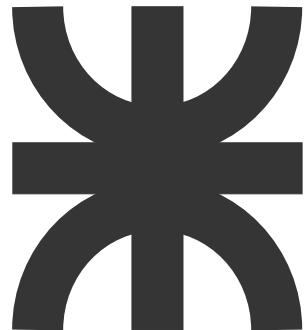


U.T.N. - Facultad Regional Paraná



Trabajo Práctico N°2

Alumnos:

- Lautaro Ezequiel Ubiedo
- Gianfranco Adriano Perissutti

Profesores:

- Ing. José Luis Frund
- Ing. Agustín Chort

Fecha de Entrega: 12/06/2023

Paraná - Entre Ríos

Electrónica de Potencia - TP2

Índice

1. Descripción del Control por Ángulo de Fase	2
2. Investigación Sobre la Carga	5
3. Análisis de Topologías	6
4. Diseño del Circuito	8
5. Implementación del Circuito	17
6. Presupuesto	20
7. Conclusión	21

1. Descripción del Control por Ángulo de Fase

El control por ángulo de fase se basa en la posibilidad, con la tecnología electrónica existente, de poder realizar la conexión de la tensión de red en cualquier punto de la semionda de forma sincronizada. De esta forma se puede recortar "la tensión sinusoidal en sectores más pequeños, lo que permite, al fin, regular la potencia aplicada a la carga.

Este tipo de control se emplea normalmente usando Tiristores o Triodos de Corriente Alterna (TRIAC), como se ve a continuación.

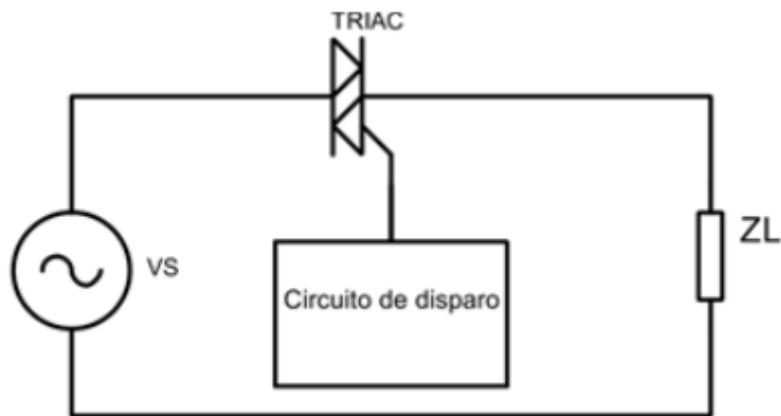


Figura 1: Controlador de Corriente Alterna con TRIAC.

Considerando que cada semionda sinusoidal de red corresponde a una conducción de 180° , retardando la conexión de 180° a 0° conseguimos regular la potencia aplicada a la carga del 0 al 100 %, a este valor de retardo se le llama "ángulo de retardo" se indica normalmente con la letra α . En algunos casos se habla también del "ángulo de conducción", que corresponde al valor $180 - \alpha$.

El ángulo de retardo α es el ángulo que variamos en la modulación PPM (Pulse Position Modulation) para enviar un pulso en la compuerta del controlador y así controlar la potencia en la carga.

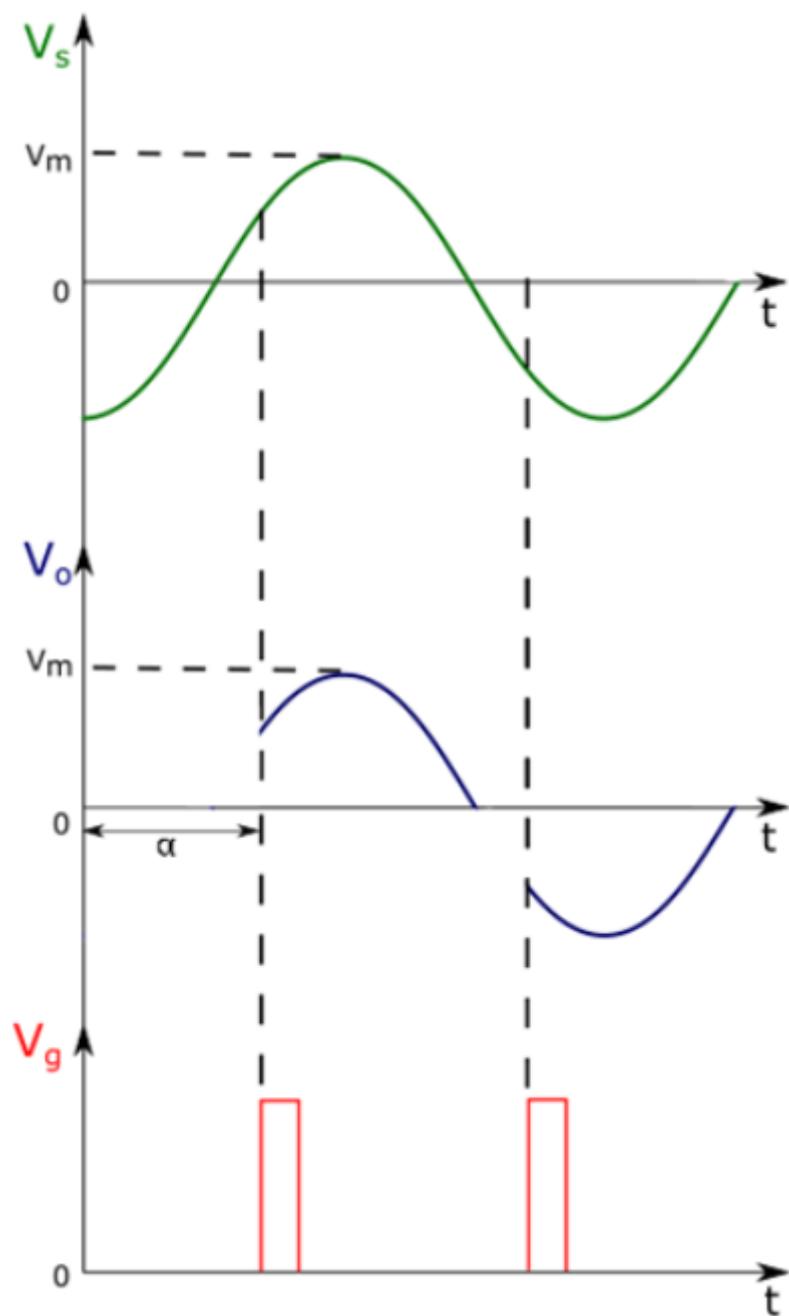
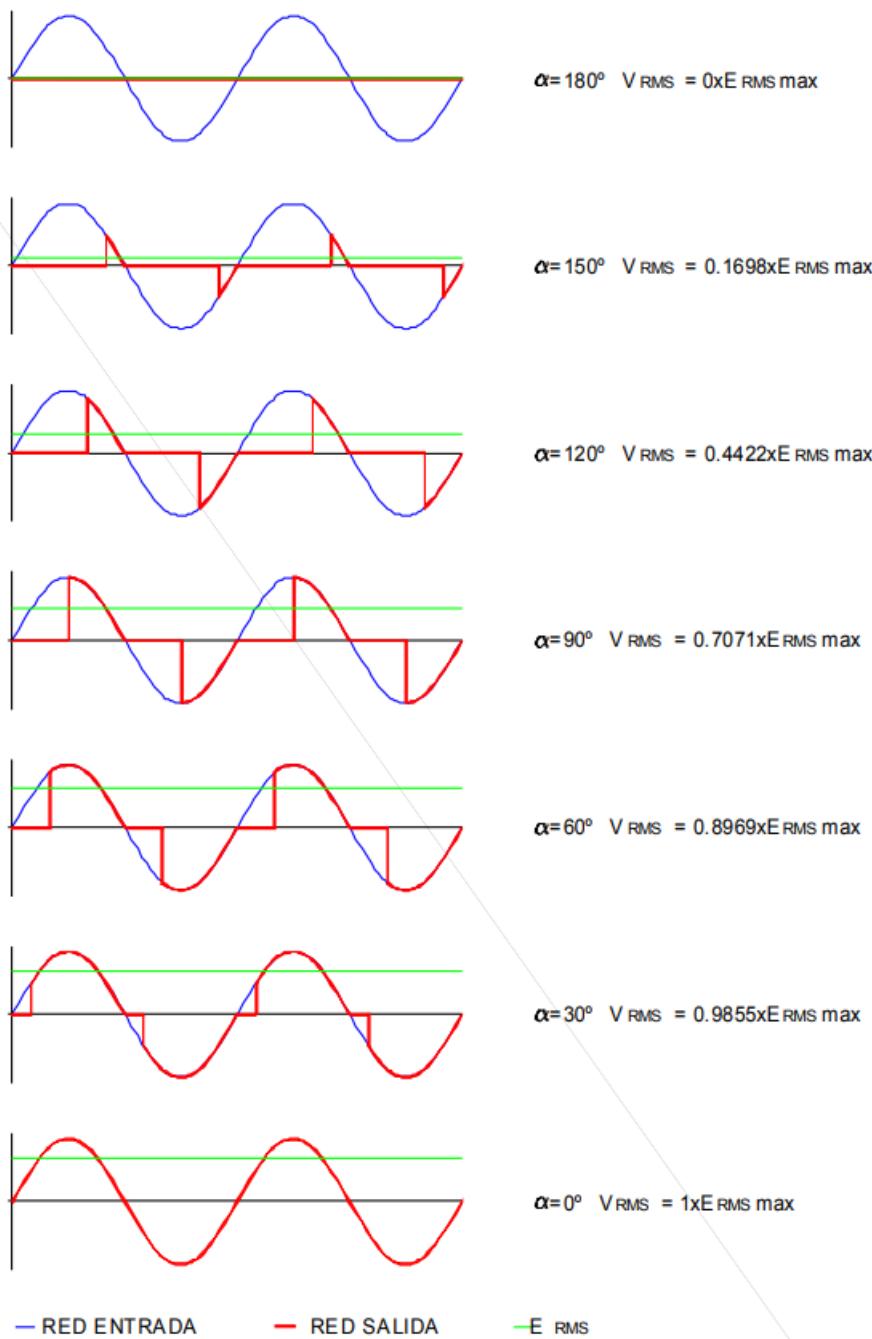


Figura 2: Tensión de Entrada, de Salida y de Compuerta.

Analizando la forma de onda obtenida por la regulación del ángulo, veremos que la relación de la tensión E_{RMS} de salida respecto al ángulo de retardo aplicado no es lineal debido a la variación de la forma de la onda, que deja de ser sinusoidal. Por este último motivo es importante destacar que las medidas en estas aplicaciones deben realizarse con instrumentos de verdadero valor RMS, ya que la mayoría de instrumentos nos darán errores de medida considerables haciendo dichas medidas inútiles.

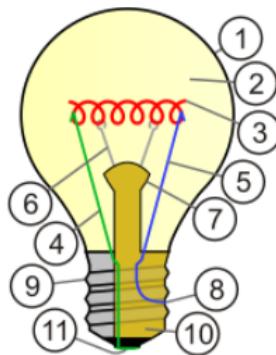
Figura 3: Relación entre E_{RMS} y α

La fórmula de cálculo del valor E_{RMS} de salida respecto al ángulo de retardo es la siguiente:

$$E_{RMS}(\alpha) = \frac{E}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\pi\alpha 0,5 \sin(2\alpha)} \quad (1)$$

2. Investigación Sobre la Carga

La carga que tendremos en este circuito es una lámpara incandescente. La lámpara incandescente tiene un conductor eléctrico de wolframio (tugsteno) que se calienta mediante una corriente eléctrica hasta ponerlo al rojo blanco. El filamento está encerrado en un bulbo de vidrio al vacío o con un gas inerte que protege al filamento de la oxidación. La corriente es proporcionada a los filamentos por terminales o alambres encerrados en el cristal.



1. Envoltura, ampolla de vidrio o bulbo.
2. Gas inerte. (Comúnmente: Argón).
3. Filamento de tungsteno.
4. Hilo de contacto (va al pie, al extremo del casquillo).
5. Hilo de contacto (va a la rosca del casquillo).
6. Alambre(s) de sujeción y disipación de calor del filamento.
7. Conducto de refrigeración y soporte interno del filamento.
8. Base de contacto.
9. Casquillo metálico.
10. Aislamiento eléctrico.
11. Pie de contacto eléctrico.

Figura 4: Diagrama de una Lámpara Incandescente.

Las lámparas incandescentes tienen una potencia determinada, que sabemos que se calcula como $P = \frac{V^2}{R}$ pero debido al funcionamiento de la lámpara el filamento se calienta y la temperatura aumenta la la sección eficaz de los portadores de carga lo que hace variar la resistencia del filamento. Entonces como la resistencia varia según la temperatura y la temperatura es función de la corriente que pasa por el filamento se hace un análisis para obtener la relación entre voltaje y resistencia. De esta forma se obtiene el valor de resistencia para la tensión nominal de trabajo y así calcular la potencia que consume la lámpara.

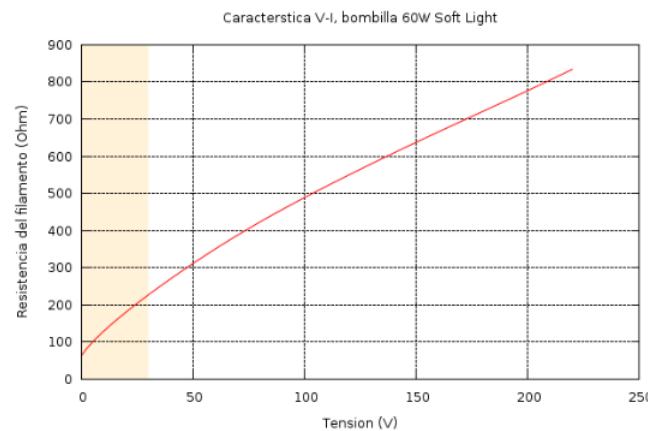


Figura 5: Resistencia en Función de la Tensión.

Si vemos la gráfica a partir de los 100[V] podemos decir que la resistencia del filamento aumenta de forma directamente proporcional a la tensión que se le aplique.

3. Análisis de Topologías

La primer topología que pensamos para este trabajo práctico es adaptar el circuito empleado en el trabajo práctico anterior, el cual controlaba el ángulo de disparo de un SCR.

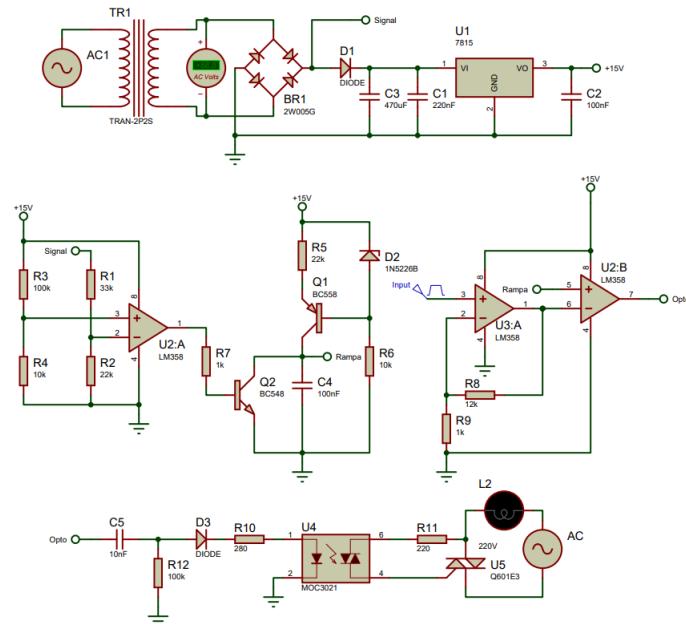


Figura 6: 1er Planteo del Circuito Dimmer.

Tenemos primero una fuente de tensión continua que nos provee 15[V] gracias al LM7815

y luego ya se aprecia la etapa de control, que consta de un detector de cruce por cero conectado a la entrada de un generador de rampa, la rampa generada entra a un circuito que genera una señal PPM, donde la variación de la posición del pulso genera la variación del ángulo de disparo del TRIAC. La modificación está en que en lugar tener un potenciómetro en el comparador para poder elegir con él el ángulo de disparo, tenemos una señal que varía de 0 a 1V, la cual se amplifica y luego va al comparador para determinar el ángulo de disparo.

Esta primer topología tiene la ventaja de que emplea componentes y circuitos que ya hemos comprobado que funcionan pero este circuito es demasiado complejo si lo comparamos con un dimmer comercial, por lo que hemos decidimos emplear un circuito más sencillo.

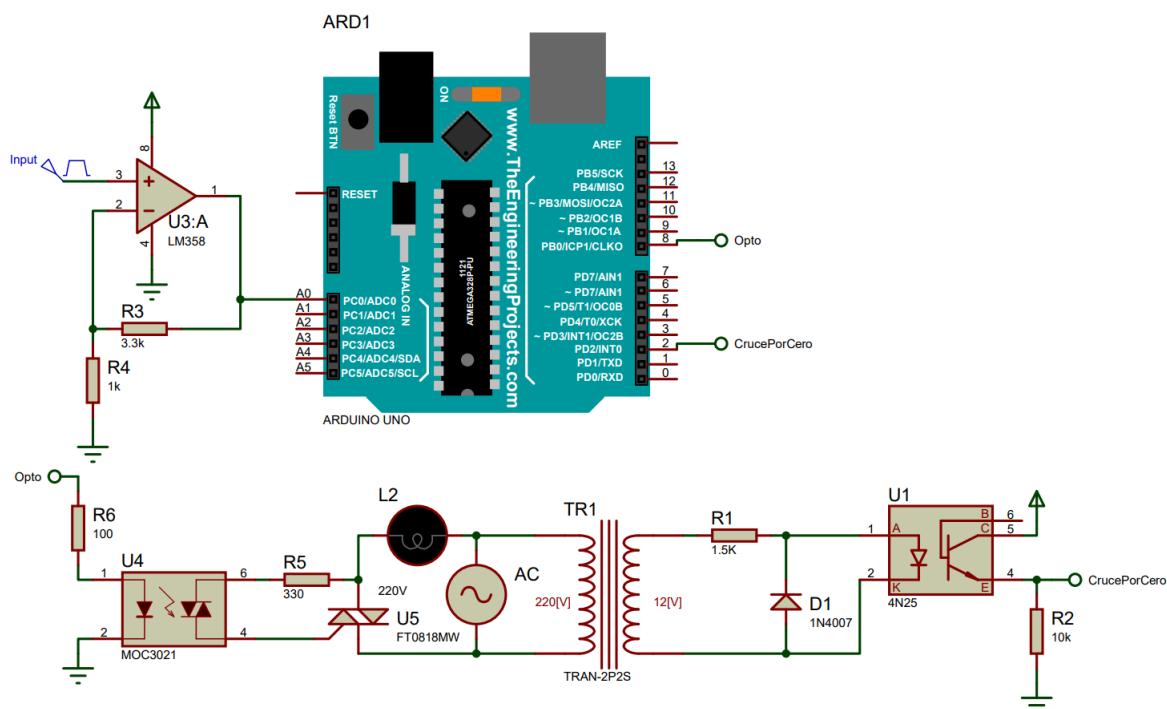


Figura 7: 2do Planteo del Circuito Dimmer.

Este circuito se basa en un contador y un comparador, el arduino a partir del momento en que recibe un pulso del detector de cruce por cero (el optotransistor 4N25) comienza a contar desde 0 hasta 179. Al mismo tiempo, en el pin analógico tenemos la señal de control la cual interpolamos para relacionar los valores de tensión con la cuenta de 0 hasta 179, entonces cuando el valor del contador es igual al de la señal de control, el arduino envía un pulso que dispara el TRIAC en el ángulo deseado.

La ventaja de esta topología es que podemos plantear al circuito como un shield para Arduino y así lograr un dimmer muy sencillo, fácil de usar y con pocos componentes.

Por otro lado, aunque no es aplicable para este trabajo, queremos mencionar también la tipología de un dimmer comercial.

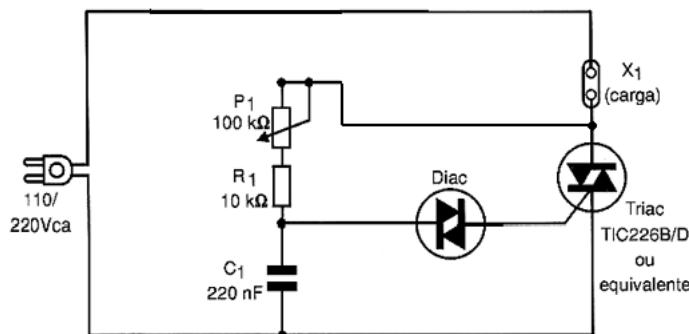


Figura 8: Circuito Dimmer Comercial.

Cuando energizamos el circuito el TRIAC está abierto y no hay circulación de corriente, pero esta corriente si circula por la red RC. El capacitor comienza a cargarse con una constante de tiempo $\tau = P_1 R_1 C_1$, entonces al variar el potenciómetro variamos la velocidad de carga del capacitor. Conectado entre el capacitor y el gate del TRIAC tenemos un diodo de alterna (DIAC), la característica del DIAC es que va a permitir el paso de la corriente alterna una vez superada la tensión umbral característica del DIAC. Entonces, cuando el capacitor se cargue lo suficiente como para que la tensión aplicada al DIAC supere el umbral, en ese momento se inyectará corriente al gate disparando así el TRIAC y lo que nosotros variamos es el tiempo que demora la tensión en superar el umbral del DIAC.

Este circuito controla al TRIAC en los cuadrantes I y III, pero con el inconveniente de no poder controlar todo el rango de la señal debido al umbral del DIAC, que normalmente es de 30[V].

4. Diseño del Circuito

Antes de pasar a hablar del circuito en si mismo tenemos que entender que la señal de corriente alterna la podemos dividir en grados eléctricos (ge), de modo que un período de la señal tiene 360 ge y un semiciclo tiene 180 ge. Cada grado eléctrico esta espaciado una cantidad de tiempo que viene determinada por el período de la señal, en nuestro caso tenemos una señal senoidal de 50[Hz] por lo que el período es $T = 20[ms]$, entonces cada grado eléctrico esta separado de sus contiguos por t_{ge} segundos.

$$t_{ge} = \frac{T}{360} = \frac{0,02}{360} = 55,56[\mu\text{s}] \quad (2)$$

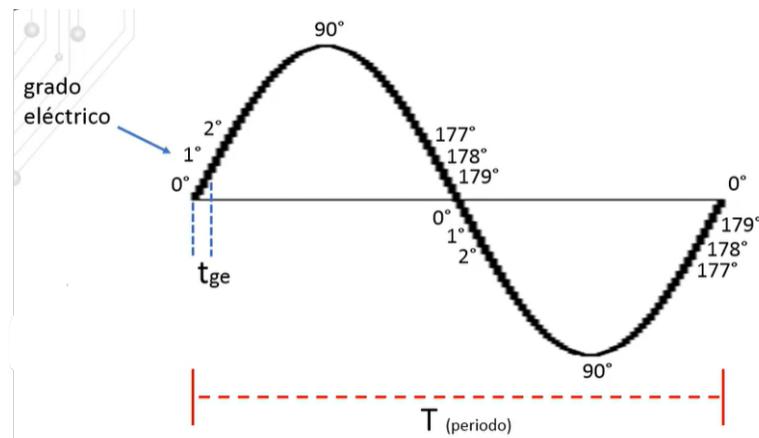


Figura 9: Senoidal Dividida en Grados Eléctricos.

El circuito que decidimos implementar es el que emplea el microcontrolador de la familia Arduino. El Arduino UNO realiza una cuenta desde 0 hasta 179, donde cada incremento se une vez pasados 55.56[uS]. Al mismo tiempo que el microcontrolador realiza la cuenta, se está midiendo la tensión de la señal de control, esta señal nos dará un voltaje entre 0 y 5[V] el cual nosotros convertiremos a grados eléctricos con una simple regla de proporcionalidad, correspondiendo los 0[V] con 0ge y 5[V] con 179ge.

Entonces cuando el contador alcanza los ge que determina la señal de control, el microcontrolador enviará un pulso al MOC3021 disparando así el TRIAC.

Para que haya un sincronismo con la señal alterna y poder disparar el TRIAC en los cuadrantes I y III emplearemos un detector de cruces por cero. Esta función la cumple el fototransistor 4N25, cuando comienza el semiciclo positivo de la señal alterna, el transistor comienza a conducir por lo que tenemos a la salida un flanco ascendente, y cuando el semiciclo positivo se extingue y comienza el semiciclo negativo, el transistor deja de conducir por lo que tenemos un flanco descendente. De esta forma los flancos de la señal de salida, tanto ascendentes como descendentes nos indican un cruce por cero.

La salida del detector de cruces por cero va a un pin de interrupción externa del Arduino, el cual está configurado en el modo CHANGE para así disparar la interrupción siempre que haya un cambio de estado en el pin. Cada vez que se detecta un cruce por cero hay un cambio de estado que dispara la interrupción, la cual reinicia el contador para poder disparar el TRIAC en los dos semiciclos de la señal.

Decimos que controlamos al TRIAC en los cuadrantes I y III ya que disparamos el TRIAC en dos ocasiones, cuando tenemos tensión positiva en el pin MT2 y en el gate y cuando tenemos tensión negativa en el pin MT2 y en el gate.

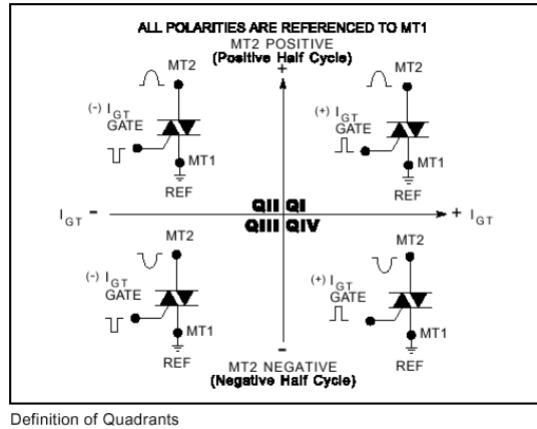


Figura 10: Cuadrantes del TRIAC.

Ahora que ya sabemos como funcionará nuestro circuito comenzamos a realizar el diseño. Lo primero que haremos será adecuar la señal de control. Se nos indica que la señal de control será una señal analógica cuya tensión variará entre 0 y 1[V], por lo que debemos amplificar para aprovechar la resolución del ADC.

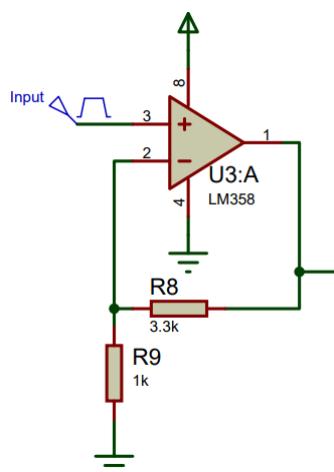


Figura 11: Amplificador No Inversor para Señal de Control.

Utilizamos un amplificador operacional no inversor para no alterar la señal de control y la amplificación del mismo es de 4.3 veces, entonces ahora la señal variará desde 0[V] hasta 4.3[V], por lo que tenemos una mayor sensibilidad.

La siguiente etapa es el detector de cruce por cero.

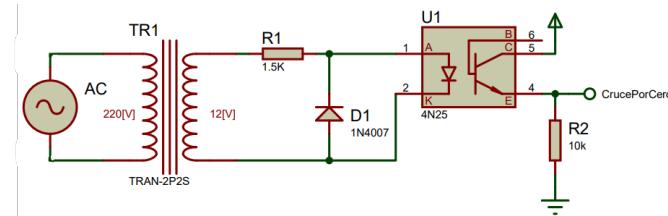


Figura 12: Circuito Detector de Cruce por Cero.

Usamos un transformador para que así la resistencia limitadora de corriente del diodo LED del 4N25 tenga que disipar menos potencia. Entonces, la tensión de entrada de esta parte del circuito es 12[V], y como el diodo LED que polariza el transistor tiene una caída de 1.5[V] máximos cuando tenemos una corriente de 10[mA].

GENERAL PURPOSE 6-PIN PHOTOTRANSISTOR OPTOCOUPERS					
4N25 4N37	4N26 H11A1	4N27 H11A2	4N28 H11A3	4N35 H11A4	4N36 H11A5
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise specified)					
INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS					
Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ*	Max
EMITTER					Unit
Input Forward Voltage	(I _F = 10 mA)	V _F		1.18	1.50
Reverse Leakage Current	(V _R = 6.0 V)	I _R		0.001	10
DETECTOR					μA
Collector-Emitter Breakdown Voltage	(I _C = 1.0 mA, I _F = 0)	BV _{CEO}	30	100	V
Collector-Base Breakdown Voltage	(I _C = 100 μA, I _F = 0)	BV _{CBO}	70	120	V
Emitter-Collector Breakdown Voltage	(I _E = 100 μA, I _F = 0)	BV _{ECO}	7	10	V
Collector-Emitter Dark Current	(V _{CE} = 10 V, I _F = 0)	I _{CEO}		1	nA
Collector-Base Dark Current	(V _{CB} = 10 V)	I _{CBO}			20
Capacitance	(V _{CE} = 0 V, f = 1 MHz)	C _{CE}		8	pF

Figura 13: Datasheet Fototransistor 4N25.

Entonces, la resistencia que usaremos para el LED se calcula como:

$$R = \frac{(12[V] * \sqrt{2}) - 1,5[V]}{10[mA]} = 1547,056[\Omega] \quad (3)$$

Emplearemos entonces una resistencia de 1.5[KΩ] y 1/4[W], ya que la resistencia necesitará disipar, en el pico de la senoidal, 154.70[mW]. La potencia RMS que deberá disipar va a ser inferior porque por esta resistencia circulará una corriente casi senoidal.

El transistor por otro lado, tendrá el emisor conectado a masa mediante una resistencia de $10[\text{K}\Omega]$ y el colector conectado a $5[\text{V}]$. Así podremos medir con el Arduino la salida del transistor y tendremos una señal cuadrada que varía entre 0 y $5[\text{V}]$.

Ahora, analizaremos el TRIAC. En este caso la salida del optotriac introduce la corriente del gate al TRIAC principal y lo dispara. Tan pronto como el TRIAC principal comienza a conducir el voltaje entre MT1 y MT2 decae bruscamente, como la salida del optotriac está en paralelo con el TRIAC principal este decaimiento de la tensión conlleva una baja en la corriente que circula por el optotriac, la corriente al no alcanzar la corriente de mantenimiento (I_H) hará que el optotriac se cierre.

En resumen, cuando energizamos el LED del optotriac, este se dispara conduciendo corriente al gate del TRIAC principal y apenas el TRIAC principal se dispara, la corriente que pasa por el circuito de salida del optotriac cae por debajo de la corriente de mantenimiento, haciendo que no haya más corriente en el gate del TRIAC principal porque se cerró el TRIAC del optotriac.

Basándonos en este comportamiento, calcularemos la resistencia mínima del gate del TRIAC principal considerando la tensión máxima que vamos a tener aplicada y la corriente de pico que soporta el MOC3021, este dato viene dado como I_{TSM} y podemos encontrarlo en el datasheet.

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)			
Rating	Symbol	Value	Unit
INFRARED EMITTING DIODE			
Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Triac Driver Derate above 25°C	P_D	100	mW
		1.33	mW/ $^\circ\text{C}$
OUTPUT DRIVER			
Off-State Output Terminal Voltage	V_{DRM}	400	Volts
Peak Repetitive Surge Current ($P_W = 1 \text{ ms}, 120 \text{ pps}$)	I_{TSM}	1	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	300	mW
		4	mW/ $^\circ\text{C}$

Figura 14: Datasheet Optotriac MOC3021.

Entonces, ahora sabemos que $I_{TSM} = 1[A]$ por lo que la resistencia del gate del TRIAC principal será:

$$RG_{min} = \frac{220[V] \times \sqrt{2}}{1[A]} = 311,127[\Omega] \quad (4)$$

Por lo tanto, el valor comercial que usaremos será de $330[\Omega]$.

Ahora bien, como dijimos anteriormente, cuando la tensión entre los MT1 y MT2 es muy baja, el optotriac no conducirá por lo que no se disparará el TRIAC principal. Esto no solo ocurre en el instante en que el FT0818MW conduce, sino que también ocurre cuando el TRIAC no está conduciendo y la señal senoidal que tenemos aplicada tiene un voltaje muy pequeño. Entonces, este comportamiento nos va a reducir el margen de control del TRIAC, porque con ángulos de disparo cercanos a 0° o a 180° , la tensión senoidal es muy baja y no puede generar una corriente para disparar el optotriac. La tensión mínima que necesitamos tener entre los pines MT1 y MT2 del TRIAC principal se puede calcular de la siguiente manera:

$$V_{inT} = R_G \times I_{GT} + V_{GT} + V_{TM} \quad (5)$$

Donde:

- V_{inT} es la tensión de entrada mínima para disparar el TRIAC.
- R_G es la resistencia del gate.
- I_{GT} es la corriente de disparo del gate.
- V_{GT} es la tensión de disparo del gate.
- V_{TM} es la tensión que cae en el TRIAC, entre MT1 y MT2 o viceversa, cuando está conduciendo.

Todos estos datos los podemos obtener de su hoja de datos:



STANDARD TRIAC

Electrical Characteristics at Tamb = 25 °C

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	Quadrant	SENSITIVITY			Unit
				10	18	17	
$I_{GT}^{(1)}$	Gate Trigger Current	$V_D = 12 V_{DC}$, $R_L = 33\Omega$, $T_j = 25^\circ C$	Q1+Q3	MAX	25	25	50 mA
			Q4	MAX	25	50	100 mA
V_{GT}	Gate Trigger Voltage	$V_D = 12 V_{DC}$, $R_L = 33\Omega$, $T_j = 25^\circ C$	Q1+Q4	MAX	1.3		V
V_{GD}	Gate Non Trigger Voltage	$V_D = V_{DRM}$, $R_L = 3.3 k\Omega$, $T_j = 125^\circ C$	Q1+Q4	MIN	0.2		V
$I_H^{(2)}$	Holding Current	$I_T = 100 \mu A$, Gate open, $T_j = 25^\circ C$		MAX	25	25	50 mA
I_L	Latching Current	$I_G = 1.2 I_{GT}$, $T_j = 25^\circ C$	Q1,03,04	MAX	40	40	70 mA
			Q2	MAX	60	80	100 mA
$dV/dt^{(2)}$	Critical Rate of Voltage Rise	$V_D = 0.67 \times V_{DRM}$, Gate open, $T_j = 125^\circ C$		MIN	400	700	1000 V/μs
$(dV/dt)c^{(2)}$	Critical Rise Rate of Commutating off-state voltage	$(dV/dt)c = 2.7 A/ms$, $T_j = 125^\circ C$			3	5	10 V/μs
$V_{TM}^{(2)}$	On-state Voltage	$I_T = 11 Amp$, $t_p = 380 \mu s$, $T_j = 25^\circ C$		MAX	1.55		V
$V_{TO}^{(2)}$	Threshold Voltage	$T_j = 125^\circ C$		MAX	0.85		V
$r_d^{(2)}$	Dynamic resistance	$T_j = 125^\circ C$		MAX	50		mΩ
I_{DRM}/I_{FRM}	Off-State Leakage Current	$V_D = V_{DRM}$, $T_j = 125^\circ C$ $V_R = V_{FRM}$, $T_j = 25^\circ C$		MAX	1		mA
				MAX	5		μA
$R_{Th(j-c)}$	Thermal Resistance Junction-Case	for AC 360° conduction angle			3.5		°C/W
$R_{Th(j-a)}$	Thermal Resistance Junction-Ambient				60		°C/W

(1) Minimum I_{GT} is guaranteed at 5% of I_{GT} max.
(2) For either polarity of electrode MT2 voltage with reference to electrode MT1.

Figura 15: Datasheet Triac FT0818MW.

Entonces, la tensión mínima que necesitamos tener para poder disparar el TRIAC es:

$$V_{inT} = 330[\Omega] \times 25[mA] + 1,3[V] + 1,55[V] = 11,1[V] \quad (6)$$

Ahora que sabemos cual es la tensión mínima que requerimos para disparar el TRIAC, podemos establecer el rango de control que tiene nuestro circuito. Como sabemos, la tensión es senoidal con amplitud 220[V] y frecuencia 50[Hz], entonces podemos calcular el momento en que la tensión alcanza esta tensión minima de disparo.

$$t_{min} = \frac{\text{arcSen}\left(\frac{11,1[V]}{220[V]}\right)}{2\pi \times 50} = 160,67[\mu s] \quad (7)$$

Entonces, ahora podemos hacer el equivalente a grados eléctricos con una simple regla de proporcionalidad sabiendo que un 1[ge] equivale a 55.56[uS]. Haciendo esto nos da que el TRIAC se dispará a partir de 3[ge] y como la tensión antes de cruzar por cero también disminuye y tiene un rango donde no alcanza a disparar el TRIAC, nuestro rango de control va desde los 3[ge] hasta los 176[ge]

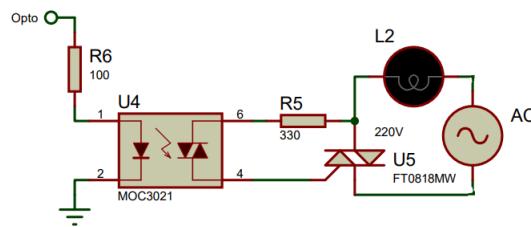


Figura 16: Configuración del TRIAC.

Ahora debemos asegurar el disparo del optotriac MOC3021 para que este dispare el gate del TRIAC de potencia FT0818MW. De acuerdo con el datasheet provisto por Fairchild, aseguramos que se produce el disparo si circula una corriente de al menos 15[mA] por el diodo LED.

3. All devices are guaranteed to trigger at an I_F value less than or equal to max I_{FT} . Therefore, recommended operating I_F lies between max I_{FT} (30 mA for MOC3020M, 15 mA for MOC3010M and MOC3021M, 10 mA for MOC3011M and MOC3022M, 5 mA for MOC3012M and MOC3023M) and absolute max I_F (60 mA).

Figura 17: Corriente I_F del LED del MOC3021.

Entonces, tenemos dos valores de corriente para el LED, la mínima de 15[mA] y la máxima de 60[mA], por lo que nosotros emplearemos una corriente de 40[mA]. Para esta corriente, tenemos una caída de tensión en el LED que se denomina V_F , la cual podemos averiguar mirando la siguiente gráfica.

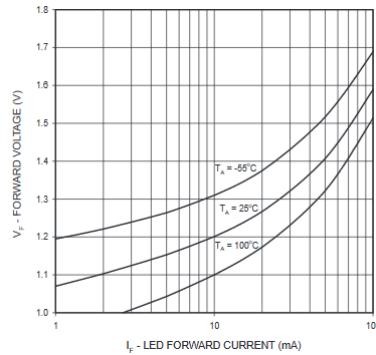


Figura 18: Voltaje en el LED en función de la Corriente.

Podemos decir entonces que tendremos una tensión $V_F = 1,35[V]$. En base a esto calcularemos la resistencia para el LED del MOC3021, de la siguiente manera.

$$R_M = \frac{5[V] - 1,35[V]}{0,04[A]} = 91,25[\Omega] \quad (8)$$

Entonces, emplearemos una resistencia $R_M = 100[\Omega]$. Y con esto ya tendremos todos los componentes calculados para poder comenzar a hacer las pruebas.

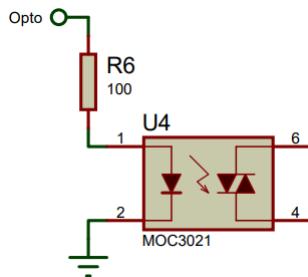


Figura 19: Configuración del Optotriac.

Por último, lo que nos resta detallar es el código empleado en el microcontrolador.

```

1 #include<TimerOne.h>
2 #define control A0
3 #define opto 8
4 #define cruce_cero 2
5 int tension_control,ge=0;
6
7
8 void setup() {
9   pinMode(control,INPUT);
10  pinMode(opto,OUTPUT);
11  pinMode(cruce_cero,INPUT);
12  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(cruce_cero),detector,CHANGE);
13  Timer1.initialize(55); //Tiempo entre cada grado electrico
14  Timer1.attachInterrupt(grado_electrico);
15  digitalWrite(opto,LOW);
16 }
17
18 void loop() {
19   tension_control=analogRead(control);           //Convirtiendo la
   tension a
20   tension_control=map(tension_control,0,1023,0,179); //grados electricos
21 }
22
23 void detector(){
24   ge=0; //Cada vez que hay un cruce por cero se resetea la cuenta
25 }
26
27 void grado_electrico(){
28   ge++;
29   if(tension_control==ge){ //Cuando la senal este en el angulo que
     coincide
30     digitalWrite(opto,HIGH); //con la tension de control se hace el disparo
     .
31     digitalWrite(opto,LOW); //Con poner el pin en alto y luego en bajo ya
32   }                         //genero un pulso suficiente para disparar el
     opto
33 }
```

Listing 1: Código del Arduino UNO

El microcontrolador lo que hace es contar los grados eléctricos, cada vez que pasan 55[uS] se aumenta en 1 el contador de grados eléctricos, esta cuenta va desde 0 hasta 179. La tensión de control es mapeada para transformar la escala de tensión de 10 bits en una escala de 180 grados eléctricos, así cuando la cuenta alcance el grado eléctrico que nos da la tensión de control ocurrirá el disparo del optotriac.

A su vez, cada vez que ocurre un cruce por cero de la señal de alterna, se resetea la cuenta de los grados eléctricos y de esta manera estamos en sincronía con la tensión alterna que alimenta la carga.

5. Implementación del Circuito

Para implementar el circuito primero diseñamos la placa PCB en KiCad.

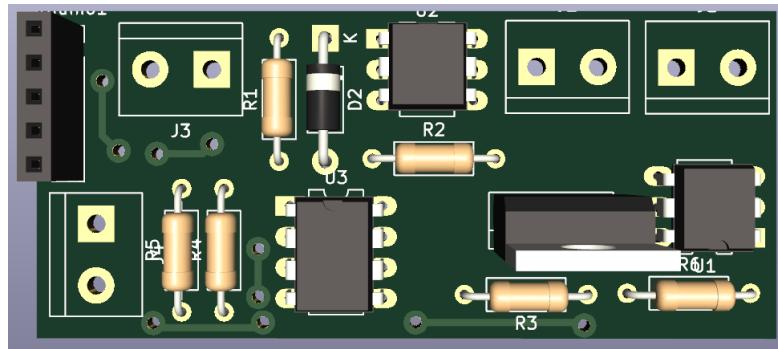


Figura 20: Diseño Cara Anterior

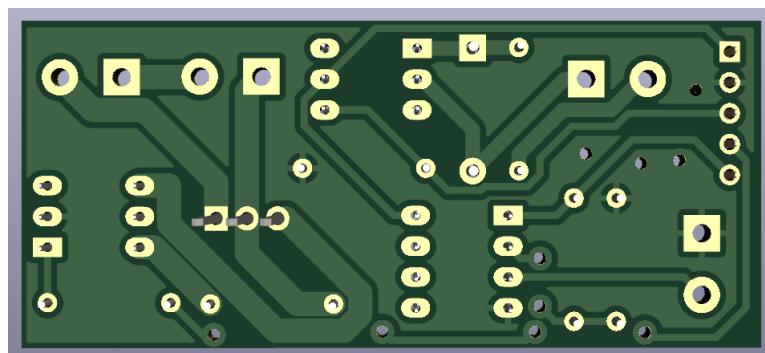


Figura 21: Diseño Cara Posterior

El ancho de las pistas se calculo usando la app online de DigiKey, *PCB Trace Width Calculator*.

Luego de terminar el diseño, lo transferimos a la placa para su posterior tratamiento químico. La placa una vez terminada y con los componentes soldados se puede ver a continuación.



Figura 22: PCB Cara Anterior

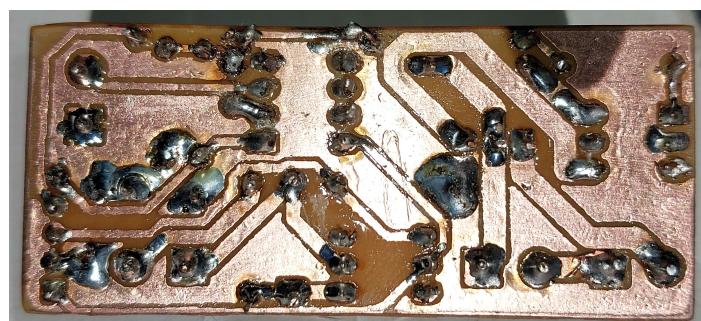


Figura 23: PCB Cara Posterior

Decidimos soldar directamente el 4N25 y el MOC3021 para no tener problemas de falsos contactos que pueden suceder al usar zócalos, también pensamos en usar este TRIAC, aparte de por sus características de potencia, porque esta aislado lo que nos aporta mayor seguridad en su manejo.

Una vez que teníamos ya la placa fabricada decidimos hacer una prueba con una lámpara de 75[W]. En la imagen se ve como la lámpara está encendida pero no a su máximo brillo debido a que la tensión de control era de 0.5[V].

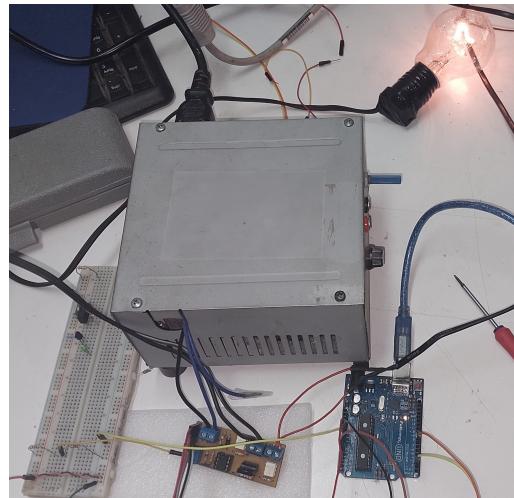


Figura 24: Prueba de Funcionamiento.

Para realizar las mediciones de la tensión de salida empleamos un transformador de aislación 1:1 debido a que la masa del osciloscopio esta conectada a tierra y si medimos directamente estaríamos haciendo un cortocircuito conectado los 220V de la red a tierra. Además, empleamos un divisor resistivo para disminuir la amplitud de la señal ya que la amplitud original sobrepasa el nivel de tensión máximo permitido por el osciloscopio, por lo que quemaríamos el instrumento.

Medimos la tensión de salida en dos casos, cuando la tensión de control (V_c) es de 0.5[V] y cuando es de 0.75[V].

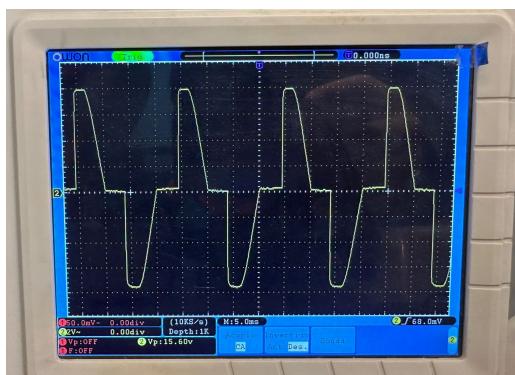


Figura 25: Tensión de Salida con $V_c=0.5[V]$.

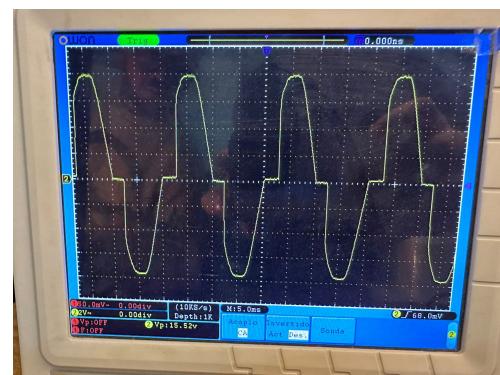


Figura 26: Tensión de Salida con $V_c=0.75[V]$.

Como vemos, cuando la tensión de control es de 0.5[V] la tensión de salida de alterna se ve recortada en la mitad de cada semiciclo y cuando la tensión de control es de 0.75[V] vemos que la señal de salida se ve recortada en el 75 % de cada semiciclo.

6. Presupuesto

Lo primero que hicimos fue relevar el precio de cada componente empleado.

Cuadro 1: Lista De Materiales

Componente	Precio ARS\$
Pines Machos 2.54mm	\$350
FT0818MW	\$1100
1N4007	\$20
Bornera 2P x4	\$320
Resistencia 1/4W 1.5KΩ	\$25
Resistencia 1/4W 10KΩ	\$25
Resistencia 1/4W 330Ω	\$25
Resistencia 1/4W 3.3KΩ	\$25
Resistencia 1/4W 1KΩ	\$25
Resistencia 1/4W 100Ω	\$25
MOC3021M	\$600
4N25	\$1000
LM358	\$200
Arduino UNO	\$6000
Transformador 220V/12V	\$1000

Con el esquemático del circuito realizado en KiCad, obtuvimos la lista de los componentes requeridos, luego agregamos una columna donde se especifica el precio de cada uno los componentes. De esta forma obtuvimos un total de \$10740 (diez mil setecientos cuarenta pesos argentinos), este es el presupuesto gastado en cuanto a componentes.

Para realizar la placa necesitamos una placa de cobre virgen, de 5x5cm, la impresión del diseño en papel satinado, y cloruro férreo para comer el cobre de la placa. Esto significa un gasto de \$1000 (mil pesos argentinos).

Luego en cuanto a horas de trabajo, estimamos un precio de \$1000 por hora, donde el trabajo realizado implica, diseño del circuito, pruebas de simulación, diseño de esquemático, pruebas en condiciones de trabajo, realización de placas y verificación de funcionamiento. Al haber trabajado alrededor de 12 horas, el costo de mano obra es de \$12000 (doce mil pesos argentinos).

Teniendo todas las variables en cuenta, el costo total del controlador de velocidad es de \$23740 (veintitrés mil setecientos cuarenta pesos argentinos), esto es al día de la fecha (20/06/2023) con una tasa de cambio de 1U\$D=\$492 equivalente a 48,25U\$D (cuarenta y ocho dólares con veinticinco centavos americanos).

7. Conclusión

En conclusión, el control por ángulo de fase con un triac es una técnica efectiva para regular la potencia entregada a una lámpara incandescente de 220[V]. Esta técnica se basa en el uso del triac como dispositivo de control, permitiendo variar la cantidad de energía eléctrica que se suministra a la lámpara y, por lo tanto, ajustar su brillo o intensidad lumínica.

El control por ángulo de fase consiste en modular el tiempo de conducción del triac durante cada ciclo de la forma de onda de la corriente alterna, lo que se logra mediante la sincronización del disparo del triac con el cruce por cero de la señal de voltaje. Al variar el ángulo de disparo, se puede controlar el instante en el que el triac se activa, permitiendo así un control preciso de la cantidad de potencia que se entrega a la lámpara.

Esta técnica presenta varias ventajas, como la simplicidad del circuito de control, la eficiencia energética y la posibilidad de ajustar el brillo de la lámpara de manera suave y continua. Además, al utilizar un triac, se evitan las pérdidas de energía asociadas con otros métodos de regulación, como el uso de resistencias variables.

No obstante, también es importante tener en cuenta algunas consideraciones. El control por ángulo de fase con triac puede generar ciertos niveles de distorsión armónica en la forma de onda de la corriente, lo que puede afectar a otros equipos conectados a la misma red eléctrica. Además, debido a la naturaleza resistiva de las lámparas incandescentes, este método no es adecuado para regular la potencia suministrada a cargas inductivas o capacitivas.

En resumen, el control por ángulo de fase con un triac es una opción viable y eficiente para regular la potencia entregada a una lámpara incandescente de 220[V]. Sin embargo, se deben tener en cuenta las limitaciones y consideraciones mencionadas para garantizar un correcto funcionamiento y evitar posibles problemas en el sistema eléctrico.