

Trampa sustentable para plagas en cultivos agrícolas con control electrónico y energía solar fotovoltaica

Eco-friendly pest trap for agricultural crops utilizing electronic control and photovoltaic solar energy

Ubaldo Aguilar¹, Canek Portillo^{1*}, Jorge Valentín Bajo¹, Raymundo Bueno¹, Mario García^{1,2}, Laura Bonilla¹, Daniel Martínez¹.

RESUMEN

Se presenta el proceso constructivo de una trampa sustentable para combatir plagas de insectos voladores en cultivos agrícolas. Esta posee un control electrónico que funciona con energía solar. En el diseño de la trampa se aprovecha el efecto de atracción de los insectos hacia fuentes luminosas (fototropismo positivo); por tanto, esta incluye una lámpara que se ha fabricado con arreglos de leds de color azul y circuitería electrónica que controla su encendido durante la noche y su apagado durante el día. Incluso, algunos leds son encendidos de manera intermitente para afectar más aún la coordinación de vuelo de los insectos. El circuito de control y la lámpara se alimentan de una batería que es recargada por medio de un panel fotovoltaico (FV). Además, entre el panel FV y la batería se instala un controlador de carga como elemento de protección. Por otro lado, una estructura tubular (PTR) es el soporte donde se montan el gabinete (instalación de la circuitería y la batería), las bases para el panel FV, la lámpara, y el recipiente recolector de insectos. En pruebas de funcionamiento en un patio (casa-habitación), se confirma su funcionalidad, quedando lista para ser trasladada al campo de cultivo para su operación en una segunda etapa del trabajo posterior.

Recibido: noviembre
Aceptado: diciembre
Publicado: diciembre

ABSTRACT

The development of a sustainable trap for the control of flying insect pests in agricultural crops is outlined. This device features an electrical control system powered by solar energy. The trap's design leverages the phenomenon of positive phototropism to attract insects to light sources; it incorporates a lamp equipped with blue LEDs and electronic circuitry that regulates illumination at night and deactivates during the day. Some LEDs are activated sporadically to further influence the flying coordination of the insects. The control circuit and the lamp are energized by a battery that is refilled by a photovoltaic panel. A charge controller is positioned between the photovoltaic panel and the battery as a protective component. Conversely, a tubular structure (PTR) serves as the support for the cabinet (housing the circuitry and batteries), the bases for the photovoltaic panel, the lamp, and the insect collector container. The functioning tests conducted in a residential yard affirm its readiness for relocation to the cultivated field for the upcoming operational phase.

Palabras Clave:

Energía solar, cultivos agrícolas, plaga de insectos, sistema fotovoltaico

Keywords:

Agricultural crops, insect pests, photovoltaic system, solar energy

1. INTRODUCCIÓN

Los cultivos agrícolas son una de las principales fuentes de materias primas para la alimentación de las personas. Año tras año, esta actividad productiva es afectada

*Autor para correspondencia.

Dirección de correo electrónico: Canek Portillo, canekportillo@uas.edu.mx

¹ Universidad Autónoma de Sinaloa. ² CECATI # 32.

por plagas de insectos, generando grandes pérdidas económicas para los productores y problemas mundiales por desabasto de alimentos [1].

De acuerdo con la Ley federal de sanidad vegetal, se define el término plaga como “forma de vida vegetal o animal o agente patogénico, dañino o potencialmente dañino a los vegetales” [2]. Se estima que hasta un 40% de la producción agrícola mundial se pierde por causa de las plagas que llegan a afectar a los diferentes cultivos, ocasionando mermas económicas de miles de millones de dólares al año [1]. Por otro lado, el uso de agroquímicos o plaguicidas para combatir a los insectos aumenta el rendimiento de los cultivos, pero ocasionando múltiples efectos negativos en el ambiente, microorganismos, vida silvestre en general e incluso al ser humano. Además, con el tiempo, las plagas adquieren o desarrollan resistencia a dichos plaguicidas. Por tanto, es necesario buscar alternativas ecológicas e innovaciones tecnológicas, como uso de insecticidas biológicos o de origen vegetal [3]. Otra forma de innovación y desarrollo tecnológico que también puede contribuir de manera sustentable al combate de las plagas de insectos en cultivos agrícolas consiste en la fabricación e implementación de trampas para insectos. Dado que una gran variedad de insectos se ve atraída por la luz de diferentes frecuencias, se ha aprovechado esta susceptibilidad para diseñar y construir trampas cromáticas y luminosas, como la elaborada por Expósito en 2022 [4]. Este fenómeno, denominado fototropismo positivo [5], afecta notablemente a gran variedad de insectos voladores. Infusino et al [6], en el 2017 construyen una trampa envolviendo un tubo de PVC con una tira de leds. El tubo, de 20 cm, se coloca verticalmente en el centro de una cubeta que sirve de soporte. Sobre el tubo, colocan una cubierta cuadrada de 60 cm para protegerlo de las inclemencias del tiempo. Los LEDs se alimentan con una batería de 7 horas de autonomía. Alrededor de la lámpara forman un cubo de 30 cm de arista con material plástico transparente que contiene acetato de etilo como agente mortal. En 2019, Comoglio [7] diseña lámparas de ocho y de diez leds dispuestas en un hexaedro con base cuadrada de 5 cm de arista y caras rectangulares de 20 cm de largo. En el caso de la lámpara de ocho leds, se distribuyen dos leds por cara (cuatro UV, dos azules, uno verde y uno blanco). Se energiza con una batería recargable tipo Powerbank de 7 a 10 horas de autonomía. Frente a las fuentes de luz colocan telas tipo mosquitero de 2 m x 3 m para atrapar a los insectos. Su estudio y diseño de lámparas

se basa en lo realizado por Brehm en 2017 [8]. En los trabajos anteriores no existe ningún tipo de control electrónico de las lámparas ni se aprovecha la energía solar. En los trabajos de Toapanta-Pardes en 2020 [9], Castresana y Puhl en 2017 [10], y Adasme en 2022 [11], sí aprovechan la energía solar para alimentar sus lámparas, aunque son celdas solares pequeñas y de baja capacidad (2 W).

Éstas son fabricadas con materiales plásticos sencillos, incluso reutilizando botellas de agua en desuso para crear un diseño casero. Incorporan un control electrónico básico que utiliza un fotosensor para encender y apagar automáticamente el dispositivo. La energía se almacena en baterías recargables de 1.2 V. Para atraer a los insectos, se aplica un cebo entomológico en el plástico. En el caso del trabajo de Adasme en 2022 [11], se coloca un piso adhesivo de cartón impermeable o un cebo atrayente en el interior. Por otro lado, la compañía china Goldsun Energy Science and Technology presenta varias lámparas en 2023, [12-14], y otra desarrollada en la India en 2019 [15], presentan lámparas tubulares led UV (5, 8 y 15 W) que aprovechan la energía solar fotovoltaica (15, 25 y 40 W) para almacenar energía en una batería (interna o externa, 12 V). Estas lámparas incluyen rejillas eléctricas que requieren mayor energía para su funcionamiento y tienen un receptáculo en la parte inferior para la recolección de los insectos. La lámpara india [15] de 2019 es de tipo cilíndrico, más corta, sin rejillas eléctricas y con una altura fija de aproximadamente 1 metro. Además, en la parte inferior, donde caen los insectos, tiene un contenedor para líquidos. El trabajo presentado aquí describe una trampa sustentable para controlar las plagas de insectos voladores en los cultivos agrícolas, con el objetivo de preservarlos y maximizar la producción. Esta trampa utiliza energía solar mediante un panel fotovoltaico de 10 W (27 cm x 32 cm). Durante el día, un controlador de carga regula la energía almacenada en una batería recargable de plomo sellada de 12 V, gestionando el proceso de carga y evitando sobrecargas que puedan reducir la vida útil de la batería. Al caer la noche y detectarse suficiente oscuridad (mediante un circuito detector y sensor de luz calibrado), se enciende una lámpara LED de color azul ultrabrillante (con una placa rectangular vertical de 14 leds en ambas caras). Además del sensor de luz, la trampa cuenta con un circuito temporizador alimentado por un regulador de voltaje, que permite que el 43 % de los leds emitan luz intermitente. Este encendido intermitente mejora la captura de insectos,

al desorientarlos y hacer que pierdan coordinación en sus movimientos. La luz de los leds, tanto fija como intermitente, atrae a los insectos hacia la trampa, donde caen en un recipiente con agua y jabón.

2. MÉTODOS

El prototipo es la conjunción de cuatro partes principales que se han denominado subsistemas, de acuerdo con el diagrama mostrado en la figura 1. En el subsistema correspondiente al sistema fotovoltaico (FVA), se han acoplado el panel FV, el control de carga y la batería. En los subsistemas del sistema de iluminación (SI) y el de control del sistema de iluminación (CI), se diseñaron e implementaron circuitos impresos en baquelita con distintos componentes electrónicos. En los siguientes apartados se expone sobre cada uno de ellos y sus partes con detalle. A continuación, se presenta una explicación general del funcionamiento del prototipo.



Figura 1. Subsistemas del prototipo.

2.1 Funcionamiento

En la figura 2, se muestra un diagrama de bloques que da seguimiento a la energía a través de los diferentes procesos. El diagrama es un desglose donde se observa la interrelación de los componentes de los diferentes subsistemas (FVA, CI, SI).

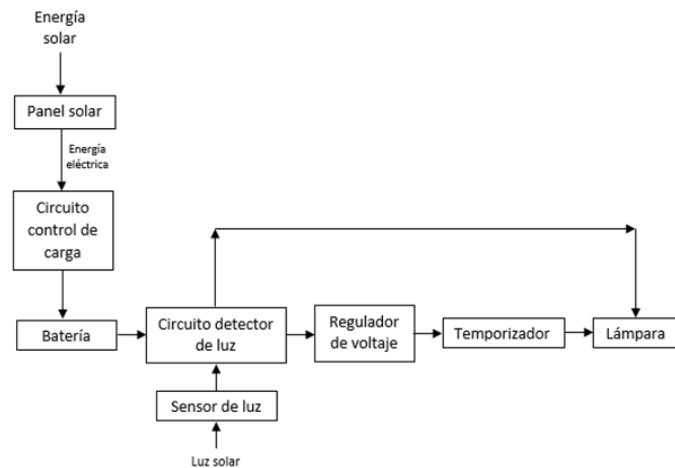


Figura 2. Funcionamiento del prototipo.

En el diagrama de la figura 2, el SFVA está representado por los bloques del panel solar, el circuito de control de carga y la batería. Se observa que la energía solar es captada y transformada por el panel solar en energía eléctrica. Posteriormente, esta energía eléctrica se almacena en una batería recargable con apoyo del control de carga. Finalmente, por medio de la batería se energiza a los circuitos del subsistema de control de iluminación (encendido y apagado de la lámpara). Por otro lado, los bloques que corresponden al CI son: sensor de luz, circuito detector de luz, regulador de voltaje y temporizador. Todos estos componentes son alimentados por la batería. Por último, el sistema de iluminación está representado por el bloque: lámpara. La lámpara está compuesta de arreglos de diodos leds, donde poco más de la mitad son de encendido fijo, y el resto son de encendido intermitente (controlado por un circuito temporizador). El circuito detector y el sensor de luz, al detectar la presencia o ausencia de iluminación natural (el día y la noche), controlan el apagado y encendido de los leds en la lámpara. Finalmente, el regulador de voltaje proporciona la tensión necesaria al circuito temporizador para el control de los leds de la lámpara que estarán en modo intermitente.

2.1.2. Subsistema fotovoltaico autónomo (SFVA)

De acuerdo con [16] los sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA) se componen de un panel solar, una batería, una carga eléctrica y un controlador de carga. En particular, el controlador de carga tiene como objetivo proteger la batería de sub-descargas y sobrecargas manteniendo un control constante en la energía entregada por el panel a la batería, así como también de la batería hacia la carga conectada.

Panel fotovoltaico

Las características del panel fotovoltaico son las siguientes: de 10 W de potencia pico con un voltaje máximo de 17.2 V, y 0.582 A. Dimensiones de 27 cm x 32 cm. La inclinación en la base de montaje es de aproximadamente 30°. De acuerdo con [17], de forma práctica en los sistemas fijos se puede utilizar la latitud como ángulo de inclinación, orientado hacia el sur.

Batería

La batería recargable de plomo sellada, también conocidas comúnmente como batería de plomo-ácido, es de 12 V y 9 Ah de corriente [18].

Controlador de carga

El controlador modelo YJSS, tiene un PWM inteligente que tiene la característica de una corriente máxima de carga y descarga de 10 A y es apto para baterías de 12 V y 24 V. La carga de la batería se lleva a cabo mediante un panel solar, el cual suministra energía a un controlador de carga para suministrar solo la tensión y corriente necesaria para preservar su vida útil. Este controlador tiene la función de cargar la batería hasta el valor de 13.4 V, debido a que es el máximo voltaje que puede recibir la batería. Cuando la batería tenga la tensión de 13.4 V en sus terminales, el controlador interrumpirá la carga de dicha batería para evitar sobrecargarla. Si se descarga a un valor de 11.4 V el controlador permitirá el flujo de corriente hacia ella para cargarla de nuevo y volver a llegar a los 13.4 V. Además, el controlador permite conectar una carga que será activada tantas horas como se programe. En este caso, todo el circuito de control que encenderá la lámpara. En la figura 3, se muestra el diagrama ilustrativo de conexión del panel solar, la batería y carga al controlador.



Figura 3. Conexión de un SFVA [19].

2.1.3 Subsistema de control de sistema de iluminación (CSI)

Se utiliza un sensor de luz conocido como LDR por sus siglas en inglés (Light Dependent Resistor) o fotorresistor, el cual es una resistencia eléctrica que varía su valor con la intensidad de la luz.

Circuito detector de luz

Este proyecto es automatizado, por tanto, integra un circuito detector de luz solar y oscuridad. Este circuito tiene la función principal de permitir la alimentación o cortar el suministro eléctrico de 12V a

la lámpara, cuando este detecta que es de noche o de día, respectivamente. De esta forma, se logra encender y apagar la lámpara que permanece apagada durante el día y encendida durante la noche. El diagrama del circuito detector de luz se muestra en la figura 4.

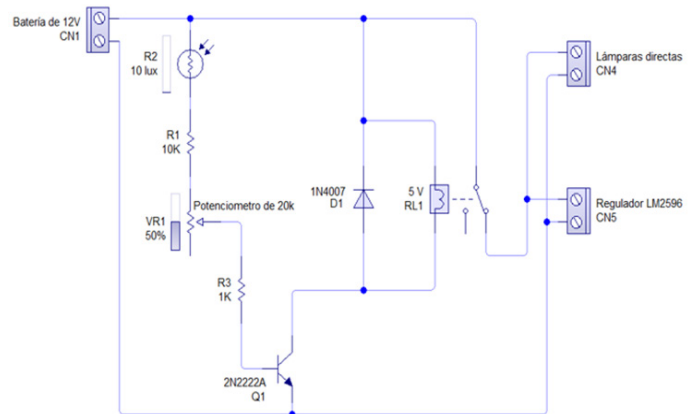


Figura 4. Diagrama del circuito detector de luz.

El funcionamiento del circuito es el siguiente: mediante el controlador de carga solar siempre se mantendrá una tensión de 12V de alimentación de la batería. El circuito (mostrado en la figura 4) cuenta con un sensor de luz, el cual es una fotorresistencia, mejor conocida como LDR. Su función es detectar la intensidad de luz que incide sobre una superficie en su exterior expuesta a la luz. El LDR que está alimentado con los 12V, se encuentra en serie con una resistencia de 10 k Ω , un potenciómetro de 20 k Ω y una resistencia de 1 k Ω que alimentan la base del transistor 2N2222A; con este componente se controla el encendido y apagado de un relevador de 5V que permitirá accionar la lámpara. Además, permite la alimentación hacia el regulador de voltaje de la siguiente etapa, donde se acciona un temporizador para los 6 leds temporizados. El potenciómetro tiene la función de controlar la corriente de activación del transistor y además de regular la detección de la intensidad de luz. Cuando es de día, la LDR detecta la luz y permite el flujo de corriente entre sus dos terminales, activando el transistor (configurado en modo de saturación). Al activarse el transistor, se permite el flujo de corriente de colector a emisor, activándose la bobina del relevador. Por tanto, se cierra el contacto NO, haciendo que

se apaguen los leds de encendido fijo de la lámpara. También se desactiva el circuito temporizador de la siguiente etapa, debido a que ambos están conectados al contacto NC. En caso contrario, cuando la LDR no detecta luz, la resistencia eléctrica entre sus terminales es muy elevada, reduciendo el flujo de corriente a un valor cercano a 0. Al no haber corriente en la base del transistor 2N2222A, éste entra en modo de corte, en consecuencia, se desactiva el relevador y el contacto NC así permanece. Esto permite el flujo de corriente hacia los leds fijos de la lámpara. También habrá energía para los circuitos de la siguiente etapa: regulador LM2596 (para activar el temporizador y, por lo tanto, los leds temporizados).

Regulador de voltaje LM2596

Es un circuito electrónico convertidor DC-DC Buck, el cual regula un voltaje alto de entrada de una fuente de corriente directa (CD) a un voltaje de salida de CD más bajo. Dentro de sus parámetros se espe-

cifica que soporta una corriente máxima de 3 A, con un rango de voltaje de entrada de 4 v- 35 v y voltaje de salida de 2 a 28 v, regulable con un potenciómetro (trimpot) multivuelta. Este circuito, tiene la función de regular el voltaje de 12V proporcionados por el relevador de encendido de los leds fijos, a un voltaje de 5V para alimentar el circuito temporizador que está conformado principalmente por un 555. Esto se hace debido a que el integrado 555 solo funciona a 5V de corriente directa (CD), por tanto, se reduce el voltaje para evitar dañarlo.

Circuito temporizador

El circuito, tiene la función de mandar altos y bajos a 6 leds de la lámpara (3 de cada lado) para que estos enciendan y apaguen provocando que los insectos cuando estén cerca pierdan coordinación de sus movimientos. Esto provoca que caigan en el agua colocada en el recipiente bajo la lámpara. El diagrama eléctrico de este circuito se muestra en la figura 5.

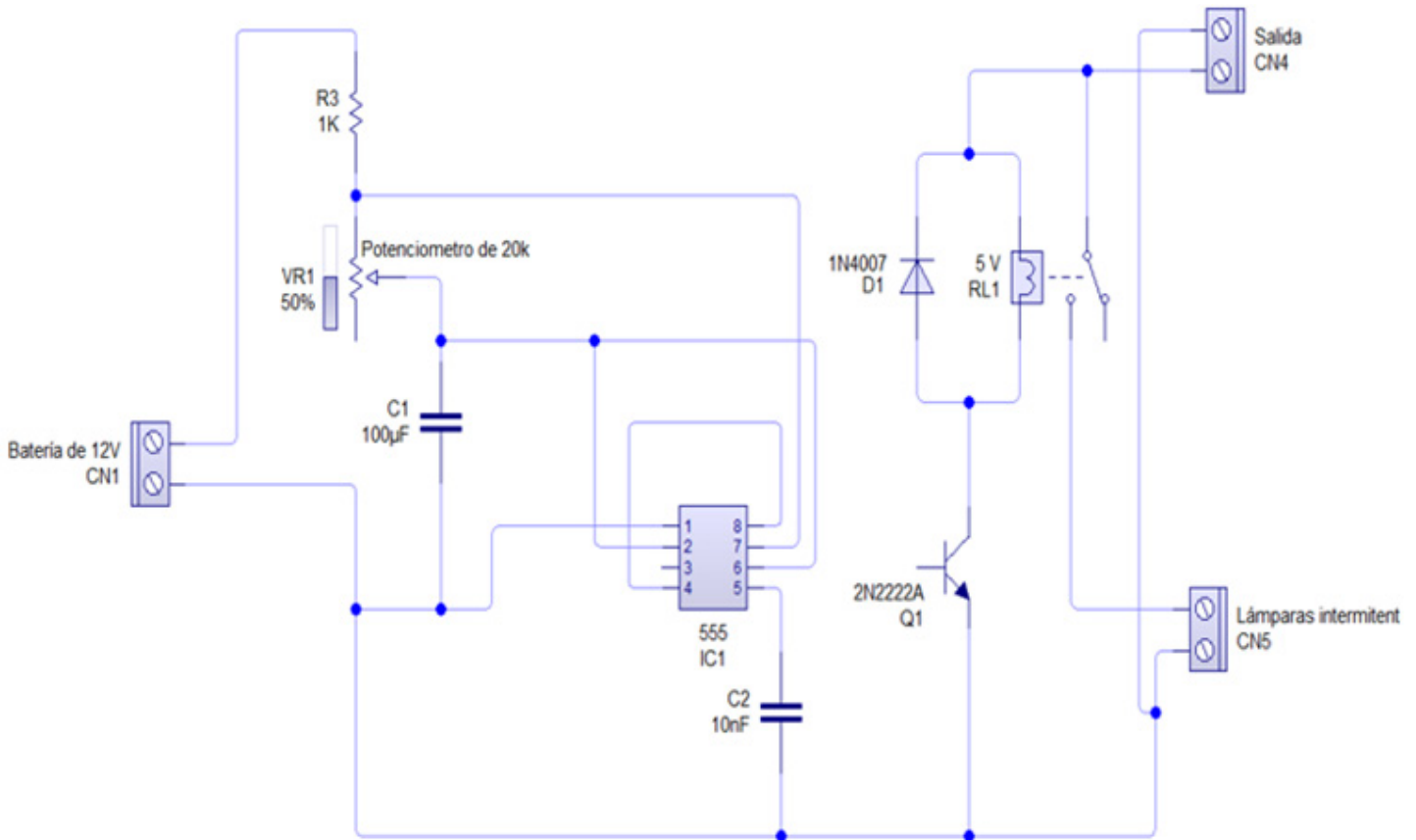


Figura 5. Diagrama del temporizador de leds intermitentes.

El funcionamiento es el siguiente: cuando el circuito detector de luz detecta la noche, se apagará el relevador permitiendo el flujo de corriente de los 12V por el contacto NC. Teniendo en consideración que el temporizador 555 funciona a 5V no es posible ser alimentado con 12V, es por ello, que antes de su alimentación está colocado el regulador LM2596 para disminuir los 12V a 5V sin pérdidas en la corriente. El temporizador cuenta con un potenciómetro en la resistencia R3. Con este componente es posible regular el periodo en estado alto y bajo de la señal de salida. La función es controlar el encendido y apagado de los leds no fijos de la lámpara, ya que estos tienen la función de encandilar a los insectos para que caigan en el recipiente con agua y jabón. De esta manera se alimenta el temporizador 555 configurado en modo astable, modo donde el temporizador genera una señal digital a su salida con un ancho de pulso regulable.

2.1.4 Subsistema de iluminación o lámpara de leds

El dispositivo que ocasiona que los insectos (artrópodos) sean atraídos, es una lámpara que se implementa con catorce leds ultrabrillantes de color azul. La conexión es en un arreglo en paralelo, cada uno cuenta con una resistencia eléctrica en serie. De los catorce leds, ocho son de encendido fijo, es decir, cuando se detecte la noche mediante el sensor, encenderán automáticamente debido al sistema de control. Por otra parte, seis de ellos son de enc

endido temporizado, para que los insectos pierdan coordinación de sus movimientos y puedan caer en el agua con jabón. El diseño del circuito de la lámpara se muestra en la figura 6.

La implantación en baquelita de este circuito se muestra en la figura 7.

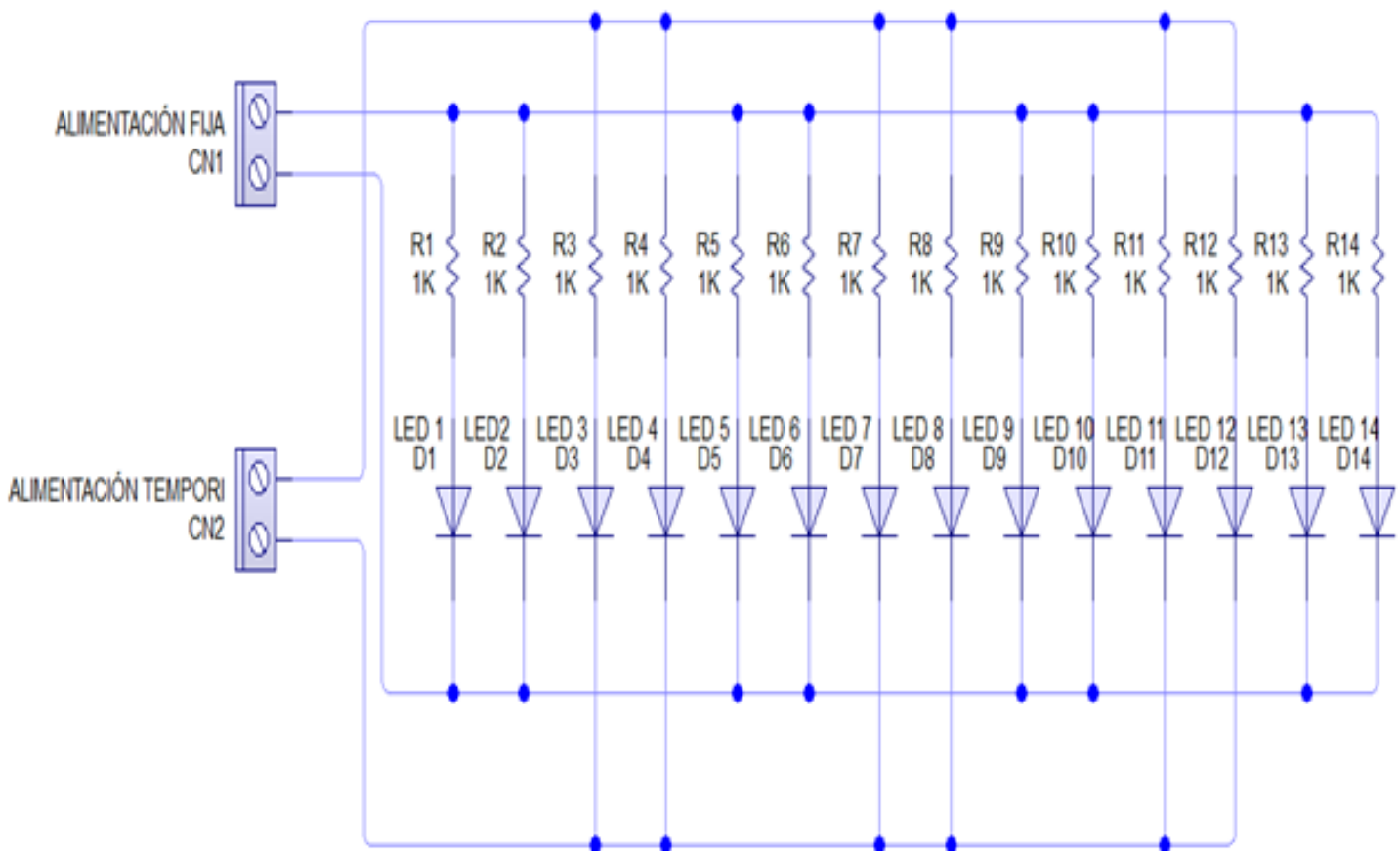


Figura 6. Circuito de la lámpara de leds.

La medida es de 3 cm x 15 cm, por ambas caras.

2.1.5 Subsistema de soporte y gabinete

Estructura de soporte

Se diseñó y construyó una estructura de metal con tubos PTR de 3 cm y de 4 cm, con una base para poder ser colocada en el suelo. En esta estructura se sujeta un gabinete donde se instalará la circuitería electrónica de control, y servirá para protegerla de la intemperie. Además, cuenta con una plataforma para sostener el panel fotovoltaico, una base para sostener la lámpara y una base para sujetar y mantener fijo el recipiente que contendrá con agua y jabón. El diseño realizado en Solidworks se muestra en la figura 8.

Gabinete

En la figura 9 se muestra el interior del gabinete, donde se observan los circuitos electrónicos y sus co-

nexiones. A continuación, se presenta la relación de cada uno de los componentes principales, y se les asocia un número como etiqueta para que sea fácilmente ubicado en la figura 9. Los elementos son: regulador de carga solar (1), batería recargable de plomo de 12V (2), circuito de control detector de luz (3), circuito regulador de voltaje de 12V a 5V (LM2596) (4), circuito temporizador de 6 leds de la lámpara (5) y el cableado de conexión de los circuitos (este último sin etiqueta).

2.2.1 Resumen de materiales utilizados.

Los materiales utilizados en el desarrollo del proyecto se presentan en la tabla 1. En la tabla 2 se tienen las herramientas empleadas.

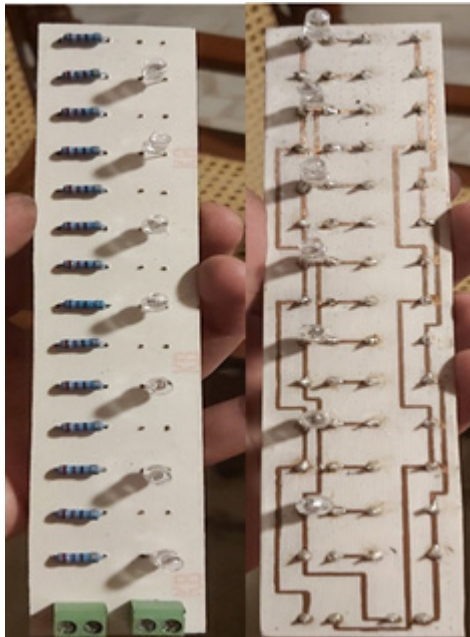


Figura 7. Arreglo de leds.

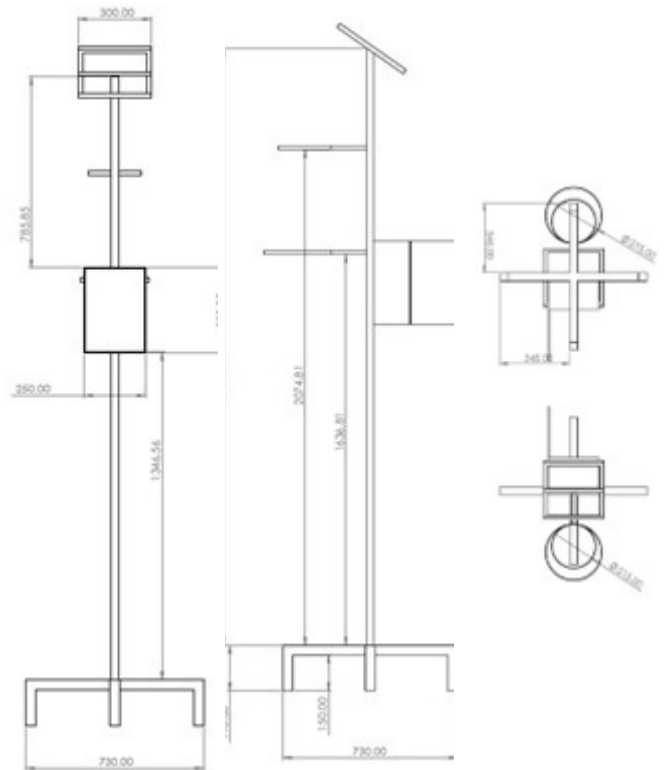


Figura 8. Diseño estructura soporte y gabinete.

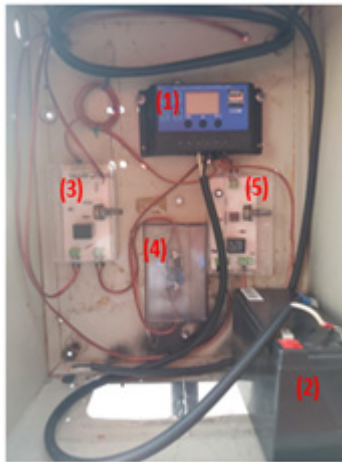


Figura 9. Interior del gabinete (componentes de control).

2.2.1 Resumen de materiales utilizados.

Los materiales utilizados en el desarrollo del proyecto se presentan en la tabla 1. En la tabla 2 se tienen las herramientas empleadas.

Tabla 2. Resultados de pruebas.

<i>Prueba de convertidor fotovoltaico</i>	<i>Prueba de controlador de carga</i>	<i>Calibración de intensidad de luz (circuito y sensor LDR)</i>	<i>Insectos atraídos y recolectados en recipiente con agua</i>
<i>Generación de voltaje y corriente confirmado</i>	<i>Corte de suministro a los 13.6 V confirmado</i>	<i>Aproximadamente 12 horas de funcionamiento continuo</i>	<i>13 atraídos / 10 en bandeja (moscos)</i>

Tabla 1. Materiales empleados en la construcción del prototipo.

<i>Material</i>	<i>Especificación</i>	<i>Material</i>	<i>Especificación</i>
<i>Batería de plomo</i>	<i>Sellada de 12 V y 9 Ah</i>	<i>Gabinete</i>	<i>1 para intemperie de 35 cm x 25 cm x 15 cm</i>
<i>Baquelita</i>	<i>1 de 3x15 cm y 2 de 5x10 cm</i>	<i>Panel fotovoltaico</i>	<i>1 de 10 W, 17.2 Vp y 0.582 A (27 cm x 32 cm)</i>
<i>Cable para intemperie</i>	<i>5 metros</i>	<i>Potenciómetro</i>	<i>2 de 20 kΩ</i>
<i>Capacitor cerámico</i>	<i>1 de 0.1 nF</i>	<i>Resistencias</i>	<i>220 Ω, 1 kΩ, 10 kΩ</i>
<i>Capacitor electrolítico</i>	<i>1 de 100 uF</i>	<i>Regulador de voltaje</i>	<i>1 LM2596</i>
<i>Controlador de carga</i>	<i>1 PWM 1210, 12/24 V a 10 A</i>	<i>Relevadores</i>	<i>2 de 5V</i>
<i>Diodos emisores de luz</i>	<i>14 de luz ultrabrillantes de color azul</i>	<i>Terminales</i>	<i>8 bloques</i>
<i>Diodos rectificadores</i>	<i>2 1N4007</i>	<i>Temporizador</i>	<i>1 (555)</i>
<i>Electrodos de soldadura</i>	<i>E6013</i>	<i>Transistores</i>	<i>2 tipo NPN 2N2222A</i>
<i>Estaño</i>	<i>3 metros</i>	<i>Tubo PTR</i>	<i>1.54 m de 3 cm y 5.92 m de 4 cm.</i>

3. RESULTADOS

La estructura terminada se muestra en la figura 10. De momento se han hecho pruebas en un ambiente de patio de casa a finales de invierno (en ese ambiente y estación no hay tanto insecto volador). La siguiente etapa es la realización de pruebas en un ambiente de cultivo agrícola.



Figura 10. Trampa prototipo terminada.

Se lleva un grado avanzado de desarrollo de construcción y de pruebas preliminares, y se pretende realizar pruebas in situ en un cultivo agrícola. Sin embargo, si realizamos una comparativa del nivel de madurez tecnológica (NMT) que CONAHCYT toma como referencia, nos encontraríamos en un nivel 2. Donde haría falta cumplir con del ID 2 referido a una

búsqueda y análisis de patentes, para pasar a niveles superiores. En la figura 11 se muestra gráficamente dichos niveles NMT.



Figura 11. Nivel de Madurez Tecnológica CONA-HCYT.

4. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos se puede discutir lo siguiente: al momento de exponer el panel fotovoltaico a la luz solar (rayos del sol incidiendo directamente en su superficie), el panel empezó a generar un voltaje y corriente. Mediante el controlador de carga se cargó la batería correctamente. Cuando la batería alcanzó 13.6 V, el controlador de carga automáticamente interrumpió el suministro de carga a la batería para evitar sobrecargarla. Mientras la estructura estuvo expuesta al sol, la lámpara no se encendió debido a que la intensidad de luz detectada por la LDR era alta. Cuando llegó la noche, se calibró el sensor mediante el potenciómetro para que encendiera la lámpara y ésta permaneció encendida durante toda la noche. Se realizó el experimento durante una noche (aproximadamente 12 horas) para revisar si el sensor detectaba la luz y la oscuridad y efectivamente los resultados fueron favorables. Además, durante esa noche que se realizó la prueba de funcionamiento, se valida que los insectos sí son atraídos con dicha luz. Fueron atraídos 13 insectos (moscos) y de los cuales 10 cayeron dentro del recipiente. Hay que destacar que el experimento se ha realizado en un ambiente en un patio de casa habitación en temporada invernal. En esta época del año en esta región no abundan los insectos voladores. Por otro lado, existe alrededor lámparas, tanto de casas como de alumbrado público, que le pueden restar efectividad a la trampa solar. La siguiente etapa de pruebas de campo será en cultivos agrícolas.

Uso de batería de plomo en lugar de otras opciones quizá más ecológicas.

La opción elegida como acumulador de energía ha sido la pila de plomo – ácido. Las razones han sido

por su disponibilidad en el mercado, el menor costo, la eficiencia aceptable y su robustez, que la hace ideal para este primer prototipo. Sin embargo, puede considerarse como parte de la evolución del proyecto el uso en un futuro de una batería con mayores prestaciones en términos ecológicos. Por otro lado, esto habría que analizarse con detalle. Baterías fabricadas a base de litio sí que pueden presentar una mayor vida útil o cantidad de ciclos de trabajo, compensándose su mayor costo. Incluso, este tipo de baterías requieren de menor mantenimiento. En cuanto al tema ecológico, se destaca que las baterías de litio no emiten gases, aunque en su fabricación, que incluye la extracción de litio, existen procesos altamente contaminantes. Además, la capacidad actual de reciclaje del litio está muy por debajo de la que tienen las pilas de plomo [21-23].

5. CONCLUSIONES

Se ha diseñado y construido una trampa sustentable para combatir los insectos voladores que actúan como plaga en los cultivos agrícolas. Esta trampa aprovecha el principio de atracción de los insectos hacia fuentes luminosas, por lo que se incorpora una lámpara de luz azul ultrabrillante con diodos led. Además, se ha diseñado un sistema de control para que se encienda por la noche y se apague durante el día. El sistema regula el encendido de los leds, de manera que el 57% se mantenga encendido de manera fija, mientras que el 43% restante se encienda de forma intermitente, lo que afecta la coordinación del vuelo de los insectos. El sistema fotovoltaico utilizado es autónomo, compuesto por un panel solar, un regulador de carga y una batería, los cuales suministran la energía necesaria para el funcionamiento de los circuitos de control y de la lámpara. Todo el conjunto se monta sobre una estructura de PTR, que incluye una base para el panel solar, una base para sostener la lámpara y una base adicional para colocar el depósito de líquido (agua jabonosa donde caerán los insectos atraídos por la luz). Se considera que el objetivo planteado al inicio del desarrollo de este prototipo ha sido alcanzado, aunque se continuará con la realización de pruebas y ajustes para mejorar su eficiencia y obtener mejores resultados. En el corto plazo, se llevarán a cabo experimentos en cultivos agrícolas, específicamente en plantaciones de sandías y maíz, para evaluar la efectividad del dispositivo. También se probarán diferentes colores de luces led, con un enfoque principal en la luz ultravioleta. A mediano plazo, se optimizará el consumo

energético de los circuitos de control, sustituyendo los relevadores electromecánicos por elementos de estado sólido (SCR), que requieren menos energía para activar o desactivar la lámpara. Además, se investigará y realizarán pruebas para determinar la altura óptima a la que debe colocarse la lámpara para maximizar la atracción de las plagas voladoras.

REFERENCIAS

- [1] FAO. “El estado mundial de la agricultura y la alimentación”, Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos. Roma, Italia, 2019.
- [2] Ley Federal de sanidad vegetal. Diario oficial de la federación (DOF), última reforma DOF 11-05-2022, 2022.
- [3] I. Zepeda-Jazo, “Manejo sustentable de plagas agrícolas en México”, Agricultura, sociedad y desarrollo vol. 15, pp. 99-108, 2018.
- [4] J. Expósito, “Evaluación de trampas de luz para el seguimiento de insectos en zonas periurbanas de Palma”, Trabajo de fin de grado, Universitat de les Illes Balears, 2022.
- [5] K. Castaño, et al. “Manejo integrado de insectos herbívoros en sistemas ganaderos sostenibles”, CIPAV-Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, Cali, Colombia, 2019.
- [6] M. Infusino, G. Brehm, C. Di Marco, S. Scalercio, “Assessing the efficiency of UV LEDs as light sources for sampling the diversity of macro-moths (Lepidoptera)”, European Journal of Entomology vol. 114, pp.25, 2017.
- [7] L. Comoglio, “¿Son las trampas de luz LED efectivas para muestrear polillas (Lepidoptera: heterocera)?” Tesis de pregrado, Universidad de los Andes, 2019.
- [8] G. Brehm, “A new LED lamp for the collection of nocturnal Lepidoptera and a spectral comparison of light-trapping lamps”. Nota lepidopterologica vol. 40, pp. 87-108, 2017.
- [9] D. S. Toapanta-Paredes, “Evaluación de trampas de LUZ-LED para captura de adulto barrenador *Neoleucinodes elegantalis* de la naranjilla *Solanum quitoense*”, Tesis de licenciatura, Universidad Central de Ecuador, Quito, 2020.
- [10] J. Castresana, L. Puhl, “Estudio comparativo de diferentes trampas de luz (LEDs) con energía solar para la captura masiva de adultos polilla del tomate *Tuta absoluta* en invernaderos de tomate de la Provincia de Entre Ríos, Argentina”, Idesia (Arica), Vol 35, pp. 87-95, 2017.
- [11] V. Adasme, “Uso de trampas con atrayentes semioquímicos más luz LED-UV para el monitoreo de la polilla del racimo de la vid (*Lobesia botrana*)” Memoria de título, Universidad de Talca, Chile. 2022.
- [12] Goldsun Lamp-5w. Goldsun Energy Science & Technology Co., Ltd- Empresa. China [online]. Disponible en <http://www.baodigoldsun.net/product/all-in-one-solar-insect-killing-lamp/> (consultado en julio de 2023)
- [13] Goldsun Lamp-8w. Goldsun Energy Science & Technology Co., Ltd- Empresa. China [online]. Disponible en <http://www.baodigoldsun.net/product/8-solar-insect-killer/> (consultado en julio de 2023)
- [14] Goldsun Lamp-15w. Goldsun Energy Science & Technology Co., Ltd- Empresa. China [online]. Disponible en <http://www.baodigoldsun.net/product/15w-solar-insect-killer/> (consultado en julio de 2023)
- [15] Lámpara india, “Noticia CNN: Este dispositivo elimina los insectos usando energía solar” [Online], Disponible en: <https://cnnespanol.cnn.com/video/dispositivo-elimina-insectos-energía-solar-portafolio-global-cnn/> (consultado en julio de 2023)
- [16] E. Luna-Paipa, M. Laguado-Serrano, S. Sepúlveda-Nora, “Controlador de carga PWM eficiente y de bajo costo para sistemas fotovoltaicos autónomos, Respuestas vol. 23, pp. 6-13, 2018.
- [17] E. Harper, “El ABC de las instalaciones eléctricas en Sistemas eólicos y fotovoltaicos”, Limusa, México, 2017.
- [18] Baterías Vica. Ficha técnica Vic 12v-9A [online], 2023. Disponible: <http://pcel.com>
- [19] LCD solar charge controller. YJSS Series Datasheet Risin energy [online], 2023. Disponible en: <http://www.risingenergy.com>

[20] Anexo 2. Guía para el diagnóstico del Nivel de Madurez Tecnológica (NMT). CONAHCYT, Gobierno de México [online], 2022. Disponible en: https://conahcyt.mx/wp-content/uploads/convocatorias/desarrollo_tecnologico_innovacion_abierta/AIT_Mexico/2022/Anexo_2_Guia_NMT.pdf (consultado en diciembre de 2024)

[21] M. Gil Ortega, “Baterías de iones de litio”, Energía y Minas, Revista Profesional, Técnica y Cultural de los Ingenieros Técnicos de Minas, no. 19, pp. 72-79, 2023.

[22] Cambio energético. Comparación de baterías de plomo-ácido y batería de litio para energía solar [online]. Disponible en:

<https://www.cambioenergetico.com/blog/comparacion-baterias-de-plomo-acido-y-bateria-de-litio-para-energia-solar/> (consultado en diciembre de 2024)

[23] A. González Arias, “Tecnologías complementarias a la energía solar (I): Baterías recargables”, Eco Solar, no. 83, pp. 14-18, 2023.