

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

MT 5004

Laboratorio de Electrónica de Potencia Aplicada

Tarea 4

Control de nivel con SCR

Emmanuel Naranjo Blanco

2019053605

Profesora: Ing. Johanna Vanessa Muñoz Pérez, MSc.

Semestre II - 2021

Contenido

I.	Investigación en simulador	3
II.	Implementación en protoboard	13
III.	Implementación en tarjeta de prototipo	24
IV.	Observaciones	35
V.	Referencias	36

I. Investigación en simulador

- 1) Utilice la funcionalidad de las gráficas de análisis análogo en Proteus para obtener las formas de onda de la tensión del secundario del transformador, la tensión de la bombilla, la tensión de R3 y la tensión en la patilla 1 del IC3 respecto de su respectivo nivel de referencia (en la misma gráfica, al menos dos ciclos). Para la simulación no agregue el transformador, sino una fuente de tensión alterna representando el secundario. Debe obtener dichas gráficas para al menos tres valores del potenciómetro (extremos y central).

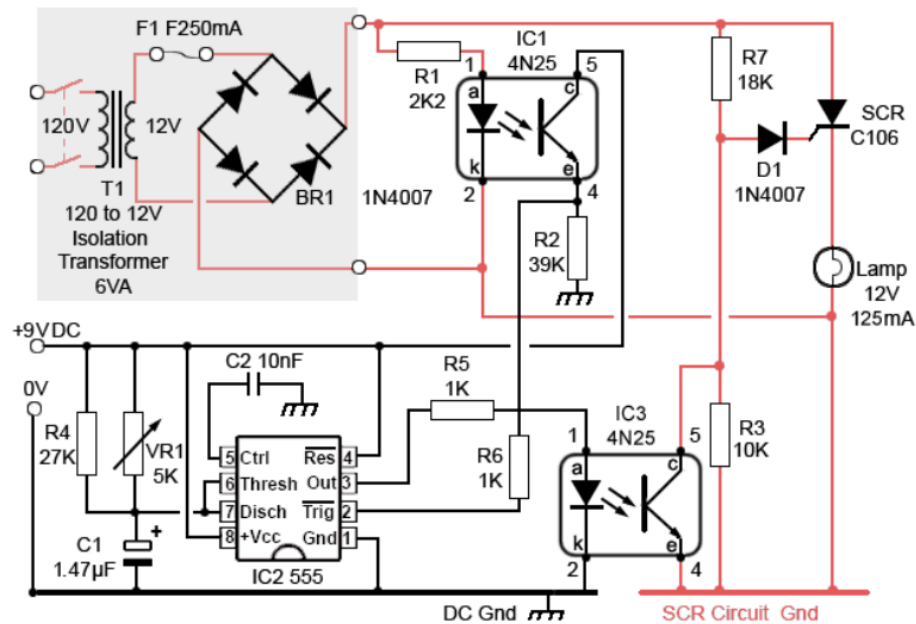


Figura 1. Diagrama del circuito por implementar.

A continuación, en las siguientes Figuras (1, 2, 3, 4, 5) se presenta el circuito simulado y sus respectivas gráficas de tensión para distintos valores del potenciómetro. En estas se observa la variación de la tensión en la carga según los distintos parámetros del circuito, esto visualmente se da como un cambio en la luminosidad del bombillo.

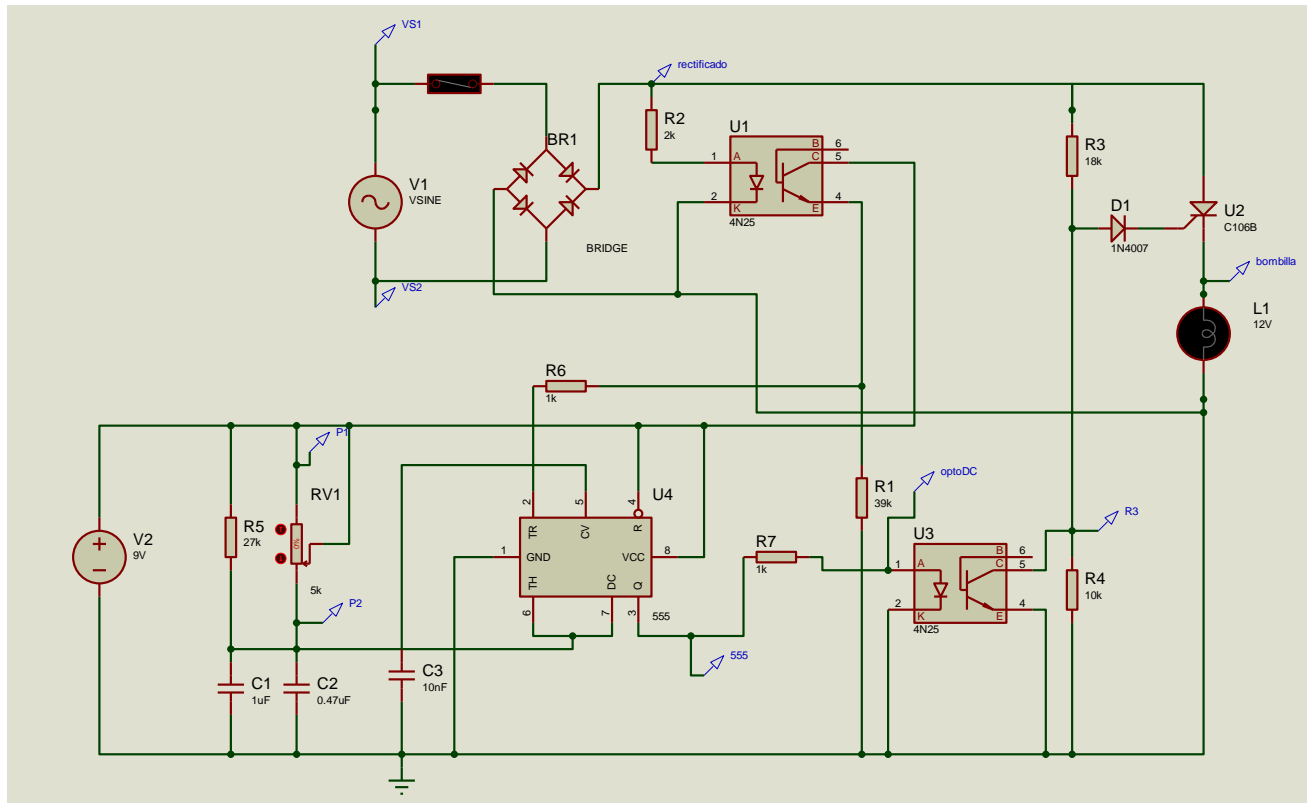


Figura 2. Circuito armado en Proteus.

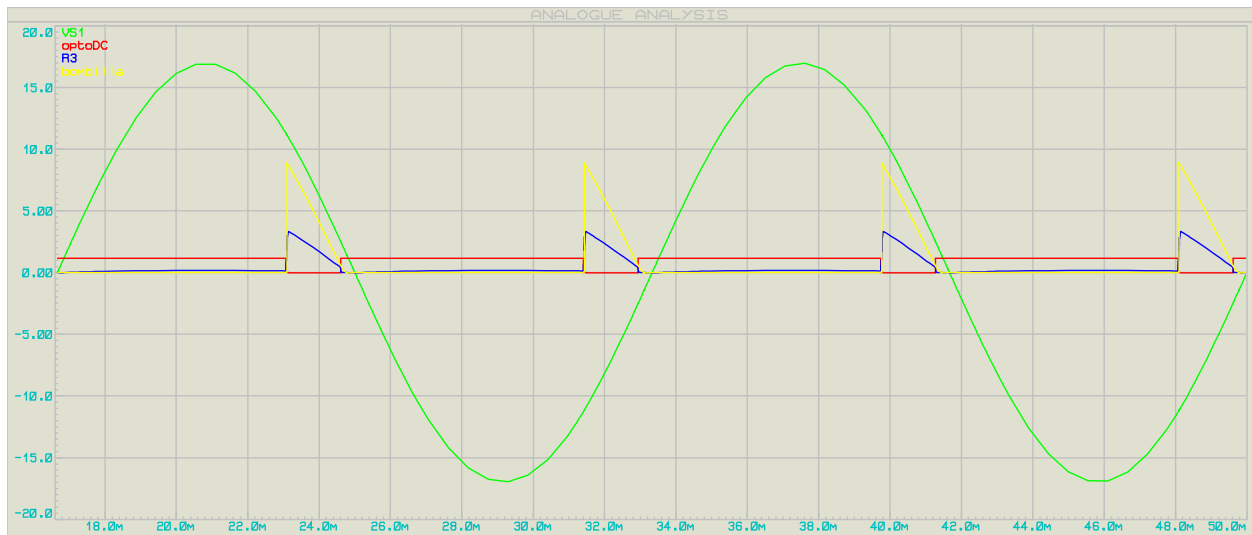


Figura 3. Gráfica de tensión del secundario del transformador, bombilla, R3 y de IC3 para el potenciómetro en 5k Ω .

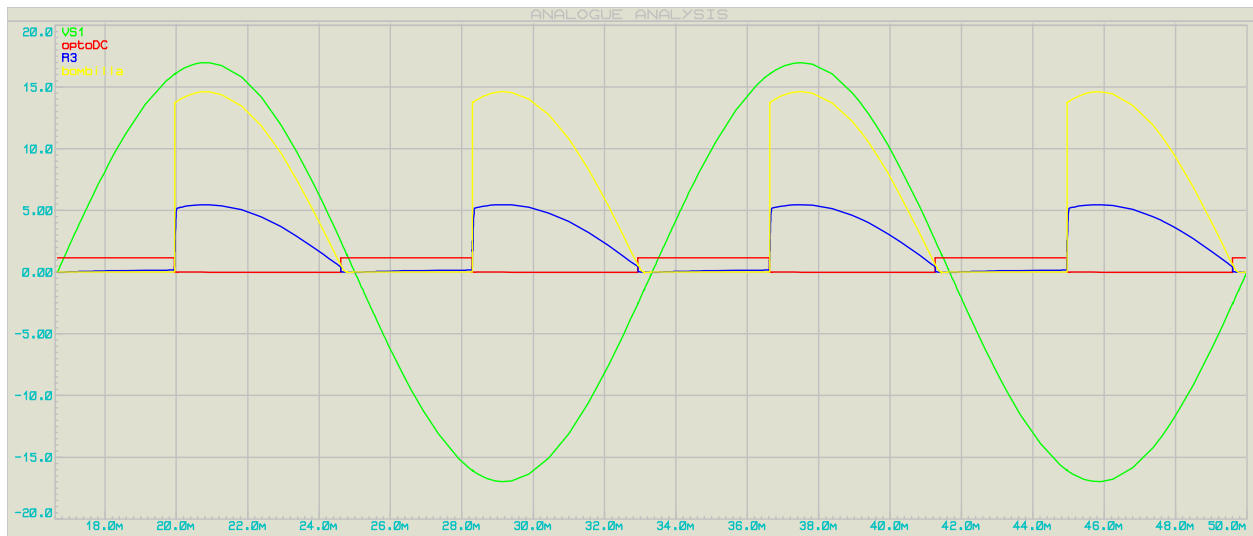


Figura 4. Gráfica de tensión del secundario del transformador, bombilla, R3 y de IC3 para el potenciómetro en $2.5k\Omega$.



Figura 5. Gráfica de tensión del secundario del transformador, bombilla, R3 y de IC3 para el potenciómetro en $0.1k\Omega$.

- 2) Mencione la función de cada componente del circuito de forma detallada basándose en lo observado en las gráficas anteriores. Adjunte la simulación funcional en Proteus del circuito donde se incluyan las gráficas de análisis análogo solicitadas, e incluso otras que considere relevantes para sustentar su explicación.

Circuitería de corriente alterna:

- **Fuente AC:** Esta consiste en la alimentación de la parte de corriente alterna del sistema, inicialmente la entrada corresponde a 120 Vrms y 60 Hz del tomacorriente, sin embargo al circuito ingresan 12 Vrms a causa del transformador, cuya relación primario – secundario es 1 a 10.
- **Puente de diodos:** Este se encarga de rectificar completamente la tensión analógica, convirtiéndola en una tensión siempre positiva y con una frecuencia de 120 Hz.
- **D1:** Consiste en un diodo de protección, encargado de que la corriente en la compuerta de activación del SCR tenga solo una dirección y así evitar que este entre en una etapa de función errónea. La Figura 6 muestra sus patillas de conexión.

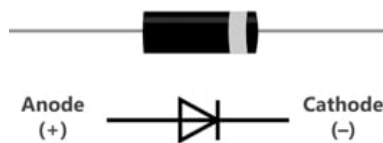


Figura 6. Diodo.

- **SCR:** Dispositivo de potencia encargado de controlar la tensión en la carga. Su diagrama está en la Figura 7, donde al recibir un pulso de activación en la compuerta Gate, permite el flujo de corriente entre ánodo y cátodo. Su funcionalidad le impide tener un control de apagado, por lo que es necesario que la tensión entre sus terminales sea cero. Por esta razón se apoya de la señal rectificada. El control de disparo se da mediante el circuito CD

y según sea el ángulo de disparo, la tensión en la carga varía, tal y como se muestra en las Figuras 3, 4 y 5.

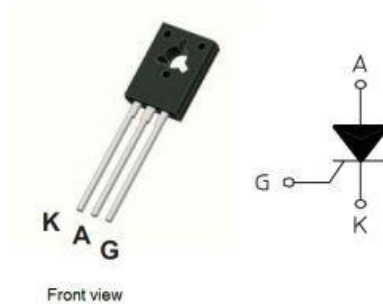


Figura 7. SCR.

- **Bombillo:** Se trata de la carga alimentada por el circuito, el cual según la configuración del circuito y el ángulo de disparo del SCR, varía la tensión que recibe y por ende su luminosidad.
- **R1:** Limita la corriente en la entrada del optotransistor IC1. Así, evita que el dispositivo consuma más potencia de la requerida, que el diodo de entrada se queme y que el dispositivo deje de funcionar.
- **R3:** Resistencia que facilita el flujo de corriente entre las terminales colector y emisor del optoacople. Además, permite que haya una diferencia de potencial en el ánodo del diodo D1 durante el tiempo en que el optotransistor IC3 esté apagado.
- **R7:** Se encarga limitar la corriente en la entrada Gate del SCR. De este modo, permite controlar la corriente mínima que se necesita para generar un pulso en G.
- **Fusible:** Consiste en un componente de protección de corriente, cuando este alcanza su valor nominal detiene el flujo a través del circuito evitando daños mayores. Para el caso

de la simulación consiste en un fusible de 250 mA, no se requiere mayor corriente para alimentar el circuito y la carga de 150 mA.

Circuitería de corriente directa:

- **Fuente DC:** Se trata de una batería de 9 V, necesaria para alimentar la sección de CD del sistema.
- **IC 555:** Consiste en un circuito integrado encargado de proporcionar retardos del tiempo y de oscilar la señal a cierta frecuencia. De este modo, se encarga de controlar el ángulo de activación del SCR, lo que lo convierte en parte vital del sistema. Los pines del componente se muestran en la siguiente Figura 8.

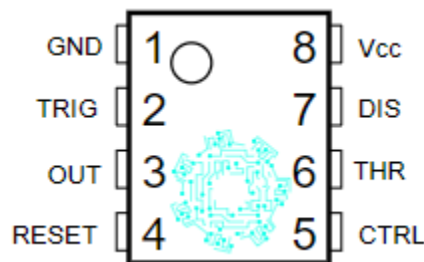


Figura 8. CI 555.

- 1: Terminal de tierra.
- 2: Terminal Trigger, encargada del tiempo de retardo.
- 3: Salida del 555.
- 4: Terminal Reset, coloca la salida en un nivel bajo cuando se alcanza cierto nivel de tensión.
- 5: Terminal de control de voltaje.
- 6: Terminal Umbral, utilizada para poner la señal en bajo mediante un comparador interno.

7: Terminar Discharge, permite descargar el condensador externo.

8: Terminal de potencia del CI, en esta se conecta la batería CD para alimentarlo.

- **Acople óptico IC1:** Consiste en un acople óptico de transistor BJT, encargado de generar la señal que activa el trigger del 555. Su diagrama se indica en la Figura 9. Esto permite que las señales de pulso en el Gate tengan una sincronización con los cruces por cero de la señal de alimentación. Así, se tiene control periódico de los ángulos de activación.

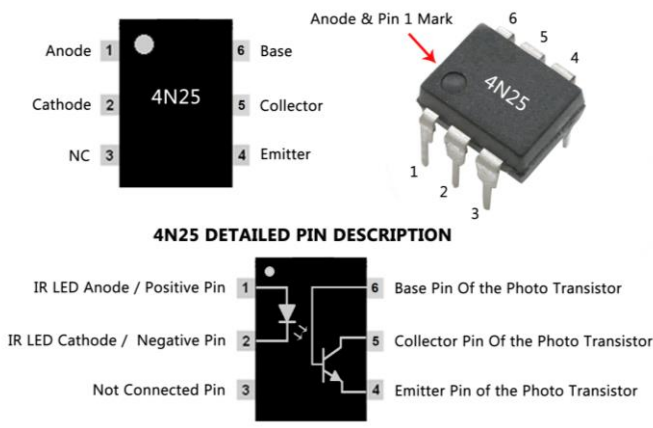


Figura 9. 4N25.

- **Acople óptico IC3:** Se trata de un optotransistor BJT, que a diferencia del optoacople anterior IC1, se encarga de generar la señal de activación del SCR. Este tipo de fototransistor solo puede conducir en una dirección, por lo que su uso es adecuado en aplicaciones de corriente continua, como es el caso. Su activación depende del tiempo de retardo establecido por el CI 555, puesto que está conectado su salida.
- **VR1:** Se trata de un potenciómetro encargado de variar la tensión en la carga. Esto se debe porque está conectado a la patilla 6 y 7 del 555, de las cuales depende el colocar la salida en bajo y controlar las pulsaciones en el SCR. Según su valor, el capacitor variará su tiempo de carga y por tanto el tiempo donde la salida del integrado está en alto. Esto se

observa en las gráficas 3, 4 y 5 donde al cambiar el pulso, comienza a caer tensión en la carga.

- **R2:** Permite que haya flujo de corriente cuando el transistor BJT se polariza. Además, provoca una división de tensión que permite disminuir el voltaje que ingresa al circuito integrado.
- **R4:** Resistencia encargada de mantener una diferencia de potencial fija en las entradas 6 y 7 del 555. Sin esta y cuando el potenciómetro está en 0, la tensión se elevaría hasta los 9 V de la batería. además, mantiene un tiempo de emisión de pulsos mínimo ya que el disparo depende de R4 y VR1.
- **R5:** Se encarga de limitar la corriente en la entrada de IC3, tiene la misma función que R1.
- **R6:** Regula la corriente en la terminal Trigger del integrado 555, encargada del tiempo de retardo del pulso.
- **C1:** Capacitor encargado de controlar la pulsación en la salida del 555. Este se carga según el valor de R4 y la resistencia del potenciómetro hasta llegar a la tensión de umbral necesaria para polarizar el transistor interno del 555, descargar el capacitor y generar una pulsación de 0 V. Posteriormente, el capacitor vuelve a cargarse, existe un pulso en alto en la salida 2 hasta llegar nuevamente a repetir el ciclo. Es parte esencial para generar las pulsaciones que activan al Gate.
- **C2:** Consiste en un capacitor que permite controlar el voltaje en la terminal 5 del integrado, la cual sirve para realizar la comparación con el circuito comparador del 555 y determinar cuándo hacer el cambio de alto a bajo en el pulso de salida.

- 3) Cambie el valor de C1 a 2 μ F, obtenga las gráficas para los valores extremos del potenciómetro, explique lo observado (principalmente en el comportamiento de salida del pulso del 555 y de la carga). Este punto es únicamente para simulación.

Por un lado, al variar C1 de 1.47 μ F a 2 μ F y mantener el potenciómetro en su mínimo, no se observaron cambios importantes, como se muestra en la Figura 11.

Por otro lado, sí se observaron variaciones cuando el potenciómetro se colocó en su máximo.

Como se ve en la Figura 10, el tiempo de pulso del 555 aumentó con C1=2 μ F y el pulso pasó a tener una duración equivalente a medio ciclo de la señal AC.

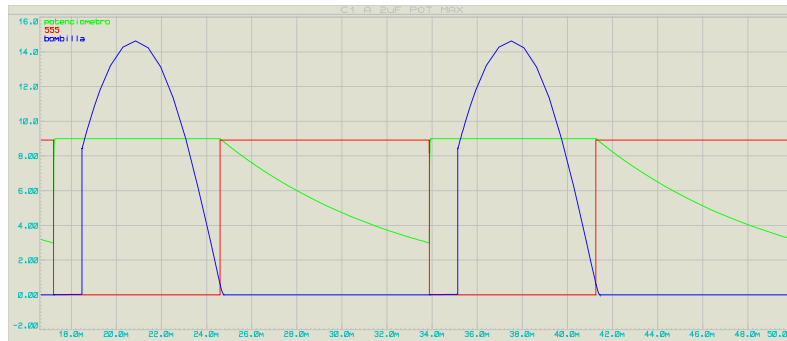
Además, a diferencia del comportamiento con C1=1.47 μ F, la carga recibe mayor tensión debido a que el pulso que se da en la compuerta Gate tiene un ángulo de activación mucho menor, siendo casi al inicio del semiciclo. Resultando en mayor tensión en el bombillo.

A su vez, al ser un capacitor con mayor capacitancia, tarda más tiempo en cargarse, por ende, los tiempos de pulsación varían debido a que su carga y descarga están conectadas en las patillas de umbral y descarga del integrado 555; y ya que el componente está sincronizado con los cruces por cero mediante el trigger proveniente del optoacople, existe una variación en los pulsos porque el capacitor no se descarga a tiempo completamente en el cruce por cero.

Dicha situación no sucede cuando el potenciómetro está en su mínimo puesto que el capacitor se carga lo suficientemente rápido.

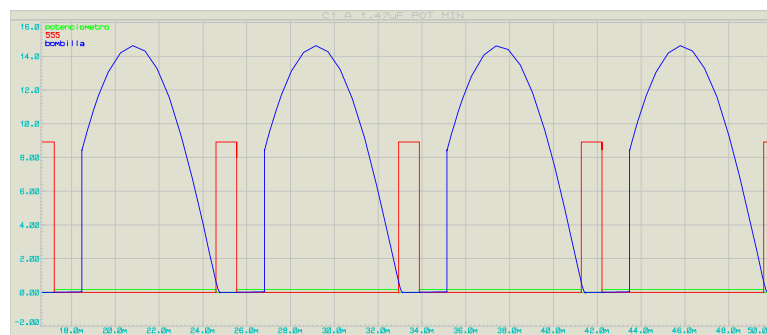


a) C1=1.47 μ F.

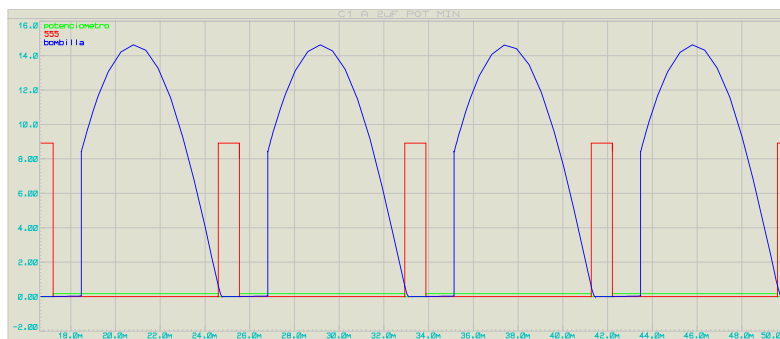


b) $C1=2\text{ uF}$.

Figura 10. Gráficas de tensión en la salida del 555 y su efecto en la carga con Pot=5k.



a) $C1=1.47\text{ uF}$.



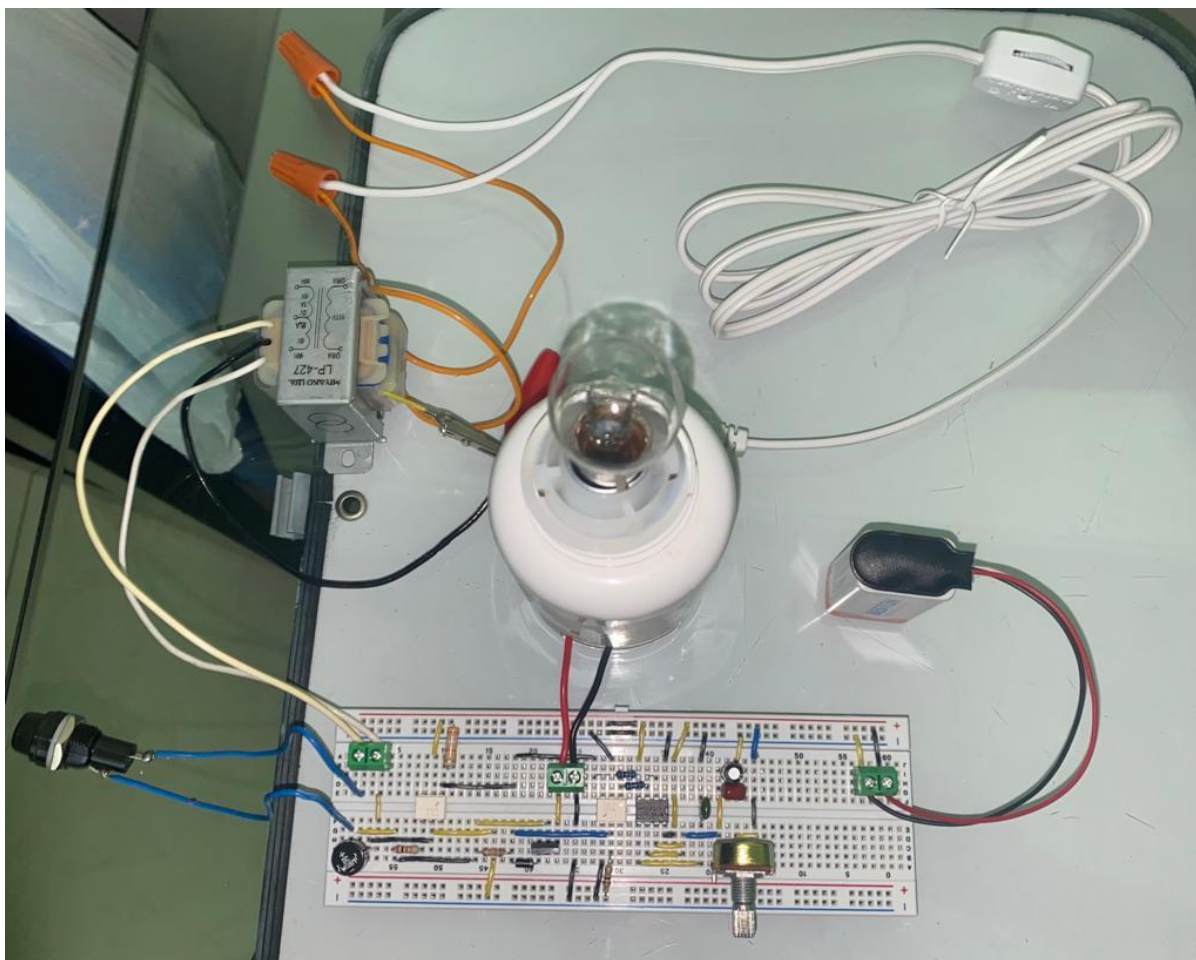
a) $C1=2\text{ uF}$.

Figura 11. Gráficas de tensión en la salida del 555 y su efecto en la carga con Pot=0k.

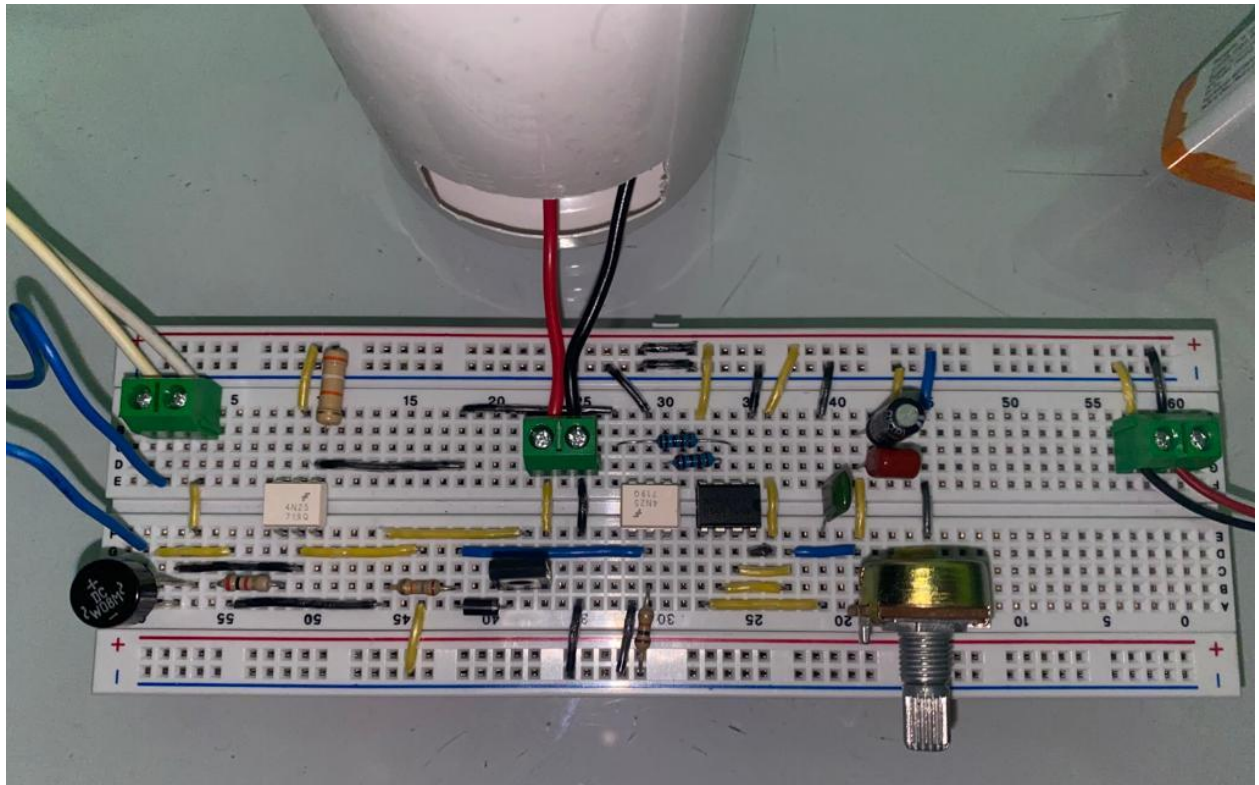
II. Implementación en protoboard

- 1) Considerando que la carga es un bombillo DC de 12 V (requiere de una base para alimentarlo), arme el circuito en protoboard con un cableado ajustado, sin cables cruzándose y que permita al observador entender las conexiones. Los aspectos más críticos de la evaluación son el orden y el funcionamiento del circuito por lo que debe adjuntar fotos donde se observe el cableado en detalle (en vista superior y dos laterales) así como un video de menos de 1 min donde se observe el funcionamiento al girar el potenciómetro.

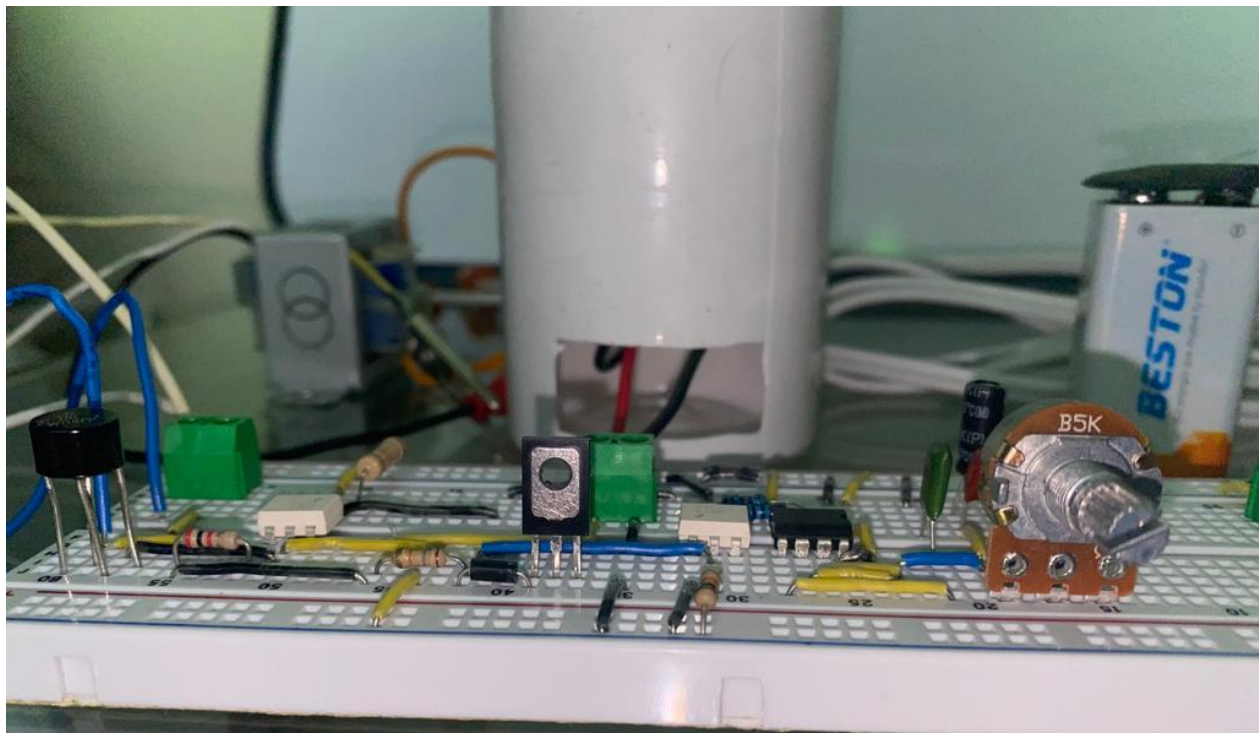
En las siguientes Figuras se visualiza el circuito de la Figura 1 armado en protoboard, donde se aprecian las conexiones, así como el uso del transformador de 120 a 12 Vrms, de la batería de 9V y del bombillo. Este se trata de un bombillo de dos contactos 12 V / 21 / 5 W. Además, el siguiente enlace muestra el funcionamiento, donde al variar la resistencia del potenciómetro aumenta o disminuye el brillo del bombillo, <https://youtu.be/pVddirEBDC0> .



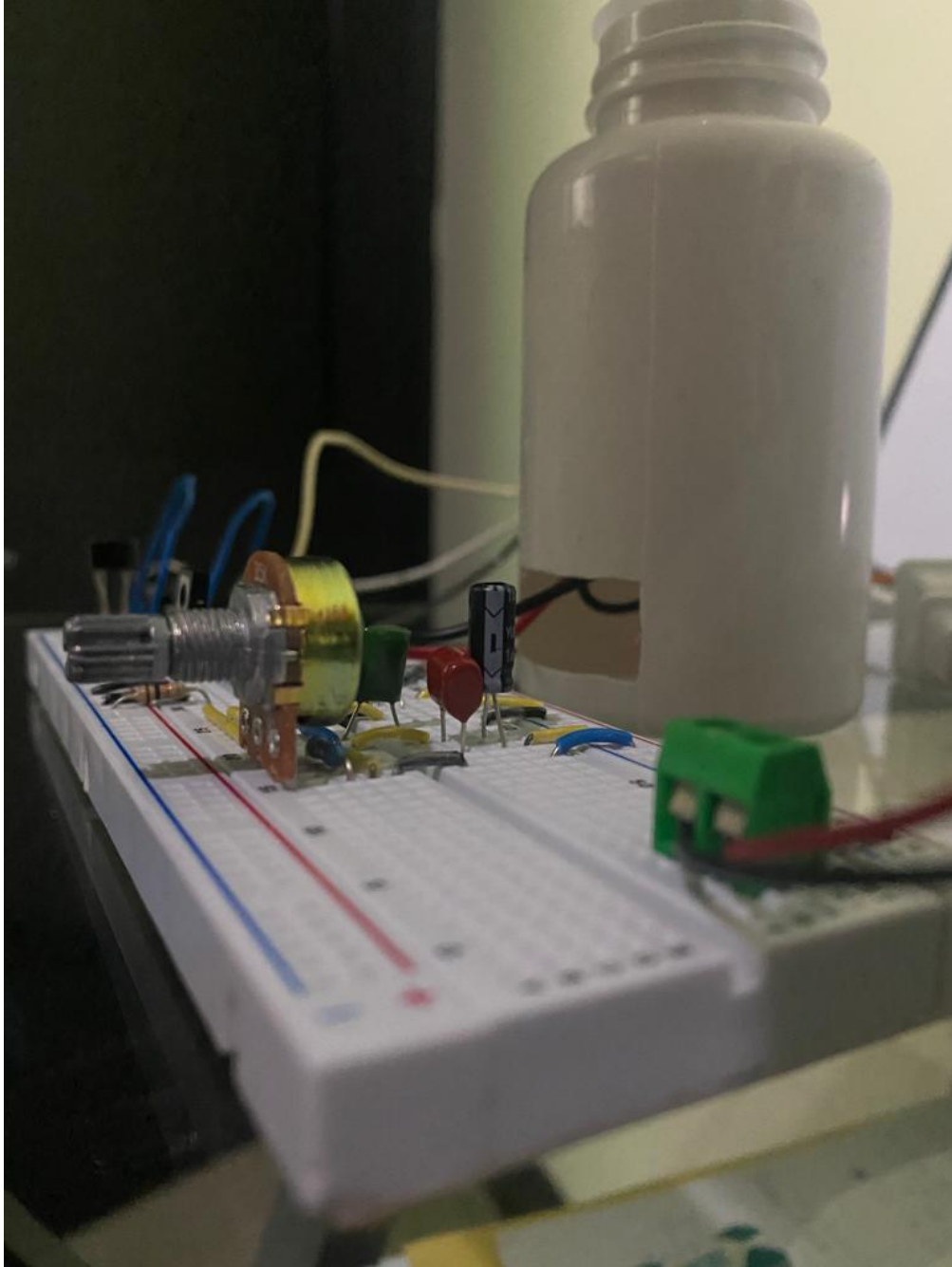
a)



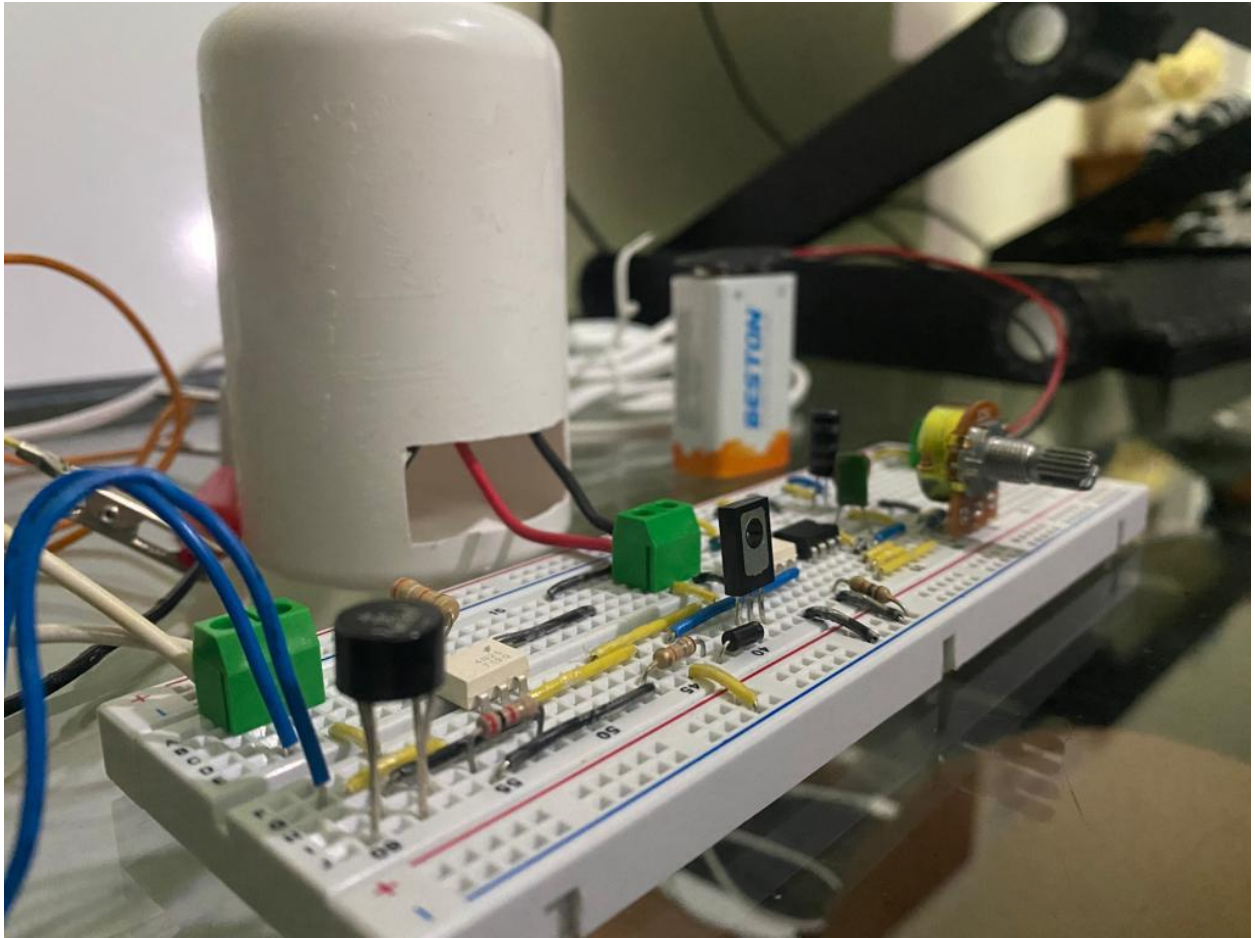
b)



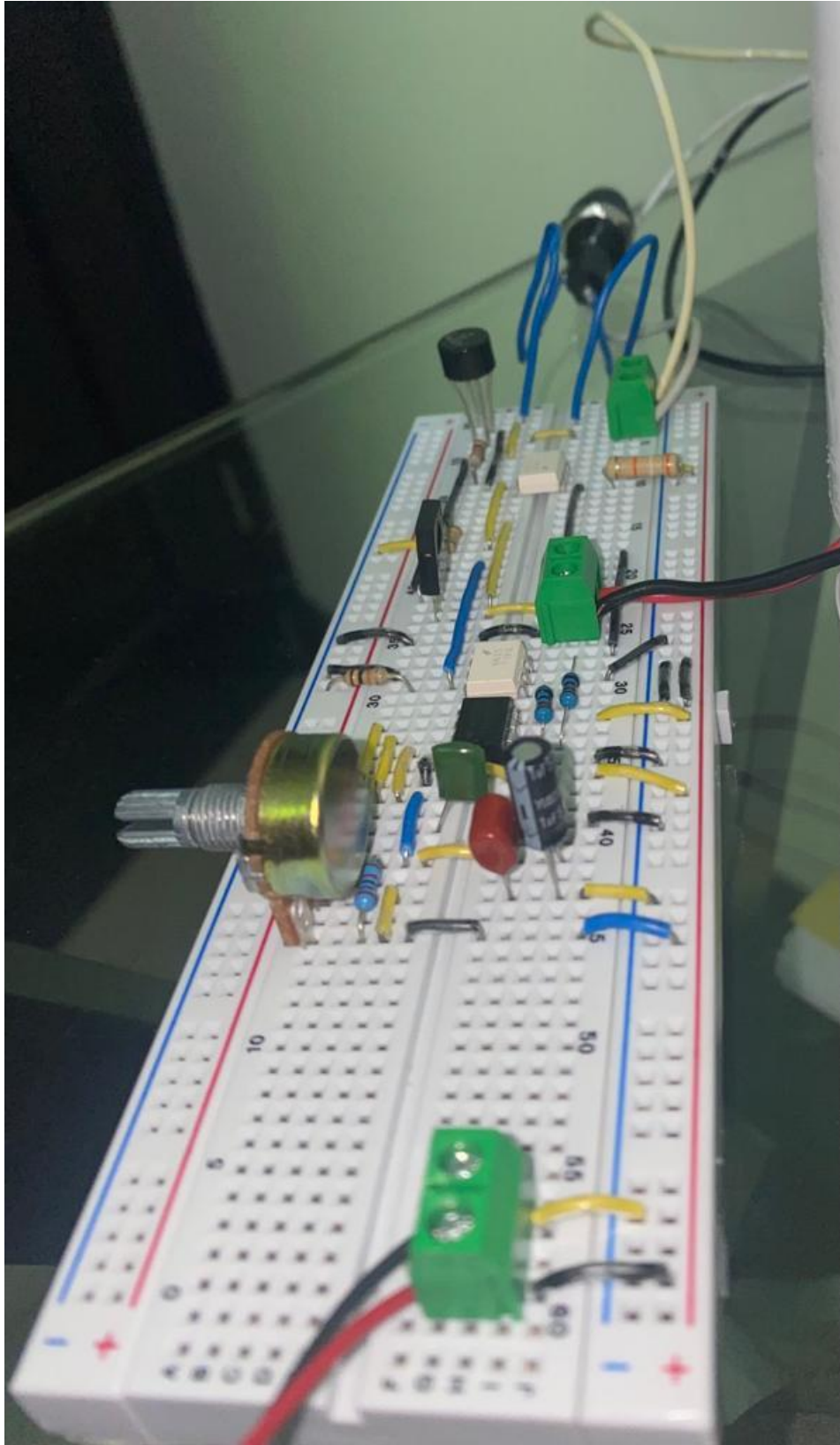
c)



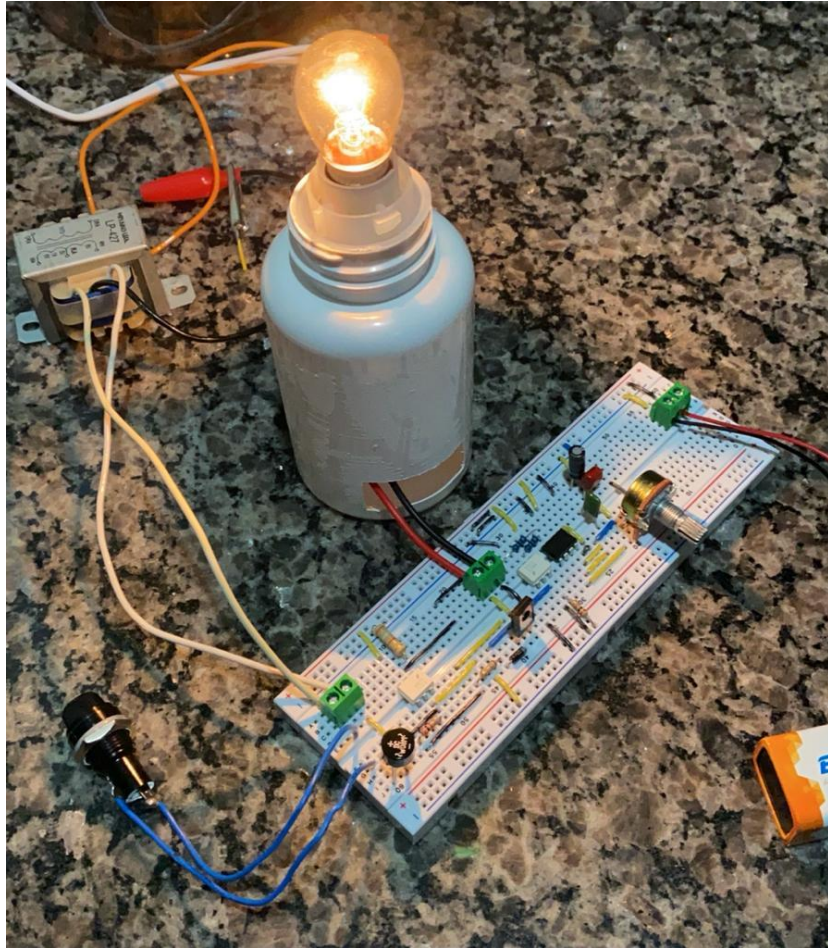
d)



e)



e)



f)

Figura 12. Implementación en protoboard.

- 2) Mida la tensión en VR1 y la tensión en la carga para 15 puntos, abarque el rango completo de variación del potenciómetro. Tabule las mediciones (calcule la incertidumbre según la hoja de datos del multímetro), realice una gráfica V_{carga} vs VR1 y comente los resultados.

En la Tabla 1 se presentan las mediciones de la tensión en el potenciómetro y en la carga, donde se observa que existe una relación inversa, en la que mientras la tensión en el potenciómetro disminuye, la tensión en el bombillo aumenta. Cabe resaltar que son valores rms de la tensión AC que alimenta al circuito y que las distintas medidas pueden variar en precisión y exactitud debido a caídas de tensión en los componentes, error del instrumento, fuentes de tensión imperfectas y el error humano. No obstante, los resultados permiten generar un análisis general del comportamiento del circuito.

De este modo en la Figura 13 se nota un comportamiento aproximadamente lineal donde la tensión más pequeña corresponde al valor más grande de resistencia del potenciómetro y va disminuyendo conforme su resistencia aumenta. Al observar las Figuras 3, 4 y 5 se aprecia que este es el comportamiento esperado, ya que la carga recibe menor tensión cuando mayor es su resistencia. Este comportamiento está relacionado con el tiempo de pulsación que genera el 555 ya que depende de VR1.

Además, las diferencias de tensión con la simulación corresponden a que se utilizó un bombillo que consume mayor potencia y requiere de mayor corriente para su funcionamiento. Este se trató de un bombillo 12 V / 21 / 5 W.

Tabla 1. Mediciones experimentales de tensión.

Medición	VR1 (potenciómetro) (± 0.02) V	V bombillo (± 0.02) V
0	2.09	5.90
1	2.12	5.96
2	2.11	6.36
3	2.08	6.60
4	2.07	6.77
5	2.06	6.95
6	2.05	7.01
7	2.04	7.12
8	2.01	7.30
9	1.99	7.39
10	1.98	7.44
11	1.94	7.52
12	1.89	7.55
13	1.84	7.58
14	1.80	7.60
15	1.78	7.62
16	1.70	7.50

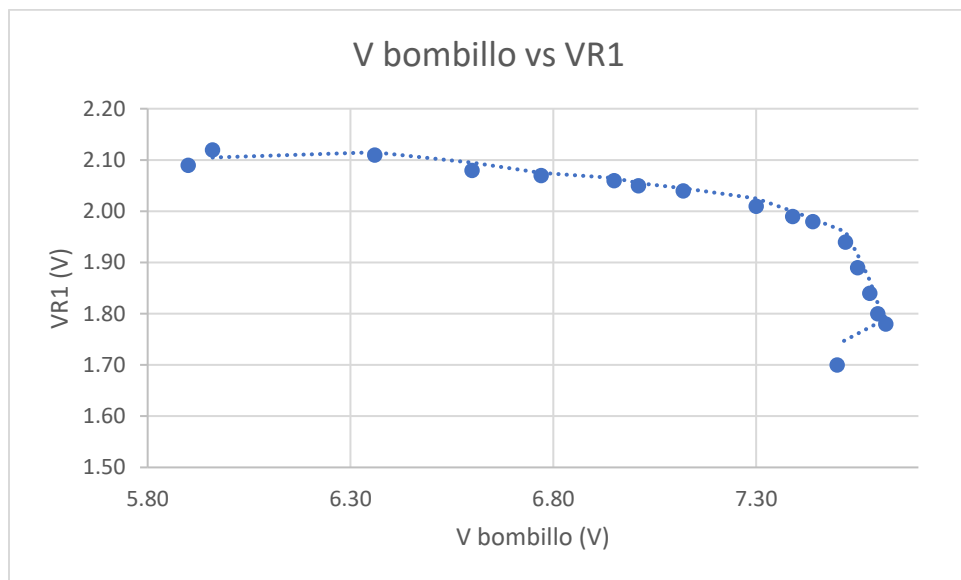


Figura 13. Gráfica de la Tabla 1.

- 3) Mida la tensión en VR1 y la luminosidad del bombillo (utilizando alguna aplicación para celular como Lux) para los mismos 15 puntos anteriores. Tabule las mediciones (no olvide la incertidumbre), realice una gráfica Luminosidad vs VR1 y comente los resultados.

Como se mencionó anteriormente, cuando la resistencia del potenciómetro es grande, la tensión en el bombillo es pequeña y cuando la resistencia del potenciómetro es pequeña, la tensión en el bombillo es grande. En términos de luminosidad, entre mayor sea la tensión que recibe la carga, más será el brillo que esta emite. Esto se observa en la Figura 14, donde se graficaron los datos de la tabla. Para esto se apoyó de la aplicación Lux y se tomaron las mediciones tal y como se indica en la sección de observaciones.

Se observa que al disminuir la tensión en el potenciómetro, aumenta la luminosidad del bombillo. Lo cual es el comportamiento esperado, tal y como resultó las gráficas de tensión obtenidas en el simulador. Esto ya que el brillo del bombillo tiene una relación directamente proporcional con la tensión que recibe.

En la Figura 14 se observa que el comportamiento es similar al caso anterior, existe una relación inversa entre la luminosidad y la tensión del potenciómetro.

Tabla 2. Mediciones experimentales de tensión y luminosidad.

Medición	VR1 (potenciómetro) (± 0.02) V	Luminosidad bombillo (± 1)
0	2.09	10
1	2.12	15
2	2.11	22
3	2.08	30
4	2.07	40
5	2.06	52
6	2.05	69
7	2.04	88
8	2.01	112
9	1.99	143
10	1.98	185
11	1.94	234
12	1.89	315
13	1.84	380
14	1.80	477
15	1.78	598
16	1.70	595

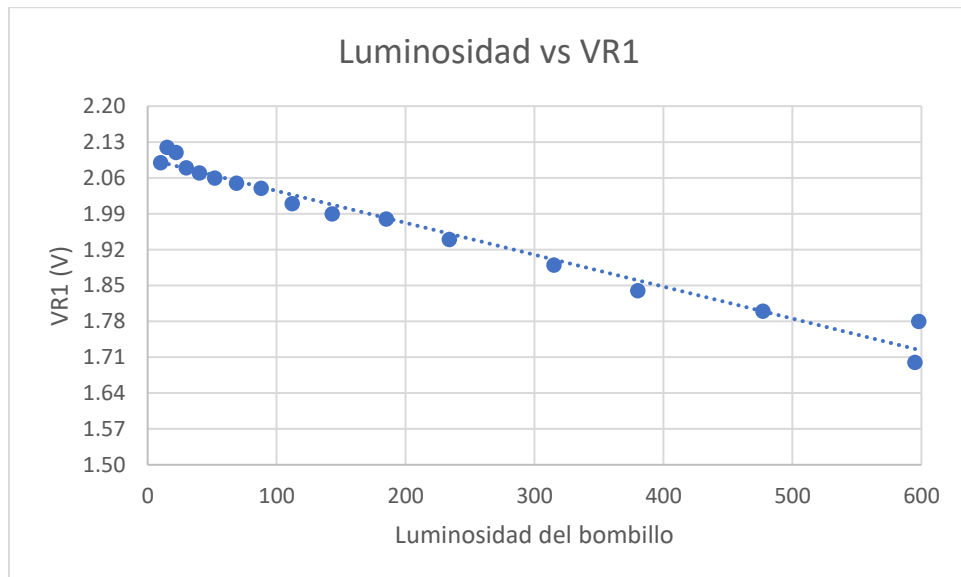


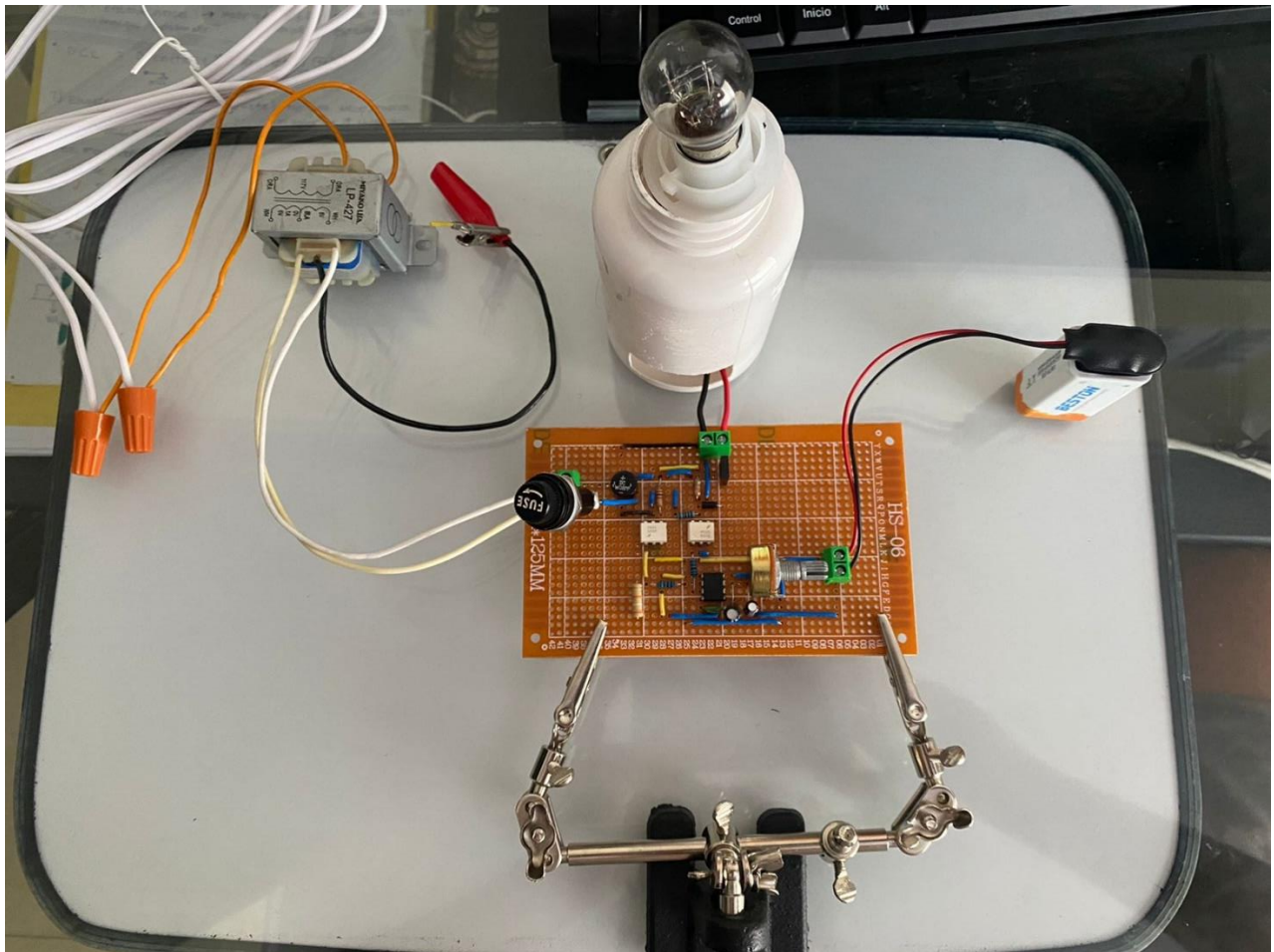
Figura 14. Gráfica de la Tabla 2.

III. Implementación en tarjeta de prototipo

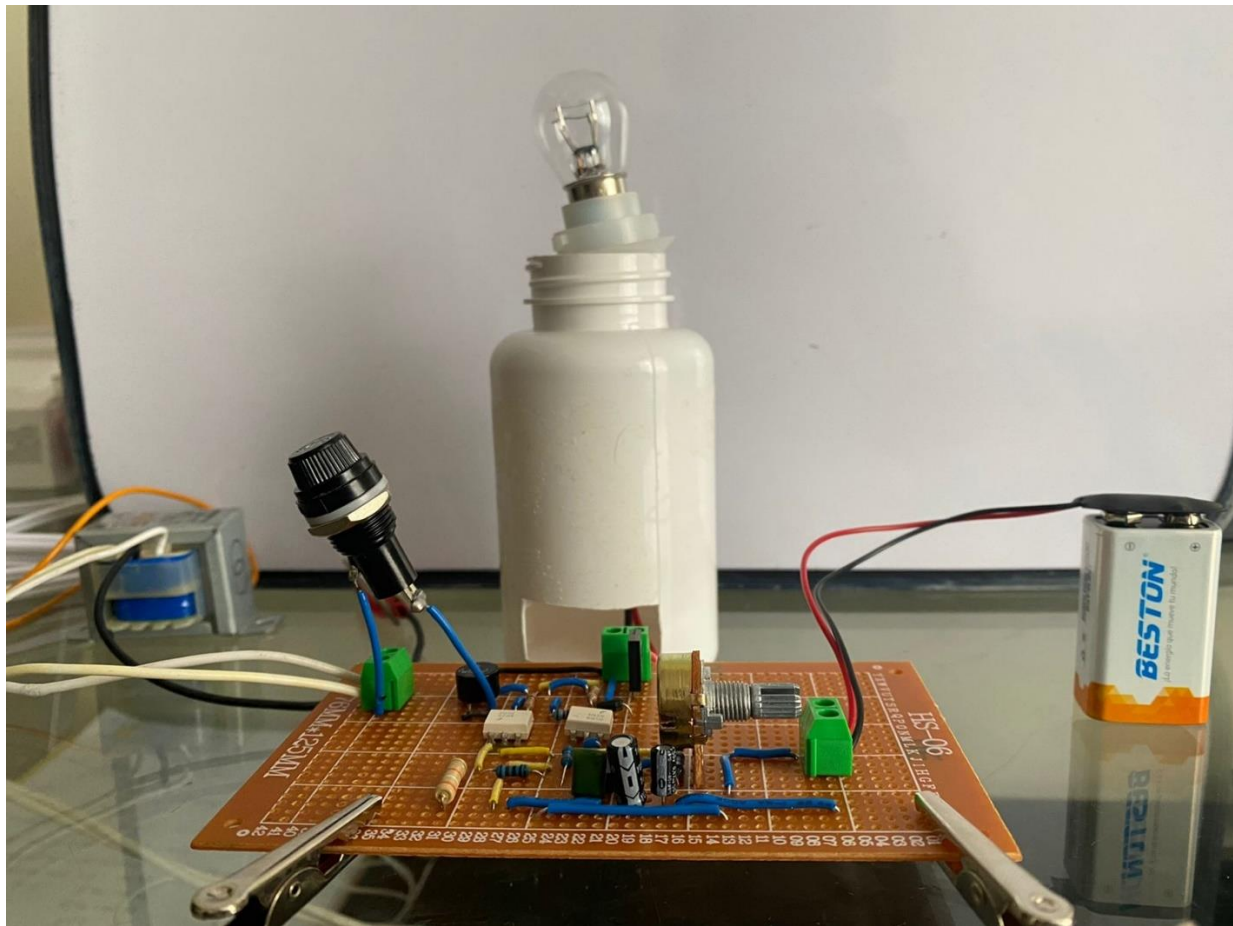
- 4) Implemente el circuito en una tarjeta de prototipo (posee los agujeros) manteniendo un alto grado de orden en el proceso de soldadura. Los aspectos más críticos de la evaluación son el orden y el funcionamiento del circuito por lo que debe agregar fotos detalladas de cada espacio de la tarjeta y un video de menos de 1 min donde se observe el funcionamiento. No olvide los aspectos de seguridad en su implementación.

En las siguientes Figuras se muestran las fotografías del circuito armado en la tarjeta de prototipo. Además, se presenta el enlace con la comprobación práctica:

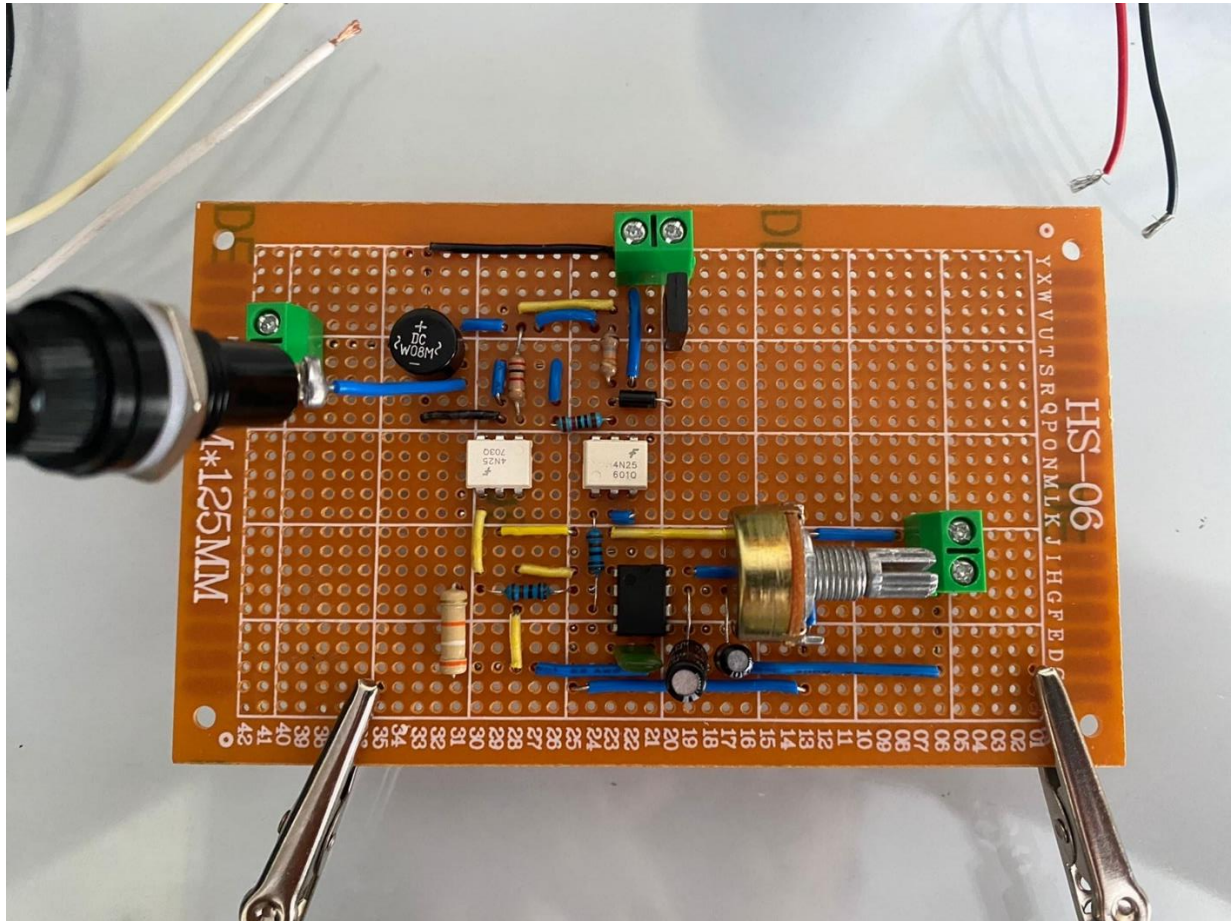
<https://youtu.be/7GiO6t0ZYxE>



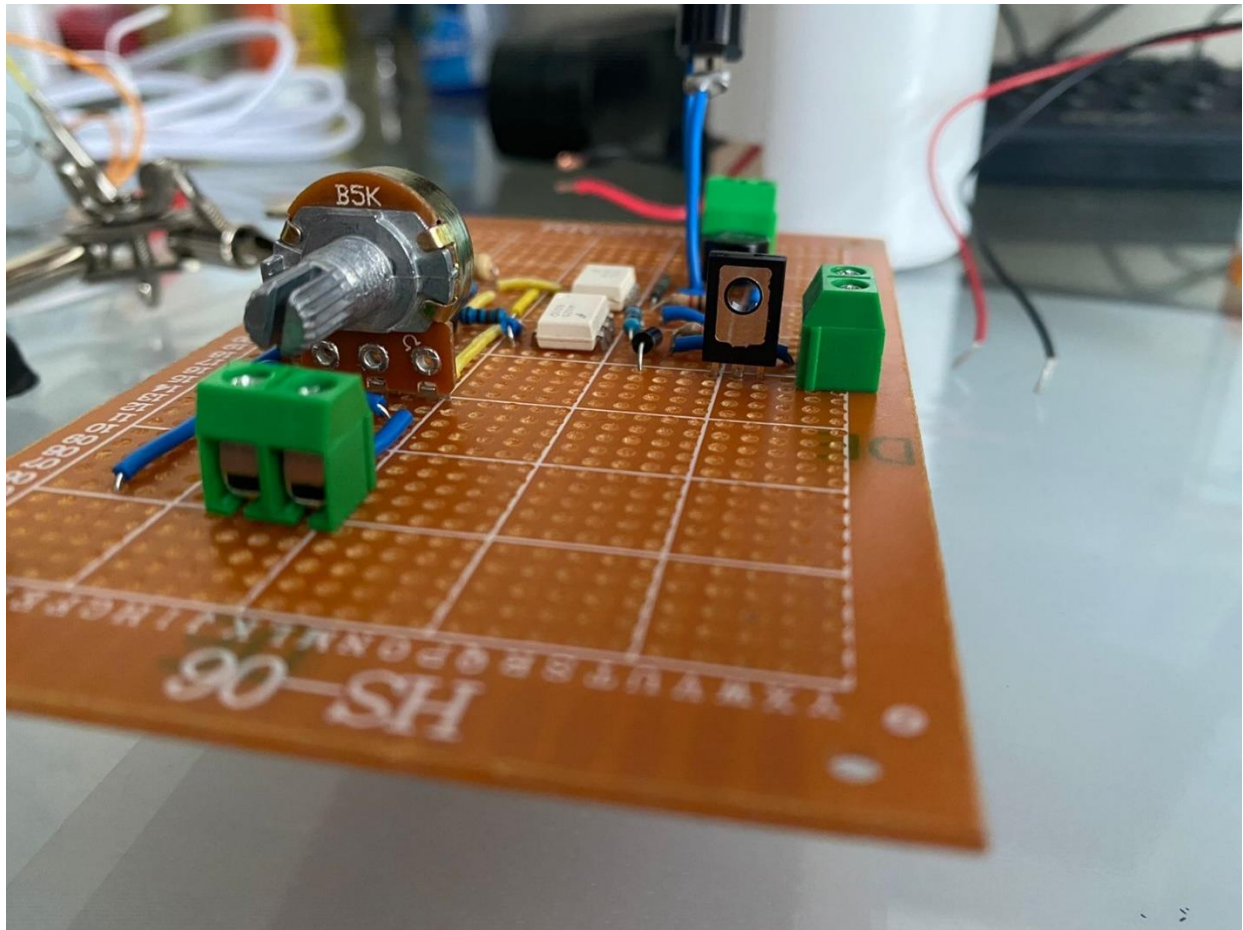
a)



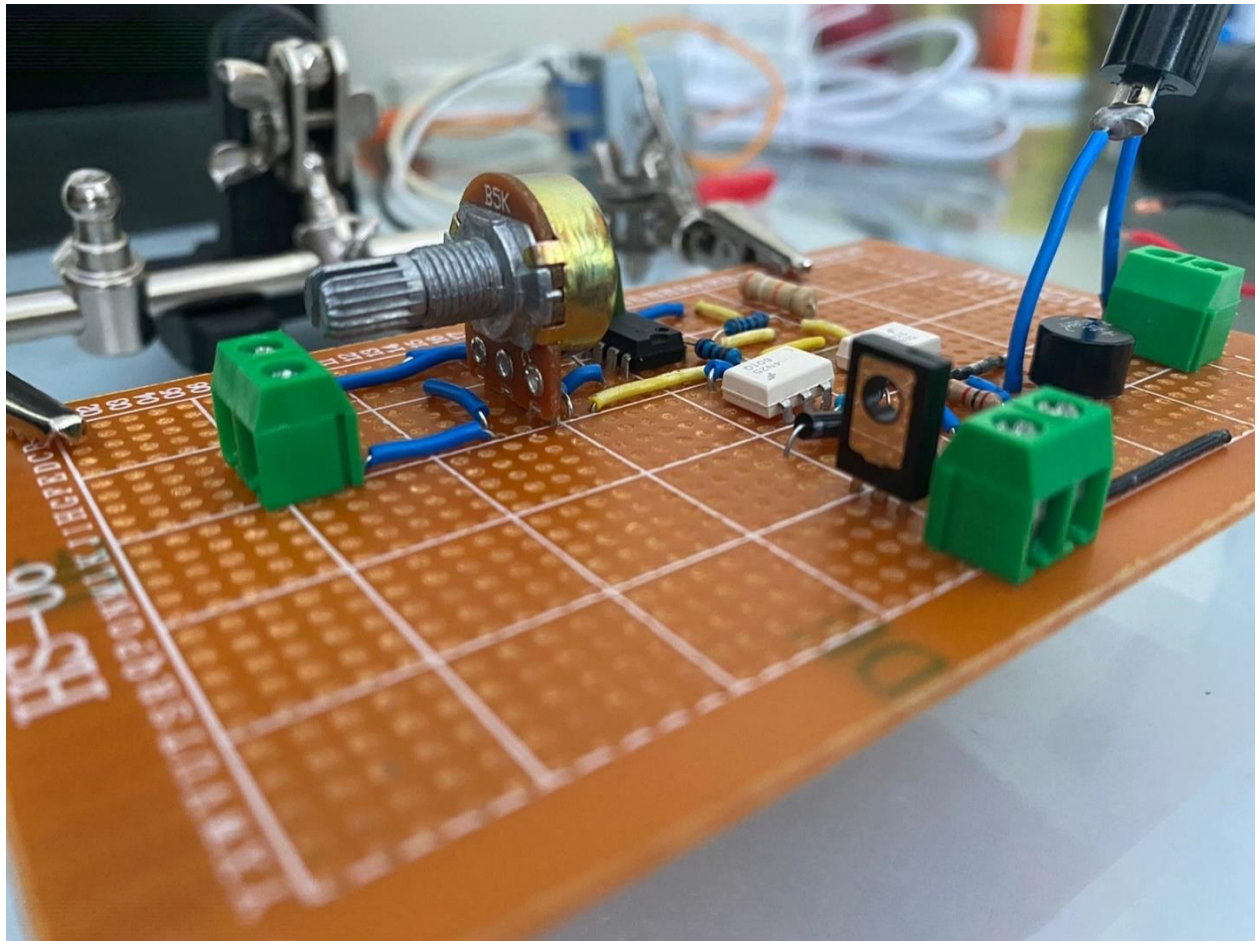
b)



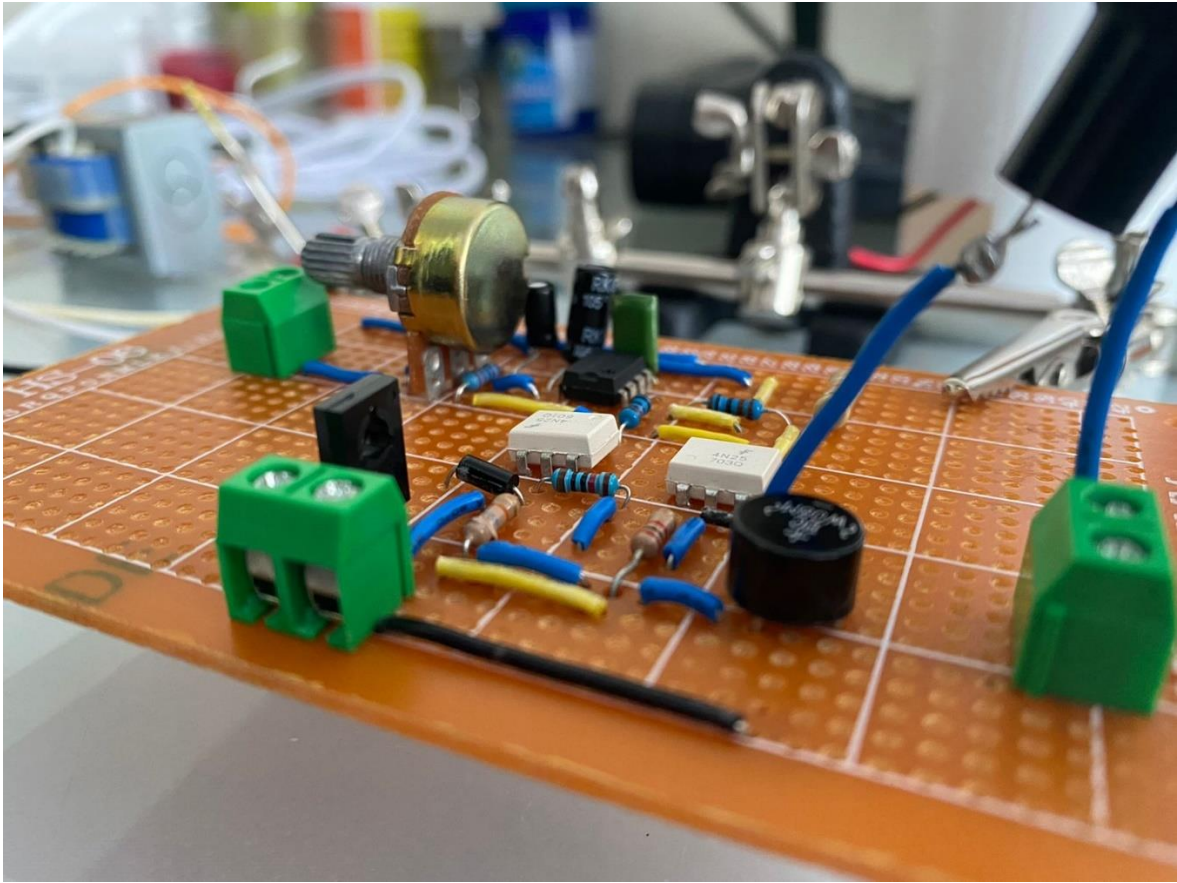
c)



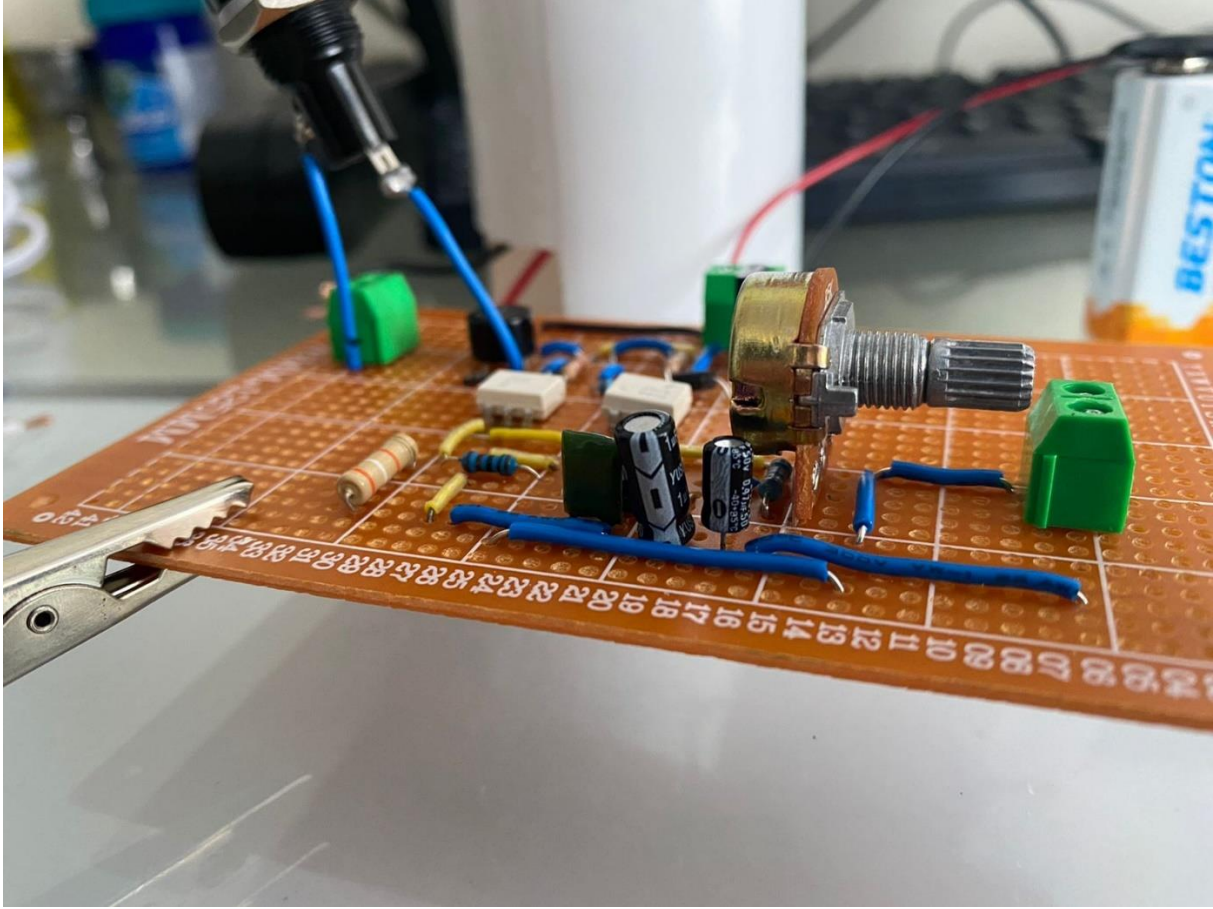
d)



e)

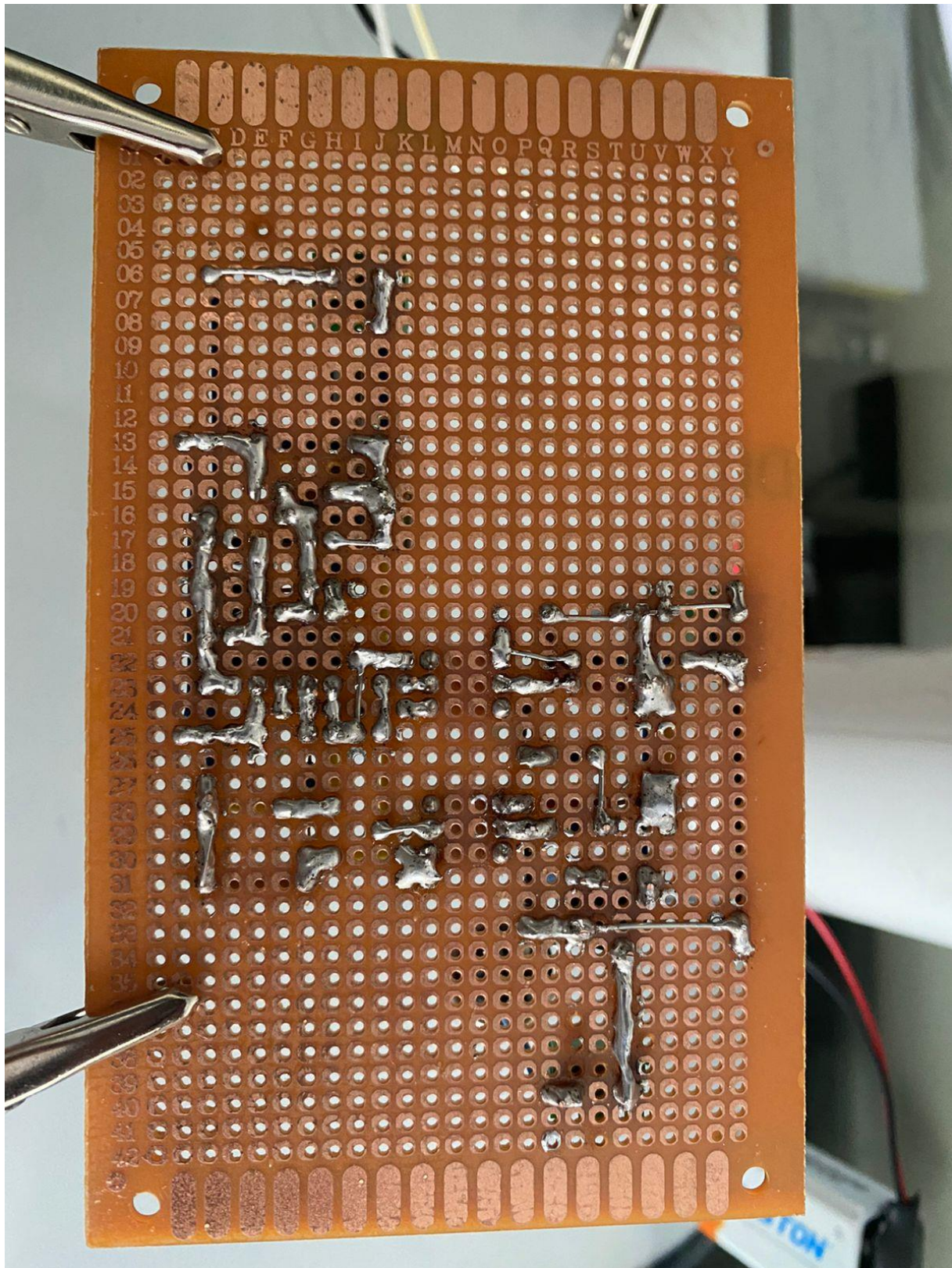


f)

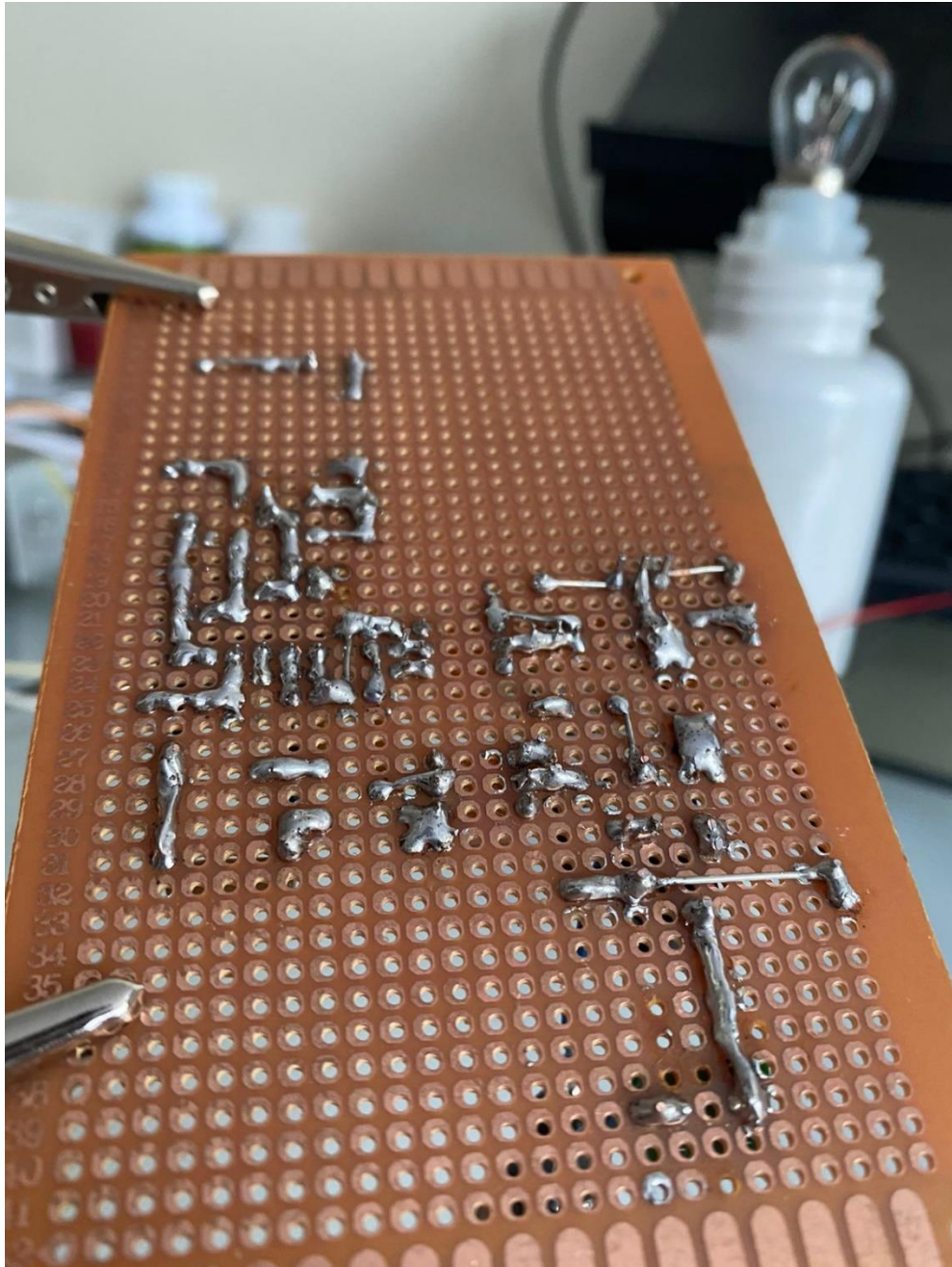


g)

Figura 15. Evidencias del circuito de la Figura 1 montado en la placa de pruebas.



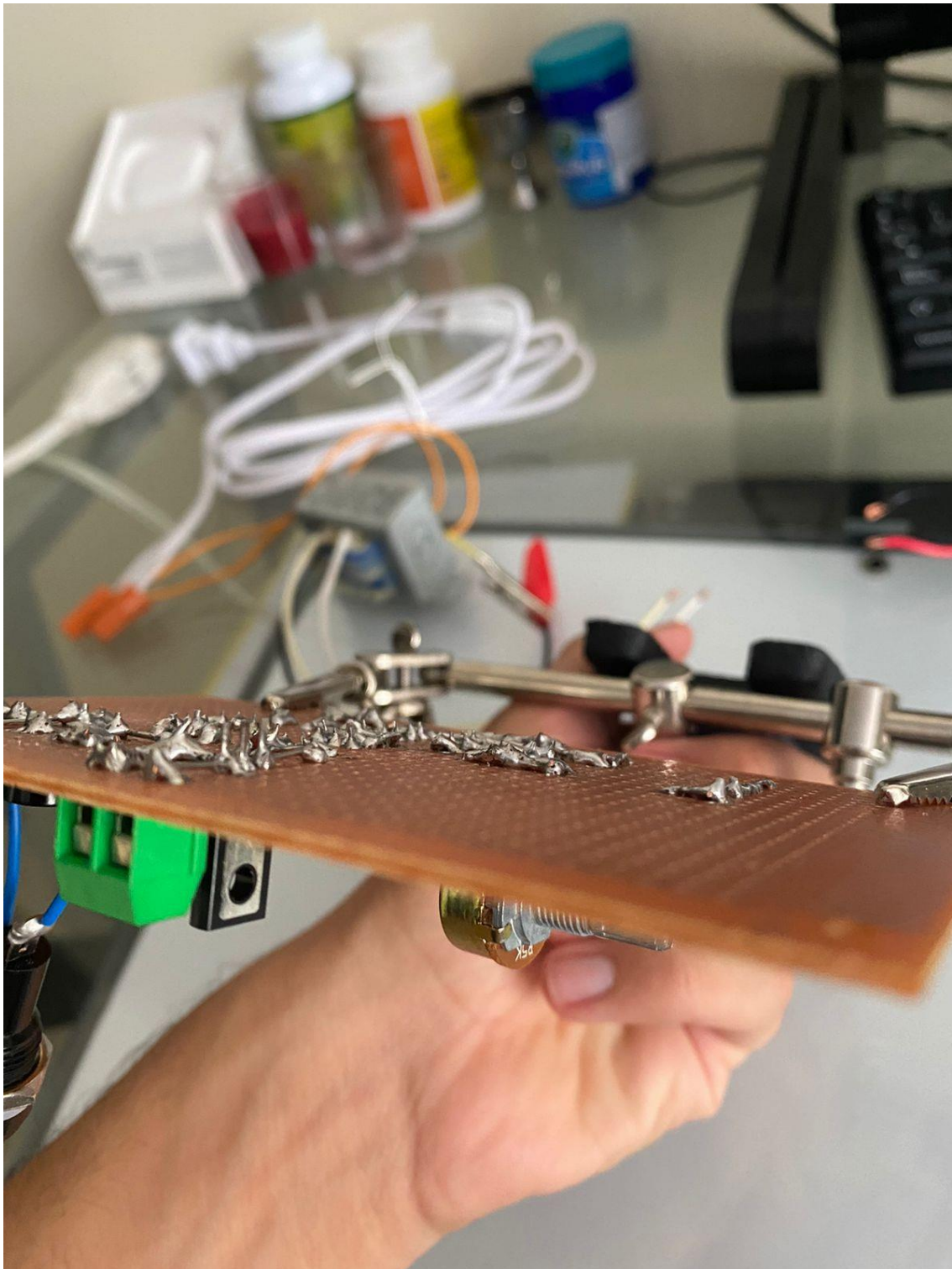
a)



b)



c)



d)

Figura 16. Evidencias de la soldadura.

IV. Observaciones

- Se midió la luminosidad en un cuarto oscuro y a una distancia constante con el fin de evitar variaciones importantes en la toma de datos.



Figura X. Toma de datos.

- La incertidumbre instrumental de las tensiones medidas se realizó como se indica, en esta se aproximó para todos los datos un valor de 0.02 de acuerdo con la teoría de mediciones.

$$\pm (\% \text{lectura} + \% \text{rango})$$

El rango para el multímetro corresponde a 0.003% para la escala de tensión AC y un porcentaje de lectura de 0.8%. De este modo, las incertidumbres se calcularon:

$$\pm \left(\text{lectura} * \frac{0.8}{100} + 0.003 \right)$$

V. Referencias

Circuito integrado 555. (2021). Mecatrónica LATAM.

<https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/electronica/componentes-electronicos/555/>