

Sistemas de Control I  
Monografía:  
Implementación de sistema de control automático para  
regulación de la intensidad lumínica

Alumno: Morales Esteban Andrés Matrícula: 35104714  
Docente: Ing. Mathe Ladislao .

3 de julio de 2021

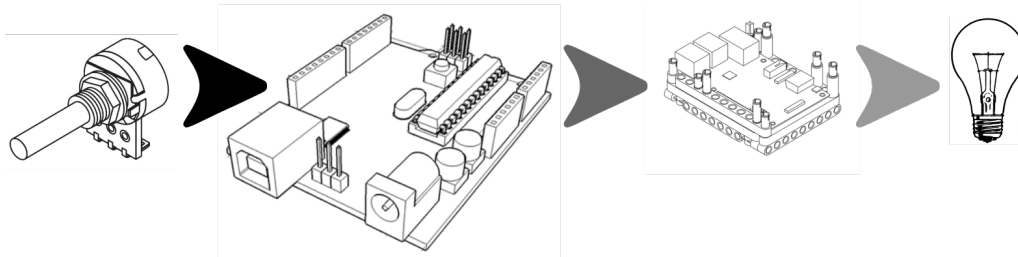
# Índice

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Descripción del problema</b>                            | <b>3</b>  |
| 1.1. Potenciómetro . . . . .                                  | 3         |
| 1.2. Arduino Uno . . . . .                                    | 4         |
| 1.3. Dimmer . . . . .   | 4         |
| 1.4. Lámpara . . . . .  | 6         |
| <b>2. Planteo Inicial: Sistema sin Realimentación</b>         | <b>6</b>  |
| 2.1. Sensor . . . . .   | 6         |
| 2.2. Funciones de Transferencia . . . . .                     | 7         |
| 2.2.1. ACTUADOR . . . . .                                     | 7         |
| 2.2.2. PLANTA . . . . .                                       | 7         |
| 2.2.3. SENSOR . . . . .                                       | 7         |
| <b>3. Funcion de Transferencia de Lazo Abierto</b>            | <b>8</b>  |
| <b>4. Funcion de Transferencia de Lazo Directo</b>            | <b>9</b>  |
| <b>5. Funcion de Transferencia de Lazo Cerrado</b>            | <b>9</b>  |
| <b>6. Lugar de Raíces</b>                                     | <b>12</b> |
| <b>7. Compensación</b>  | <b>14</b> |
| <b>8. Respuesta del Sistema ante distintas Perturbaciones</b> | <b>20</b> |
| <b>9. Respuesta en Frecuencia</b>                             | <b>23</b> |
| <b>10. Variables de Estado</b>                                | <b>26</b> |
| <b>11. Código Matlab</b>                                      | <b>27</b> |

# 1. Descripción del problema

En el presente trabajo se describirá el proceso de desarrollo de un sistema de control automático para regular la intensidad luminica en una habitación. En un enfoque inicial se plantea un sistema de lazo abierto conformado por 4 componentes principales

- Potenciómetro (Resistencia Variable)
- Arduino UNO
- Circuito Dimmer (Corte Alterna)
- Lámpara de filamento incandescente



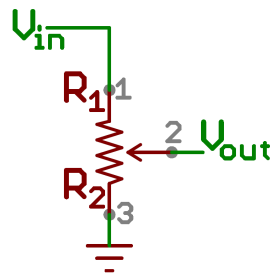
**Figura 1:** Esquema ilustrativo.

En una instancia posterior se incorporará al diseño original un sensor LDR (Light Diode Resistense) de luminosidad para medir el nivel de iluminacion proporcionado por la lampara y de esta manera ofrecer un punto de retroalimentación al sistema inicial. Se debe mencionar que el sistema deberá ser capaz de soportar perturbaciones exteriores, como ser la apertura de ventanas o alguna sombra que pueda producirse por distintas causas, que pueden provenir por el paso de una persona, o de nubes.

La entrada del sistema sera 0V a 10V, que se relacionaran con la salida de forma lineal. El rango de salida del sistema sera de 0lm a 1000lm. Se seleciconara una entrada deseada, por ej 8V al que le corresponde una salida de 800lm, y el sistema debiera ser capaz de mantener la salida correspondiente, a pesar de las perturbaciones consideradas.

## 1.1. Potenciómetro

Una resistencia variable utilizada a modo de divisor de tensión permitirá fijar un nivel de control.



**Figura 2:** Esquema circuito potenciometro.

## 1.2. Arduino Uno

Una placa de prototipado digital que incluye un microcontrolador de la marca Atmel ATmega328 será utilizada para medir la señal de ajuste del potenciómetro y permitirá generar las señales de control para el circuito de dimmerización.

El microcontrolador funciona por defecto a una velocidad de reloj de 16Mhz lo que se traduce en un tiempo de ejecución de instrucción de aproximadamente 25 ns.

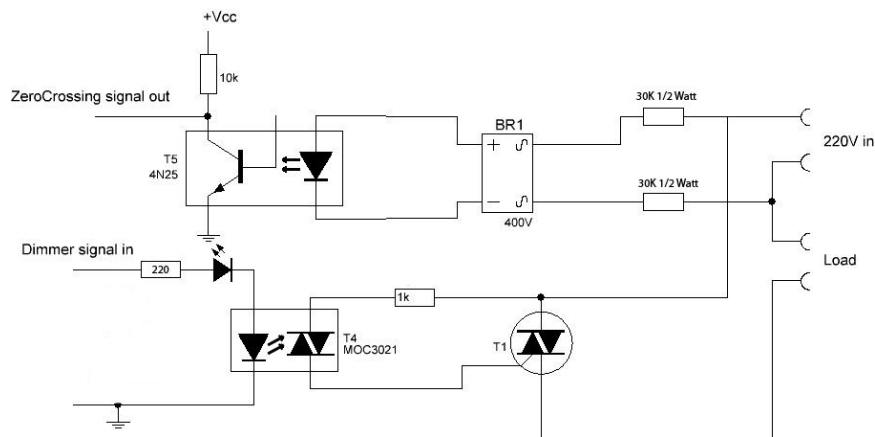
Utilizando la librería en C oficial de arduino se consiguen lecturas del ADC cada 100 us y lecturas digitales con una demora de 5 us en promedio por lo que deberán contemplarse dichas demoras en el análisis de las respuestas temporales de cada bloque si fuesen significativas.

## 1.3. Dimmer

Circuito electrónico capaz de detectar cruces por cero de una señal alterna para los que generará una señal de niveles digitales y corta duración preparada para ser medida.

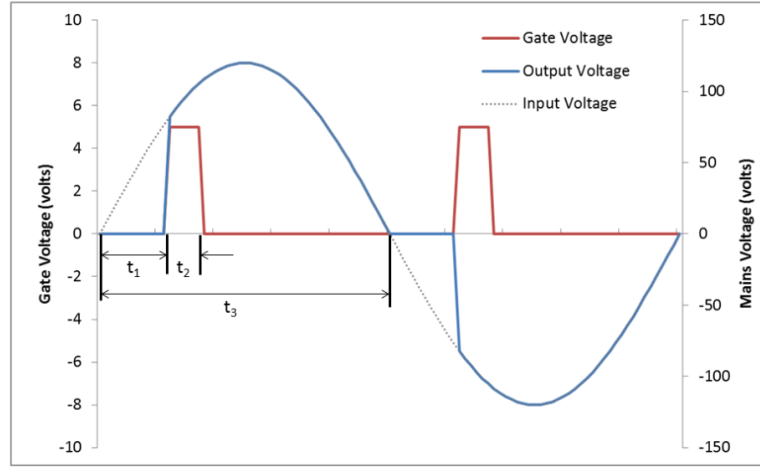
Al mismo tiempo el circuito ofrece una etapa de recorte de la señal alterna de entrada mediante el empleo de un TRIAC.

A continuación se muestra un esquema ilustrativo del circuito a ser empleado.

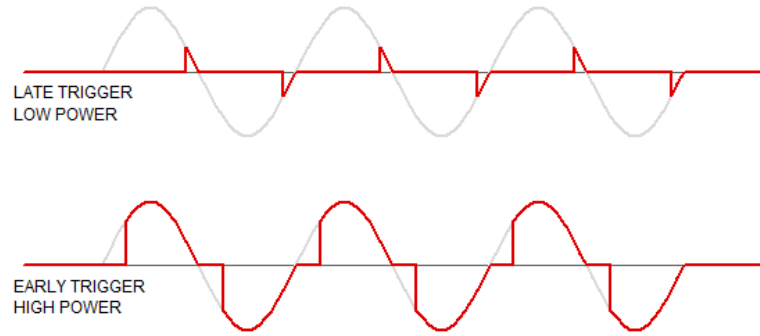


**Figura 3:** Esquema circuito dimmer.

El efecto de la polarización de la compuerta del TRIAC T1 produce una deformación o corte de la señal alterna original. Tal efecto puede observarse en la forma de onda percibida por la lámpara.



**Figura 4:** Principio de acción sobre la señal original.



**Figura 5:** Ejemplos de deformación de la señal original.

Como puede observarse de la acción de dimmerización la señal deformada cambia con los retrasos introducidos por los componentes del circuito de dimmer. Los valores relevantes para este caso se toman en consideración:

- Índice de conmutación TRIAC: 20 V/us
- Retardo por excitación de compuerta: 2 us

#### PEOR ESCENARIO

$$\begin{aligned}\hat{V}_{RED} &= 311v \\ t_{CONM} &= \frac{1}{20} \frac{\mu s}{v} \times 311v \\ t_{CONM} &= 15,55\mu s \\ t_{TOTAL} &= 2\mu s + 15,55\mu s \\ t_{TOTAL} &= 17,55\mu s\end{aligned}$$

Sin embargo los efectos del cambio de  $V_{RMS}$  aparente se verán completos una vez que termine el ciclo de alterna

$$F_{RED} = 50Hz$$

$$T_{RED} = 20\mu s$$

#### 1.4. Lámpara

El diseño planteado sólo funcionará para lámparas de filamento incandescente. Según las especificaciones ofrecidas por OSRAM. Para alcanzar el 90 % de la iluminación tabulada se requerirá un  $t_{REAC} = 250ms$  Si se supone la respuesta exponencial entonces

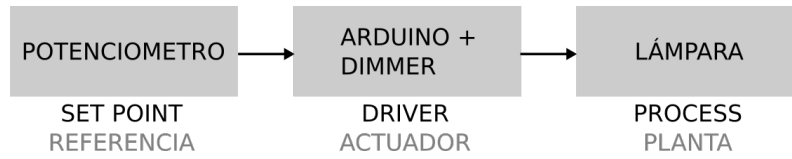
$$90 \% \text{ — } 20 \text{ ms}$$

$$63,2 \% \text{ — } \tau$$

$$\tau = 175,5ms$$

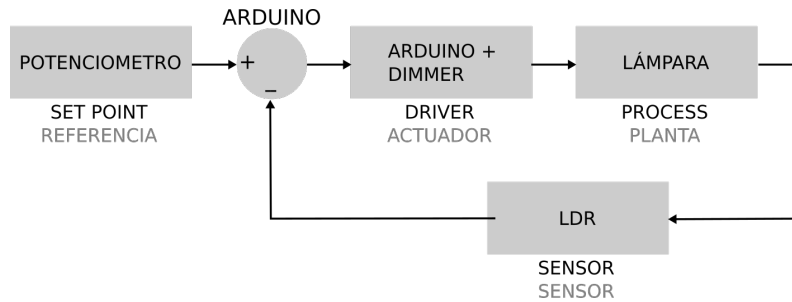
## 2. Planteo Inicial: Sistema sin Realimentación

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores puede reducirse el planteo del sistema con el siguiente diagrama de bloques.



**Figura 6:** Planteo sistema sin realimentación.

Para convertir el esquema en un sistema de control automático es necesario incorporar un componente de retroalimentación, un detector de errores o comparador.



**Figura 7:** Planteo sistema con realimentación.

#### 2.1. Sensor

Como componente de lazo de feedback se eligió una Light Dependant Resistance (LDR) configurada en una maya con divisor de tensión es posible conseguir un rango de voltajes adecuados.

La respuesta de tiempos de reacción de este dispositivo es asimétrica, esto es para el escenario que contempla la transición LUZ  $\rightarrow$  OSCURIDAD TOTAL la variación de la resistencia es inversamente exponencial. En este caso según la documentación del fabricante el tiempo que tarda en alcanzar el máximo valor para la resistencia interna es de 78ms entonces:

$$\begin{aligned} 100 \% & \text{ — } 78 \text{ ms} \\ 63,2 \% & \text{ — } \tau \\ \tau & = 50 \text{ ms} \end{aligned}$$

El caso inverso atiende el escenario OSCURIDAD TOTAL  $\rightarrow$  LUZ la respuesta de la variación de resistencia interna es más que exponencial con una reducción a 0 en menos de 8ms.

Por esta razón se contempla solo el retardo anterior.

## 2.2. Funciones de Transferencia

### 2.2.1. ACTUADOR

$$\begin{aligned} FT_{Actuador} &= \frac{\frac{OUTPUT_{MAX}}{INPUT_{MAX}}}{1 + \tau_{BLOQUE} \times s} \\ &= \frac{\frac{220}{10}}{1 + 0,02s} = \frac{22}{1 + 0,02s} = \frac{22}{0,02(50 + s)} \\ FT_{Actuador} &= \frac{1100}{s + 50} \end{aligned}$$

### 2.2.2. PLANTA

$$\begin{aligned} FT_{Planta} &= \frac{\frac{OUTPUT_{MAX}}{INPUT_{MAX}}}{1 + \tau_{BLOQUE} \times s} \\ &= \frac{\frac{1000}{220}}{1 + 0,2s} = \frac{4,54}{1 + 0,02s} = \frac{4,54}{0,2(5 + s)} = \frac{22,7}{s + 5} \\ FT_{Planta} &= \frac{23}{s + 5} \end{aligned}$$

### 2.2.3. SENSOR

$$\begin{aligned} FT_{Sensor} &= \frac{\frac{OUTPUT_{MAX}}{INPUT_{MAX}}}{1 + \tau_{BLOQUE} \times s} \\ &= \frac{\frac{10}{1000}}{1 + 0,05s} = \frac{0,01}{1 + 0,05s} = \frac{0,01}{0,05(20 + s)} \\ FT_{Actuador} &= \frac{0,2}{s + 20} \end{aligned}$$