINO, especialmente en el diseño de filtros pasa-bajos para suavizar la señal PWM y obtener una salida de corriente continua (DC) proporcional al ciclo de trabajo de la señal PWM.

## 2. Arquitectura del Sistema

Un acondicionamiento adecuado de los GPIO mediante optoacopladores es esencial para proteger los circuitos y garantizar la seguridad, sin embargo, no todos los modelos de Arduino son ideales para un entorno industrial. En la Tabla 2 presenta una comprativa con modelos más relevantes, considerando factores como la robustez, números de pines GPIO, capacidad de procesamiento, conectividad y opciones de alimentación.

Arduino Portenta H7 es el modelo más avanzado y adecuado para aplicaciones industriales de alta gama, especialmente en sistemas de automatización avanzada, procesamiento de imágenes, o donde se requiera Machine Learning. Su capacidad de expansión, conectividad y soporte para entornos de desarrollo industriales lo hacen una excelente opción, pero su alto costo no permita que sea una opción viable para esta investigación.

El Arduino Due también puede ser una de las mejores opciones para aplicaciones industriales más avanzadas debido a su procesador de 32 bits y su velocidad superior. Sin embargo, su tensión de operación es de 3.3V, lo que requiere más cuidado en la protección de los GPIOs.

La otra opción es el Arduino Mega 2560, aunque presenta una opción solida cuando se necesitan gran cantidad de señales para receptor o controlar procesos, esto provoca un sobredimensionamiento e incremento en su costo de fabricación, por lo que la mejor opción para aplicaciones simples y sin operacio-

nes complejas es el Arduino UNO Rev3. Los demás modelos se destacan para aplicaciones.

El Arduino Uno (Fig. 1) cuenta con catorces pines digitales, de los cuales seis son pines PWM, los cuales pueden ser utilizados para generar señales análogas mediante modulación de ancho de pulso.

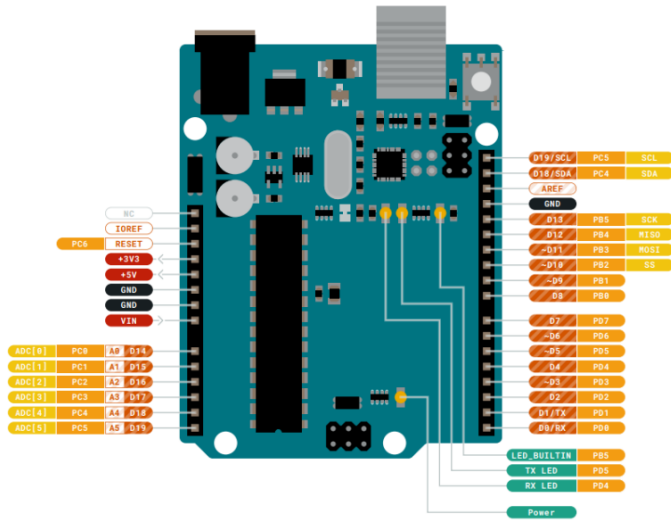


Figura 1: Arquitectura Arduino UNO Rev3.

Se necesita acondicionar la alimentación del Arduino, los equipos para la automatización se energizan con 24V DC, común en entornos industriales, por lo que se emplea un regulador de voltaje que asegura al microcontrolador reciba la energía de manera estable y protegida, garantizando su correcto funcionamiento.

Se acondiciona los pines 2, 3, 4, 7 y 8 permitiendo que el Arduino interactúe con señales de 110/220V AC, este acondicionamiento ofrece flexibilidad al usuario, ya que permite configurar a estos pines como entrada o salidas digitales, dependiendo de las necesidades del control del proceso, garantizando seguridad y funcionalidad en ambas configuraciones.

De los seis pines destinados para PWM, se diseña un circuito conversor de señal PWM a señal analógica para los pines 5, 6, 9 y 10, el pin 11 no será acondicionado por lo que se utilizará para controlar procesos que requieran señal PWM.

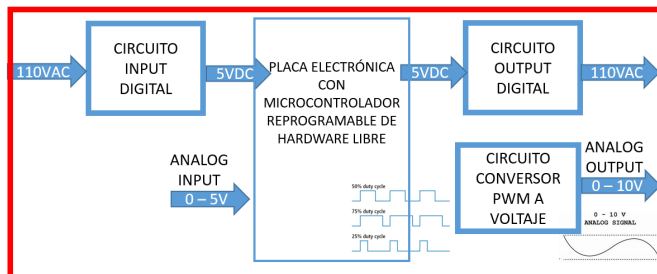


Figura 2: Esquema del Circuito Electrónico

A continuación, se describe cómo acondicionar estos pines para aplicaciones industriales, utilizando optoacopladores

y amplificadores operacionales.

### 3. Diseño Electrónico

El circuito diseñado ofrece una solución efectiva para utilizar un Arduino como un PLC en aplicaciones industriales. Con las modificaciones adecuadas, el circuito es capaz de operar en sistemas eléctricos de diferentes partes del mundo, como América y Europa, asegurando su aplicabilidad en un amplio rango de entornos.

#### 3.1. Circuito para señales digitales

Se describe el diseño de un circuito que permite la configuración flexible de pines digitales para funcionar tanto como entradas o como salidas de corriente alterna, asemejándose al comportamiento de un PLC. El circuito fue diseñado para operar en ambientes de tensiones de alimentación de 110VAC y 220VAC, siendo la tensión pico para 220V AC aproximadamente de 311V AC ( $V_p = V_{rms} \cdot \sqrt{2}$ ), mediante el uso de optoacopladores, TRIACS y transistores que garantizan el aislamiento eléctrico y la seguridad operativa.

- **TRIAC BTA06-600B:** Siendo un dispositivo semiconductor capaz de conducir corriente en ambas direcciones cuando se activa, con una capacidad de corriente de 6A y una tensión de bloque de 600V, es el componente ideal para manejar cargas de corriente alterna en ambientes de 110V/220V AC, sin la necesidad de modificaciones adicionales en el circuito.

**Consideración:** Aunque se puede manejar 220V AC, se debe asegurar que la carga no exceda la corriente nominal del TRIAC.

- **Optoacoplador MOC3021:** Este optoacoplador soporta hasta 400V de tensión en pico, lo que hace adecuado para acondicionar las señales de salidas que se necesitan en aplicaciones tanto en 110V como en 220V de corriente alterna.

**Consideración:** Aunque este optoacoplador está dentro de sus límites de tensión máxima (400V), es importante asegurarse de que el TRIAC utilizado (BTA06) sea capaz de manejar la mayor corriente y tensión asociadas con el sistema de 220V AC.

- **Optoacoplador 4N25:** Para la detección de señales de corriente alterna en el modo de entrada, se utiliza este optoacoplador, que asegura el aislamiento entre la red eléctrica y el microcontrolador. Este optoacoplador traduce la señal de AC a un nivel de corriente seguro para el LED interno, que luego se convierte en una señal digital compatible con el Arduino.

**Consideración:** En un sistema de 220V AC, el diseño de la red de resistencias debe ser revisado para asegurarse de que no exceda la capacidad de corriente del LED interno del optoacoplador. Siendo el valor de la resistencia (conectada al emisor del optoacoplador) el más crítico para

limitar la corriente al LED cuando se enfrenta a 220V AC. Además se debe asegurar que las resistencias y diodos estén clasificados para el uso con 220VAC, por esta razón se utiliza un diodo 1N4007 siendo su tensión inversa de 1000V.

Aunque el circuito ha sido diseñado para operar en sistemas de 110V AC y 220V AC, los cuales son estándares en América y Europa, respectivamente. Sin embargo, el incremento en la tensión de alimentación requiere ajustes específicos en la red de resistencias para asegurar que los optoacopladores reciban la corriente adecuada sin exceder sus especificaciones.

Para la correcta operación del optoacoplador 4N25 en un ambiente de 220VAC, es fundamental recalcular las resistencias que limitan la corriente al LED interno. Dado que la tensión de pico en un sistema de 220VAC es aproximadamente 311V, la resistencia debe ajustarse para limitar la corriente a un nivel seguro, la corriente máxima es de 50 mA.

El valor de la resistencia  $R_{opt}$  está dado por la siguiente ecuación:

$$R_{opt} = \frac{V_{pico} - V_{LED}}{I_{LED}}$$

Donde:

- $V_{pico}$  es la tensión de pico de la señal AC (aproximadamente 311V para 220VAC),
- $V_{LED}$  es la caída de tensión en el LED interno del optoacoplador (aproximadamente 1.2V),
- $I_{LED}$  es la corriente deseada a través del LED (en el rango de 10-50 mA).

Para un sistema de 220VAC, usando una corriente de diseño mayor a la crítica, 70 mA:

$$R_{opt} = \frac{311\text{ V} - 1,2\text{ V}}{70\text{ mA}} \approx 4,42\text{ k}\Omega$$

Por lo tanto el valor estandar de la resistencia es  $R_{opt} = 4,7\text{ k}\Omega$

Para un sistema de 110V AC ( $V_p = 155,56\text{V}$ ), se verifica si con esa resistencia, la corriente no sobrepasa el valor crítico.

$$I_{LED} = \frac{155,56\text{ V} - 1,2\text{ V}}{4,7\text{ k}\Omega} \approx 32\text{ mA}$$

Se detalla el circuito (Fig. 3) para acondicionar las señales de entrada.

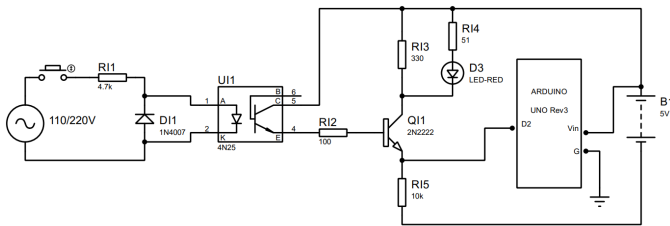


Figura 3: Circuito de convertor AC-DC señal digital.

Para el acondicionar las señales de salidas digitales, el circuito es el siguiente. (Fig. 4)

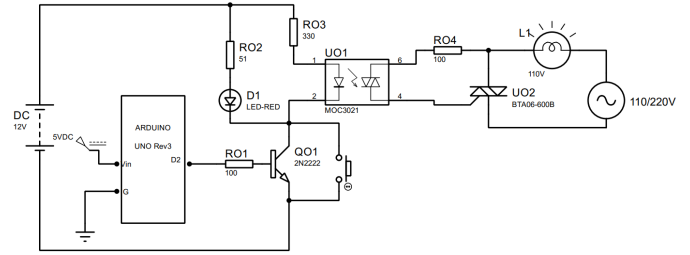


Figura 4: Circuito de convertor DC-AC señal digital.

Por lo tanto, uniendo los dos circuitos se tiene la siguiente configuración. (Fig. 5)

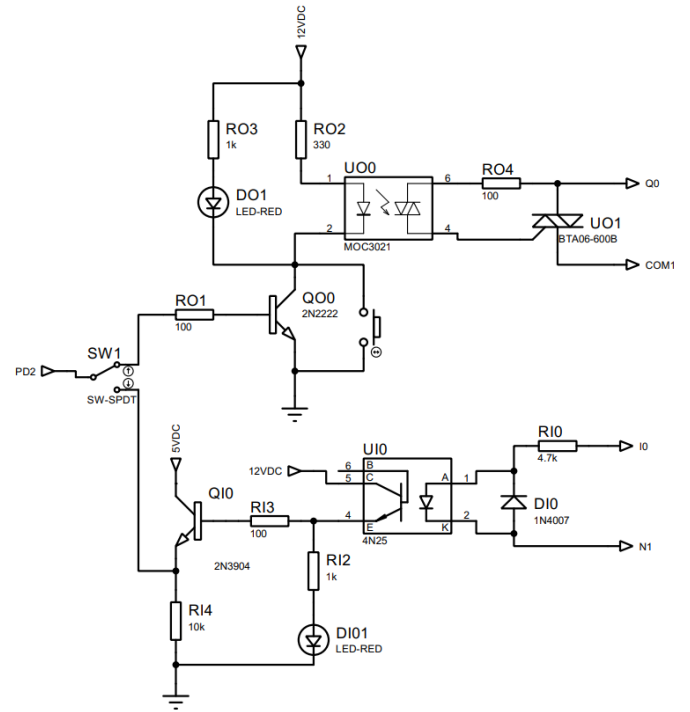


Figura 5: Circuito acondicionador para señal digital.

### 3.2. Circuito convertor PWM a señal analógica

El circuito se basa en un filtro pasa bajo RC para suavizar la señal PWM, mediante un amplificador operacional en configuración NO INVERSOR se escala la señal resultante en un rango de 0 a 10V.

Las señales PWM generadas por el microcontrolador oscilan entre 0V a 5V a una frecuencia determinada, estas señales se filtran mediante la configuración RC compuesto por una resistencia y un condensador, por lo que este filtro convierte la señal PWM en un voltaje promedio que depende del ciclo de trabajo (duty cycle) de la señal modulada por pulsos.

Los pines PWM del Arduino Uno genera una señal con una frecuencia base estándar de:

- 490 Hz en los pines 5 y 6.

- 980 Hz en los pines 3, 9, 10 y 11.

El filtro pasa bajo debe atenuar las frecuencias del PWM y permitir que pase la señal promedio, una regla común es seleccionar la frecuencia de corte del filtro  $f_c$  de una décima parte de la frecuencia PWM para garantizar que la señal se suavice correctamente

Para un filtro de primer orden, la frecuencia de corte se relaciona con la resistencia y el capacitor mediante la formula:

$$C = \frac{1}{2\pi f_c R}$$

Donde:

- $f_c = 49 \text{ Hz}$
- $R = 10 \text{ k}\Omega$

$$C = \frac{1}{2\pi * 49 \text{ Hz} * 10 \text{ k}\Omega} \approx 0,325 \mu\text{F}$$

El Arduino produce un PWM con un voltaje de 0 a 5V, pero necesitas una salida de 0 a 10V. Para escalar la señal de 0-5V a 0-10V, puedes usar un amplificador operacional en una configuración de amplificación no inversora. La ganancia del amplificador operacional debe ser:

$$G = \frac{V_{\text{out max}}}{V_{\text{in max}}} = \frac{10 \text{ V}}{5 \text{ V}} = 2$$

Usando un amplificador operacional en configuración no inversora, la ganancia se define como:

$$G = 1 + \frac{R_f}{R_{in}}$$

Donde:

- $R_f$  es la resistencia en la retroalimentación.
- $R_{in}$  es la resistencia conectada a la entrada.

Entonces:

$$2 = 1 + \frac{R_{in}}{R_f} \implies \frac{R_{in}}{R_f} = 1$$

Por lo tanto, puedes seleccionar resistencias iguales para  $R_f$  y  $R_{in}$  (por ejemplo,  $R_f = R_{in} = 10 \text{ k}\Omega$ ) para amplificar la señal a 10V.

El circuito convertidor PWM a señal analógica queda diseñado de la siguiente manera. (Fig. 6)

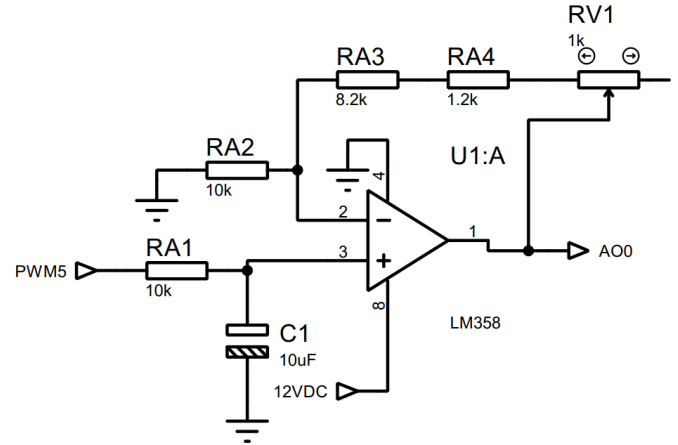


Figura 6: Circuito de convertor PWM - señal analógica.

Se incluyen potenciómetros en las salidas acondicionada de los amplificadores operacionales para permitir ajustes finos del voltaje de salida. Estos potenciómetros permiten ajustar el offset o calibrar el nivel de salida a cero voltios cuando el ciclo de trabajo del PWM es cero.

#### 4. Resultados

Se presentan los resultados obtenidos mediante la implementación de un sistema de control PWM utilizando un microcontrolador Arduino. El código fue diseñado para leer los valores de un potenciómetro conectado a una entrada analógica y generar una señal PWM en función de la lectura, para luego ser acondicionado en un rango de 0 a 10V DC y ser utilizada para el control de un Variador de frecuencia en sistema eléctrico Americano (60Hz). Adicional, se implementó un sistema de control de disparo mediante un tablero de control que es energizado a 110V AC, lo que permite alternar el estado encendido y apagado de un contactor.

El pseudocódigo 1 que se detalla a continuación describe los pasos fundamentales de la lógica de control. Este esquema se desarrolló para optimizar la conversión de la señal analógica en una señal PWM y la gestión del estado de salida digital:



**Algorithm 1** Pseudocódigo del control PWM y botón en Arduino

```

1: INICIALIZAR PWMpin con valor 9 ▶ Pin de salida PWM
2: INICIALIZAR buttonPin con valor 2 ▶ Pin del botón
3: INICIALIZAR PinLED con valor 3 ▶ Pin del LED
4: INICIALIZAR analogPin con valor 0 ▶ Pin del
  potenciómetro
5: INICIALIZAR val con valor 0 ▶ Variable para almacenar
  el valor leído
6: INICIALIZAR estado con valor BAJO ▶ Estado del botón
7: INICIALIZAR oldbuttonState con valor 0 ▶ Estado
  anterior del botón
8: INICIALIZAR newbuttonState con valor 0 ▶ Estado actual
  del botón
9: procedure SETUP
10:   INICIAR puerto serial a 9600 baudios
11:   CONFIGURAR PinLED como salida
12:   ESCRIBIR en PinLED BAJO
13:   CONFIGURAR buttonPin como entrada
14:   CONFIGURAR PWMpin como salida
15: end procedure
16: procedure LOOP
17:   LEER valor del potenciómetro en analogPin y almace-
    narlo en val
18:   MAPEAR val de rango 0-1023 a 0-25500
19:   DIVIDIR val entre 100
20:   ESCRIBIR valor de val en PWMpin con salida analó-
    gica
21:   IMPRIMIR val en puerto serial
22:   LEER estado del botón en newbuttonState
23:   if newbuttonState es diferente a oldbuttonState then
24:     oldbuttonState = newbuttonState
25:     if newbuttonState es BAJO then
26:       INVERTIR valor de estado (SI es BAJO, cam-
        biar a ALTO y viceversa)
27:       ESCRIBIR estado en PinLED
28:     end if
29:   end if
30: end procedure

```

El código de este sistema está disponible en: <https://github.com/YEPEZ25>.

Los resultados de las pruebas experimentales que relacionan el voltaje de entrada, las lecturas del ADC y DAC del Arduino, y la salida final del sistema de control PWM se muestran en la siguiente Tabla 3. Se incluye el cálculo del error porcentual en la salida, en comparación con el valor teórico esperado, así como la respuesta del variador de frecuencia controlado por la señal PWM generada:

Tabla 3: Medición del circuito conversor PWM - Señal Analógica

Voltaje Entrada	Arduino ADC	Arduino DAC	Voltaje Salida	Error %	Variador de Frecuencia
0.00	0	0	0.00	0.0	0
1.00	204	50	2.01	0.1	12.2
2.00	403	100	4.02	0.2	24.3
3.00	608	152	6.06	0.6	36.5
4.00	815	203	8.06	0.6	48.6
5.00	1022	255	10.11	1.1	60.0

Se aprecia la tendencia del acondicionamiento mediante la siguiente gráfica.(Fig. 7)

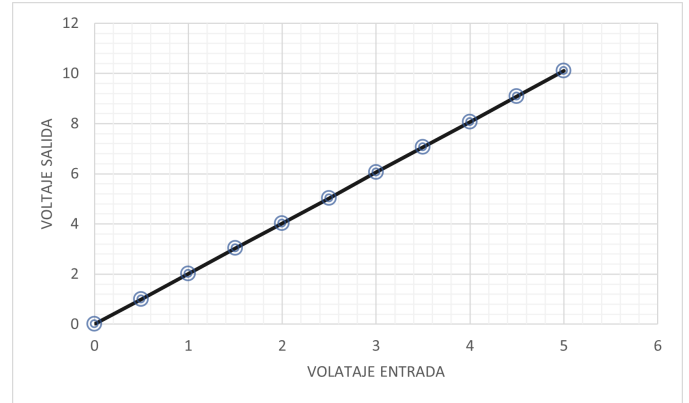


Figura 7: Mediciones de Voltajes.

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos durante las pruebas del sistema de encendido y apagado del Contactor, controlado mediante el pulsador. Se registraron tanto el estado del Contactor (encendido o apagado) como el número de presiones del botón necesarias para cambiar el estado del dispositivo. Los resultados muestran que el sistema responde de manera eficiente, con cambios de estado detectados correctamente en cada ciclo de pulsación, lo que confirma la fiabilidad del algoritmo implementado para la lectura del pulsador y el control del Contactor.

Tabla 4: Comprobación del circuito de disparo

Números de Pulsaciones	GPIO Entrada 110/220V AC	GPIO Salida 110/220V AC	Número de éxitos
10	PD2	PD7	10
10	PD3	PD8	10
10	PD7	PD2	10
10	PD8	PD3	10

## 5. Conclusiones

Una seccion de conclusiones no es necesaria. Sin embargo, las conclusiones pueden revisar los puntos mas importantes de un articulo, pero no debe replicarse el resumen en las conclusiones. Las conclusiones pueden tratar sobre la importancia del trabajo realizado o sugerir aplicaciones o trabajos futuros.

Repetido. Una seccion de conclusiones no es necesaria. Sin embargo, las conclusiones pueden revisar los puntos mas importantes de un articulo, pero no debe replicarse el resumen en

las conclusiones. Las conclusiones pueden tratar sobre la importancia del trabajo realizado o sugerir aplicaciones o trabajos futuros.

Repetido. Una sección de conclusiones no es necesaria. Sin embargo, las conclusiones pueden revisar los puntos más importantes de un artículo, pero no debe replicarse el resumen en las conclusiones. Las conclusiones pueden tratar sobre la importancia del trabajo realizado o sugerir aplicaciones o trabajos futuros.

## English Summary

**Paper title in English, bold style.**

## Abstract

Many young learners are required to write essays in English. While most of these students also write essays for other courses in their native language, they often feel hesitant when writing essays in English. This series of four lessons is designed to help students become familiar with writing an essay in English. The first lesson is designed to give students an overview of basic essay writing style. The final three lessons focus on developing skills that are used when analyzing texts as the basis of their essays.

*Keywords:*

Keyword 1, keyword 2, keyword 3.

## Agradecimientos

La investigación que condujo a este resultado recibió financiación del proyecto “ROBOASSET: Intelligent robotic systems for assessment and rehabilitation in upper limb therapies» (PID2020-113508RB-I00), y del proyecto i-REHAB “AI-powered Robotic Personalized Rehabilitation”, Proyecto ISCIII-AES-2022/003041, financiado por el Instituto de Salud Carlos III (ISCIII) y cofinanciado por la Unión Europea. Asimismo, esta publicación forma parte del proyecto R&D&I PLEC2021-007819 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR.

## Referencias

- Aathinarayanan, T., Kumar, R. R., Kanna, R. R., Penyameen, K., 2018. Shaded pole motor speed control by smart phone.
- Bakanagari, S., Peddapudi, J., Kumar, A. M., 2013. A novel approach to speed control of induction motor by cycloconverter with thyristors. *International Journal of Engineering research & Applications* 3 (6).
- Chiluisa Cabezas, F. J., Asqui Chacha, Y. P., 2019. Ensamblaje e implementación de un módulo didáctico de convertidores estáticos de energía eléctrica para la facultad de mecánica de la epoch. B.S. thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Mir, A., Swarnalatha, R., 2018. Implementation of an industrial automation system model using an arduino. *Journal of Engineering Science and Technology* 13 (12), 4131–4144.

Puri, V., Nayyar, A., 2016. Real time smart home automation based on pic microcontroller, bluetooth and android technology. En: 2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIA-Com). pp. 1478–1484.

Riedemann, J., Peña, R., Pino, R., Perez, M., Jara, W., Pesce, C., Melín, P., 2019. Design and building of an automatic alternator synchronizer based on open-hardware arduino platform. *IEEE Access* 7, 105116–105122. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2932294

Rúnarsson, S., 2016. Open source hardware and software alternative to industrial plc. Master's thesis, Høgskolen i Sørøst-Norge.

## Apéndice A. Primer Apéndice

Este texto está repetido. Si utiliza Word, use o bien Microsoft Editor de Ecuaciones o MathType para las ecuaciones de su artículo (Insertar | Objeto | Crear Nuevo | Microsoft Editor de Ecuaciones o Ecuación MathType). No debe seleccionar la opción “Flotar” sobre el texto. Por supuesto, LaTeX gestiona las ecuaciones a través de macros pre-programadas.

## Apéndice B. Segundo Apéndice

Este texto está repetido. Use el Sistema Internacional como unidades primarias. Se pueden usar otras unidades como unidades secundarias (entre paréntesis). Esto se aplica a artículos sobre almacenamiento de datos. Por ejemplo, escriba “ $15\text{Gb}/\text{cm}^2$ ” ( $100\text{Gb}/\text{in}^2$ ). Se considera una excepción cuando las unidades inglesas se usan como identificadores comerciales, como unidad de disco de 3.5 pulgadas. Evite mezclar unidades del Sistema Internacional con el Sistema Cegesimal, tales como corriente en amperios y campo magnético en oersteds. Esto a menudo lleva a confusión porque las ecuaciones no son dimensionalmente equiparables. Si debe usar unidades mezcladas, especifique claramente las unidades para cada cantidad en la ecuación.

La unidad en el Sistema Internacional para la fuerza del campo magnético  $H$  es A/m. Sin embargo, si desea utilizar unidades de  $T$ , o bien refiérase a densidad de flujo magnético  $B$  o fuerza del campo magnético simbolizado como  $\mu_0 H$ . Utilice el punto centrado para separar unidades compuestas, es decir,  $\text{A} \cdot \text{m}^2$ .

## Apéndice C. Tercer Apéndice

### Apéndice C.1. Más sobre Figuras y Tablas

Este texto está repetido. Las etiquetas de los ejes de las figuras son a menudo fuentes de confusión. Utilice palabras en lugar de símbolos. Como ejemplo, escriba la cantidad “Magnetización,” o “Magnetización  $M$ ,” no solo “ $M$ .” Ponga las unidades entre paréntesis. No etiquete los ejes únicamente con unidades. Como en la Fig. 1, por ejemplo, escriba “Magnetización (A/m)” o “Magnetización ( $\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$ ),” no solo “A/m” No etiquete los ejes con una relación de cantidades y unidades. Por ejemplo, escriba “Temperatura (K),” no “Temperatura/K.”

Los multiplicadores pueden ser especialmente fuente de confusión. Escriba “Magnetización (kA/m)” o “Magnetización ( $10^3 \text{A/m}$ ).” No escriba “Magnetización ( $\text{A/m} \times 1000$ )” porque el lector no sabrá si la etiqueta del eje superior en la Fig. 1 es 16000 A/m o 0.016 A/m. Las etiquetas de las figuras deben ser legibles, aproximadamente de 8 a 12 puntos.