VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA LA EXTRACCIÓN DE APITOXINA (VENENO DE ABEJAS)

Diego Armando Morales Filoteo, Alberto Franco Méndez, Edgar Alvarado Méndez.
División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca
da.moralesfiloteo@ugto.mx; a.francomendez@ugto.mx; ealvarad@ugto.mx.

Resumen

Se presenta el diseño, fabricación y validación preliminar de un prototipo electrónico para la extracción de apitoxina mediante estimulación eléctrica controlada de abejas *Apis mellifera*. El sistema utiliza una rejilla conductora colocada sobre una placa recolectora de vidrio, en la cual las abejas depositan el veneno sin perder el aguijón. La etapa electrónica está basada en dos temporizadores LM555 configurados en modo astable: el primero controla los intervalos de activación y descanso, mientras que el segundo genera la frecuencia de los pulsos eléctricos aplicados al colector. La señal de salida es regulada mediante una etapa de conmutación con transistores 2N2222A y un potenciómetro para ajustar la intensidad del estímulo. Los componentes fueron integrados en una placa de circuito impreso compacta, alimentada con 12 V, con indicadores LED para verificar el funcionamiento de cada etapa. Las pruebas realizadas mediante osciloscopio mostraron una señal pulsante de aproximadamente 12 V, 90 Hz y 50 % de ciclo de trabajo. Asimismo, se observó el depósito y la cristalización de apitoxina sobre la placa recolectora, sin mortalidad observable de abejas durante las pruebas preliminares. El prototipo constituye una alternativa analógica, portátil y de bajo costo para tecnificar la recolección de apitoxina y diversificar la producción apícola.

Palabras clave: apitoxina; estimulación eléctrica; LM555; electrónica analógica; apicultura; circuito impreso; *Apis mellifera*.

Introducción

A pesar de que el veneno de abeja o Apitoxina no es tan conocido por la población en general, es ampliamente usado por sectores farmacéuticos y de salud. La apitoxina es un líquido cristalino que no tiene color. Al ser expulsado por el cuerpo de la abaja se cristaliza rápidamente. Cuando es colectado sobre un vidrio se solidifica y se convierte en polvo blanco. Se usa como analgésico, sin tantas contraindicaciones ya que no genera adicción[1]. Dentro de sus propiedades es una rica fuente de componentes farmacéuticamente activos porque dentro de su composición contiene péptidos y enzimas, lo que la ubica en la categoría de medicamento de origen natural[2]. Existen veinticuatro productos que contiene veneno de abeja, entre ellos se encuentran las cremas, linimentos, ungüentos, formas de inyección para tratar diferentes dolencias humanas, entre otras[3].

Por lo tanto, este proyecto si tiene un impacto social al extraer Apitoxina de manera segura, sin dañar a las abejas. Los apicultores de la región pueden beneficiarse con este desarrollo tecnológico, además de que los estudiantes que participen en este proyecto podrán aplicar sus conocimientos de electromagnetismo y de electrónica hacia un proyecto noble con impacto social.



Figura 1. Abeja Melífera.

Antecedentes de los proyectos e impacto de la mejora propuesta

Los antecedentes revisados muestran una evolución progresiva en los procedimientos utilizados para obtener apitoxina. Inicialmente, el veneno se obtenía mediante la picadura directa de abejas vivas, la extracción quirúrgica de la glándula venenosa o el sacrificio de los insectos. Estos procedimientos afectaban el bienestar de las abejas, reducían la población productiva de las colmenas y aumentaban la posibilidad de contaminar la muestra con restos biológicos. Sánchez Jiménez (2012) señala que algunos métodos tradicionales provocaban la muerte de las abejas debido a la pérdida del aguijón, mientras que otros utilizaban sustancias químicas para estimularlas, lo que podía disminuir su vida útil y afectar las actividades productivas de la colonia.

Como alternativa a dichos procedimientos, se desarrollaron colectores eléctricos capaces de provocar una respuesta defensiva sin que la abeja perdiera el aguijón. En estos sistemas, las abejas reciben estímulos eléctricos controlados y depositan pequeñas gotas de veneno sobre una placa de vidrio. Posteriormente, el veneno se seca, se cristaliza y se recupera mediante raspado. Este método permite obtener apitoxina con menos impurezas y sin sacrificar directamente a los insectos (Araneda Durán et al., 2011).

El desarrollo de los colectores eléctricos comenzó varias décadas atrás. Bucio-Villalobos y Martínez-Jaime (2019) indican que en 1962 se diseñó uno de los primeros dispositivos para la extracción eléctrica de apitoxina, el cual fue patentado en 1965. Los modelos posteriores conservaron el principio de estimular eléctricamente a las abejas, aunque incorporaron modificaciones en la estructura, la alimentación y los tiempos de funcionamiento. Entre estas mejoras se encuentran el uso de sistemas automatizados y, en algunos diseños, la incorporación de energía solar para sustituir las baterías.

Las investigaciones también han mostrado que el voltaje, la frecuencia, el tiempo de exposición y la periodicidad de las extracciones son variables esenciales para proteger la salud de las colonias. Araneda Durán et al. (2011) reportan que estímulos de 24 V y 50 Hz permitieron obtener cantidades elevadas de veneno, pero provocaron efectos negativos en la actividad de forrajeo y mortalidad después de la extracción. Por esta razón, los autores señalan que el voltaje no debe superar los 20 V y que un intervalo de entre 12 y 18 V resulta más adecuado para evitar daños y reducir la contaminación del producto.

La frecuencia con la cual se realiza la extracción también puede influir en el bienestar de las abejas. Araneda Durán et al. (2011) compararon colectas realizadas cada 20 y cada 30 días, sin encontrar diferencias estadísticamente significativas en el peso de las colonias, la mortalidad o la cantidad de apitoxina obtenida. Sin embargo, recomendaron realizar las extracciones cada 30 días, debido a que esta periodicidad reduce los costos de operación y causa menores molestias a las abejas.

Otros antecedentes advierten que una estimulación excesiva o demasiado frecuente puede perjudicar la productividad de la colonia. En algunos ensayos, la recolección continua de veneno se relacionó con disminuciones en la producción de miel, jalea real y aceptación de larvas. Por lo tanto, no basta con generar

una descarga eléctrica; es necesario controlar cuidadosamente la duración de los pulsos, los periodos de descanso y la frecuencia con que se utiliza el dispositivo (Araneda Durán et al., 2011).

En el estudio realizado en Irapuato, Guanajuato, Bucio-Villalobos y Martínez-Jaime (2019) utilizaron un colector automatizado que producía impulsos eléctricos de 12 V, con 10 segundos de estimulación seguidos de 10 segundos de descanso. Las colectas se efectuaron cada quince días durante 20 minutos. Los autores obtuvieron un promedio de 52.41 ± 13.83mg de apitoxina por colmena y por cosecha. En colonias con bajos niveles de infestación por *Varroa destructor*, la producción promedio aumentó a 62.48 ± 1.37mg por colmena. Estos resultados demostraron que la apitoxina puede convertirse en un producto adicional para incrementar la rentabilidad de los apiarios.

La necesidad de evitar daños en la colonia también fue evaluada por Aparna et al. (2023). Los autores estudiaron distintos tiempos de exposición al extractor eléctrico durante las temporadas de invierno, primavera y verano. Los resultados mostraron que la duración de la exposición no presentó un efecto significativo en la fecundidad de las colonias estudiadas. No obstante, se reconoce que la estimulación eléctrica activa respuestas defensivas y provoca la liberación de feromonas de alarma, por lo que un sistema eficiente debe reducir al mínimo el estrés producido en las abejas.

La estimulación eléctrica no se limita exclusivamente a las abejas melíferas. Turillazzi et al. (2022) desarrollaron un procedimiento para recolectar veneno de colonias de la avispa *Polistesdominula* mediante estimulación eléctrica. El estudio mostró que este método permitió obtener veneno con poca o ninguna perturbación de los insectos y conservar los alérgenos necesarios para su aplicación en inmunoterapia. Este antecedente confirma que la estimulación eléctrica controlada puede adaptarse a diferentes especies de himenópteros y utilizarse para obtener veneno sin recurrir a la disección o destrucción de los individuos.

La relevancia de contar con procedimientos seguros de extracción se relaciona con el potencial farmacológico de la apitoxina. El veneno de abeja contiene compuestos bioactivos como melitina, apamina, fosfolipasa A2, hialuronidasa, histamina y catecolaminas. Estos compuestos han sido estudiados por sus posibles efectos antiinflamatorios, analgésicos, antimicrobianos, antivirales, neuroprotectores, antiartríticos y anticancerígenos (Stela et al., 2024). Sin embargo, algunos de sus componentes son altamente alergénicos, por lo que la extracción, purificación y aplicación deben realizarse bajo condiciones controladas.

Mejoras incorporadas en nuestro proyecto

A partir de los antecedentes analizados, nuestro proyecto propone una mejora basada en el control independiente de las dos variables principales de la estimulación: el tiempo de funcionamiento y la frecuencia de los pulsos. Para ello se emplean dos temporizadores LM555. El primer temporizador determina los intervalos de activación y descanso, mientras que el segundo genera los pulsos eléctricos aplicados a la rejilla recolectora.

Esta configuración representa una mejora frente a sistemas que aplican estimulación continua o que dependen de un solo ajuste para controlar todo el proceso. La separación de funciones permite establecer periodos de estimulación y reposo, reduciendo la exposición acumulada de las abejas a la corriente eléctrica. Esta decisión se relaciona con los resultados de Araneda Durán et al. (2011), quienes señalaron que la intensidad, la duración y la frecuencia de las extracciones pueden afectar el comportamiento y la productividad de las colonias.

El prototipo opera con una alimentación aproximada de 12 V, valor situado dentro del intervalo recomendado en los antecedentes y empleado también por Bucio-Villalobos y Martínez-Jaime (2019). Trabajar con este nivel de tensión permite generar la respuesta defensiva necesaria sin utilizar voltajes elevados que puedan ocasionar daño, mortalidad o alteraciones en la actividad de forrajeo.

Otra mejora importante es la generación de una señal intermitente. El circuito no mantiene una descarga permanente, sino que produce grupos de pulsos separados por periodos de descanso. Este comportamiento permite limitar el tiempo durante el cual las abejas permanecen expuestas al estímulo,

siguiendo el principio utilizado en otros colectores que alternan periodos activos e inactivos (Bucio-Villalobos & Martínez-Jaime, 2019).

El dispositivo también incorpora un sistema de regulación de la intensidad de salida, transistores para controlar la corriente aplicada a la rejilla e indicadores LED para comprobar el funcionamiento de las etapas de temporización y frecuencia. Estos elementos facilitan la supervisión del dispositivo y permiten realizar ajustes durante las pruebas experimentales.

A diferencia del dispositivo desarrollado por Sánchez Jiménez (2012), basado en programación y control digital, nuestro prototipo utiliza una arquitectura analógica con componentes comunes. Esta simplificación reduce el número de elementos especializados, facilita la reparación y disminuye el costo de fabricación. Aunque un sistema digital puede ofrecer una mayor variedad de configuraciones, la solución basada en LM555 resulta adecuada cuando se busca un dispositivo económico, funcional y accesible para pequeños productores.

La integración de los componentes en una placa de circuito impreso también mejora la portabilidad y confiabilidad del sistema. La PCB reduce el cableado externo, disminuye el riesgo de conexiones incorrectas y permite reunir las etapas de alimentación, temporización, generación de pulsos, señalización y salida en una sola tarjeta compacta.

Impacto del cambio generado

Impacto tecnológico

El principal cambio tecnológico consiste en transformar un procedimiento de estimulación poco controlado en un sistema electrónico reproducible. La utilización de dos temporizadores permite controlar de manera independiente el tiempo de activación y la frecuencia de la señal. Esto facilita mantener condiciones similares entre diferentes sesiones de extracción y proporciona una base para establecer protocolos experimentales.

El empleo de una PCB compacta representa otro avance, debido a que convierte un montaje experimental en una solución más ordenada, portátil y apropiada para pruebas de campo. Además, la arquitectura analógica evita depender de software, programación o equipos digitales especializados.

Impacto en el bienestar de las abejas

El cambio más importante respecto de los métodos tradicionales es la posibilidad de obtener la apitoxina sin provocar la pérdida del aguijón ni la muerte inmediata de las abejas. En los procedimientos antiguos, una cantidad considerable de insectos podía morir o reducir su vida productiva como resultado de la extracción (Sánchez Jiménez, 2012).

En nuestro proyecto, los pulsos eléctricos se aplican de manera intermitente y a un voltaje cercano a 12 V. La inclusión de intervalos de descanso busca disminuir el estrés y evitar una exposición continua. Durante las pruebas preliminares se observó el depósito y la cristalización de apitoxina sobre la placa recolectora sin mortalidad observable de las abejas.

Sin embargo, para comprobar definitivamente el impacto sobre su bienestar será necesario realizar estudios con un número mayor de colmenas y evaluar variables como mortalidad, actividad de forrajeo, producción de miel, área de cría y comportamiento antes y después de la estimulación.

Impacto económico

La apitoxina puede representar una fuente adicional de ingresos para los productores apícolas. Bucio-Villalobos y Martínez-Jaime (2019) demostraron que las condiciones apícolas de Irapuato presentan potencial para su producción y que este bioactivo puede incrementar la rentabilidad de la explotación.

Nuestro proyecto contribuye a este impacto mediante el uso de componentes electrónicos comerciales y de bajo costo. La ausencia de microcontroladores, pantallas o módulos digitales complejos disminuye la inversión inicial y facilita la sustitución de piezas. Por ello, el dispositivo puede convertirse en una alternativa accesible para pequeños y medianos apicultores.

Impacto productivo

La regulación de los parámetros eléctricos permite estandarizar las sesiones de extracción. Al controlar el voltaje, la frecuencia, el ciclo de trabajo y los periodos de activación, es posible comparar los resultados obtenidos entre diferentes pruebas.

La utilización de una placa de vidrio también permite recuperar la apitoxina en forma cristalizada, evitando algunos contaminantes asociados con la extracción quirúrgica o el sacrificio de las abejas. No obstante, la pureza y composición del producto deberán verificarse mediante análisis físicos y químicos.

Impacto científico y farmacológico

La disponibilidad de un método económico y no letal de extracción puede facilitar investigaciones posteriores sobre la composición y las aplicaciones de la apitoxina. Su contenido de péptidos, enzimas y aminas biogénicas ha despertado interés por sus posibles propiedades terapéuticas (Stela et al., 2024).

Asimismo, los procedimientos de estimulación eléctrica pueden utilizarse para obtener venenos destinados a estudios de alergia e inmunoterapia, como lo demostraron Turillazzi et al. (2022) con *Polistesdominula*. Por lo tanto, el proyecto no solo tiene una aplicación productiva, sino también potencial para apoyar futuras investigaciones biomédicas y farmacológicas.

Síntesis de la mejora

El proyecto no introduce por primera vez el principio de extracción mediante estimulación eléctrica, ya que este procedimiento ha sido estudiado y aplicado anteriormente. Su principal aportación consiste en simplificar e integrar el control del proceso mediante dos temporizadores LM555.

En comparación con los antecedentes, la propuesta presenta las siguientes mejoras:

1. Control independiente del tiempo de funcionamiento y de la frecuencia de estimulación.
2. Aplicación de pulsos eléctricos intermitentes con periodos de descanso.
3. Operación con una alimentación cercana a 12 V.
4. Regulación de la intensidad aplicada a la rejilla.
5. Integración del sistema en una PCB compacta y portátil.
6. Reducción de la complejidad y del costo de fabricación.
7. Recolección de apitoxina sin mortalidad observable durante las pruebas preliminares.

De esta manera, el cambio generado consiste en pasar de procedimientos potencialmente dañinos, costosos o complejos a una alternativa analógica, regulable, compacta y accesible. No obstante, la comparación definitiva con otros dispositivos deberá complementarse mediante pruebas controladas que evalúen la cantidad y calidad de la apitoxina obtenida, así como los efectos a largo plazo sobre la salud y productividad de las colonias. En la Figura 2 se muestra el primer prototipo del colector de apitoxina.

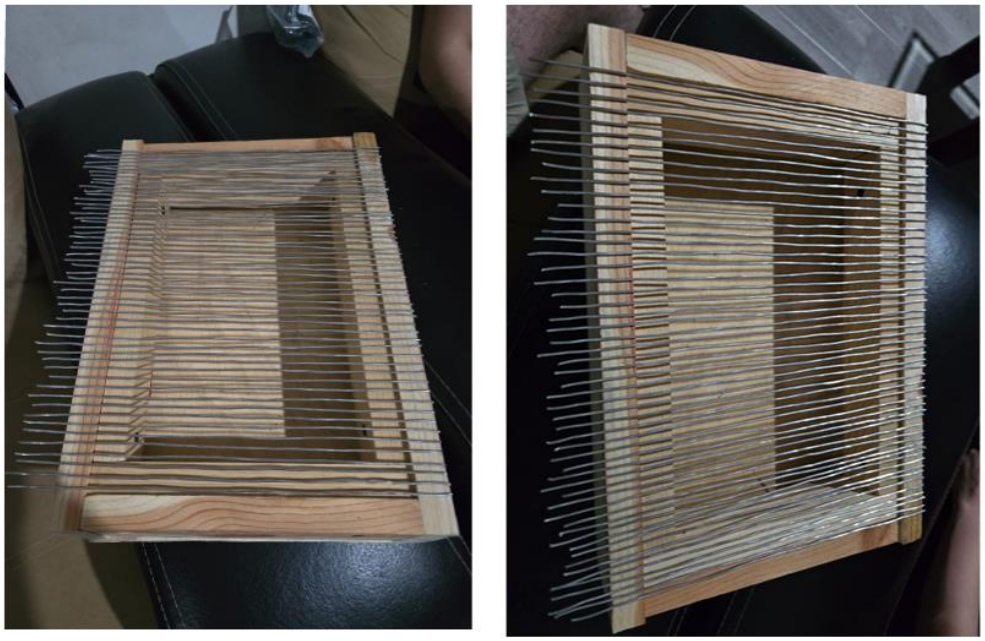


Figura 2. Primer prototipo de Colector de Apitoxina.

Diseño y funcionamiento del circuito electrónico

El sistema electrónico desarrollado emplea dos temporizadores LM555 configurados como osciladores estables, como se muestra en la Figura 3. Ambos temporizadores cumplen funciones distintas dentro del proceso de estimulación eléctrica. El primer LM555, U1, se utiliza para establecer los intervalos de activación y reposo del dispositivo, mientras que el segundo, U2, genera el tren de pulsos aplicado a la rejilla recolectora.

La etapa de control temporal está formada por las resistencias $R_1 = 3.3$ kΩ, $R_2 = 27$ kΩy el capacitor $C_1 = 100\ \mu$F. Estos componentes determinan la carga y descarga periódica del capacitor conectado a los terminales de disparo y umbral del primer temporizador. De acuerdo con las ecuaciones del LM555 en configuración astable, el circuito produce aproximadamente 2.10 s en nivel alto y 1.87 s en nivel bajo, con un periodo cercano a 3.97 s. Esta señal de baja frecuencia se utiliza para controlar la habilitación del segundo temporizador.

La salida de U1 se conecta a la base del transistor Q1 mediante una resistencia de 1 kΩ. Q1 funciona como un interruptor inversor que actúa sobre el terminal RESET de U2. Cuando Q1 conduce, el terminal RESET es llevado a tierra y el segundo temporizador queda deshabilitado. Cuando Q1 se apaga, la resistencia R_5eleva el terminal RESET a 12 V, permitiendo que U2 produzca la señal de estimulación. Este mecanismo genera periodos alternados de excitación y descanso, evitando la aplicación continua del estímulo sobre las abejas.

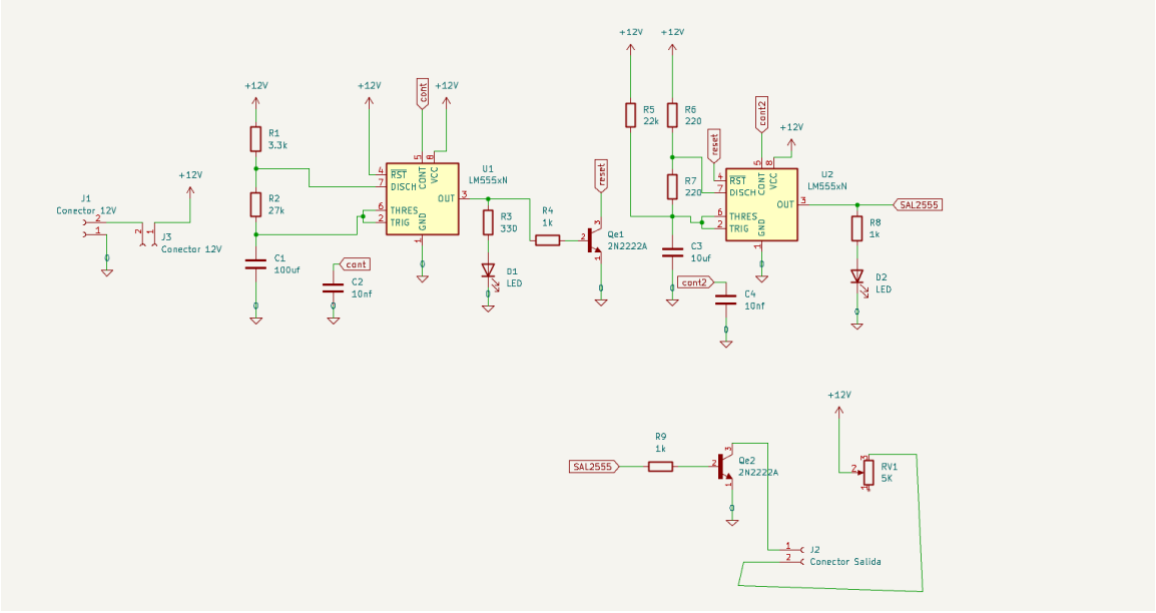


Figura 3. Diagrama esquemático del circuito

El segundo temporizador está configurado como generador de frecuencia mediante R_6, R_7y C_3. Su salida controla al transistor Q2, también de tipo 2N2222A, el cual trabaja como etapa de conmutación para la rejilla recolectora. Cuando la salida de U2 es alta, Q2 conduce y permite la circulación de corriente a través de la carga; cuando la salida es baja, el transistor interrumpe la corriente. De esta manera se obtienen pulsos eléctricos periódicos sobre el colector.

El potenciómetro RV1 permite modificar la intensidad de la corriente aplicada, adaptando el nivel de estimulación a las condiciones experimentales. Asimismo, los LED D1 y D2 funcionan como indicadores visuales del estado de las etapas de temporización y generación de frecuencia.

La combinación de ambos temporizadores produce una señal modulada por intervalos. U1 determina cuánto tiempo se aplica o se suspende el estímulo, mientras que U2 establece la frecuencia de los pulsos durante el periodo activo. Esta arquitectura permite controlar la exposición de las abejas y generar un estímulo eléctrico intermitente orientado a provocar la liberación de apitoxina sobre la placa recolectora.

Etapa de alimentación

La alimentación del circuito se realiza mediante los conectores **J1 y J3**, a los cuales se conecta una fuente de corriente continua de **12 V**.Los 12 V alimentan:

- Los temporizadores U1 y U2.
- Las resistencias de temporización.
- Los transistores de conmutación.
- Los indicadores LED.
- La etapa de salida conectada al colector de apitoxina.

El terminal negativo de la fuente se conecta a la tierra común del circuito.Aunque el LM555 puede trabajar con 12 V, es recomendable agregar cerca de cada temporizador un capacitor de desacoplamiento:

$$C_D = 100 \text{ nF}$$

conectado entre los terminales de alimentación y tierra. También puede colocarse un capacitor electrolítico de entre 10 y 100 µF en la entrada general para disminuir variaciones producidas por la conmutación de la carga.

Primer temporizador LM555: control del tiempo

El circuito integrado **U1** funciona como un oscilador de baja frecuencia encargado de determinar los periodos durante los cuales se habilita o deshabilita la estimulación eléctrica.Sus componentes principales son:

$$R_1 = 3.3\ \text{k}\Omega$$
$$R_2 = 27\ \text{k}\Omega$$
$$C_1 = 100\ \mu\text{F}$$

Los terminales 2 y 6 del LM555, correspondientes a **TRIG** y **THRES**, se encuentran conectados al capacitor C_1. El terminal 7, correspondiente a **DISCH**, se conecta entre las resistencias R_1y R_2.Esta es la configuración característica de un LM555 en modo astable.

Funcionamiento de carga y descarga

Cuando el transistor interno de descarga del LM555 está apagado, el capacitor C_1se carga por medio de R_1y R_2. El voltaje del capacitor aumenta desde aproximadamente:

$$\frac{1}{3}V_{CC}$$

hasta:

$$\frac{2}{3}V_{CC}$$

Al llegar a $\frac{2}{3}V_{CC}$, el comparador interno cambia el estado de la salida y activa el transistor de descarga conectado al terminal 7.En ese momento, C_1se descarga únicamente a través de R_2. Cuando su voltaje disminuye hasta $\frac{1}{3}V_{CC}$, el circuito vuelve a cambiar de estado y comienza un nuevo ciclo.

Tiempo en estado alto

El tiempo durante el cual la salida permanece en nivel alto puede estimarse mediante:

$$t_{\text{alto}} = 0.693(R_1 + R_2)C_1$$

Sustituyendo los valores del esquema:

$$t_{\text{alto}} = 0.693(3.3\ \text{k}\Omega + 27\ \text{k}\Omega)(100\ \mu\text{F})$$
$$t_{\text{alto}} \approx 2.10\ \text{s}$$

Tiempo en estado bajo

El tiempo en nivel bajo está determinado por:

$$t_{\text{bajo}} = 0.693 R_2 C_1$$
$$t_{\text{bajo}} = 0.693(27\,\text{k}\Omega)(100\,\mu\text{F})$$
$$t_{\text{bajo}} \approx 1.87\ \text{s}$$

Por tanto, el periodo completo es:

$$T = t_{\text{alto}} + t_{\text{bajo}}$$
$$T \approx 2.10 + 1.87$$
$$T \approx 3.97\ \text{s}$$

La frecuencia del primer oscilador es aproximadamente:

$$f_1 = \frac{1}{T}$$
$$f_1 \approx 0.252\ \text{Hz}$$

Esto significa que el primer temporizador cambia de estado aproximadamente una vez cada 2 segundos y completa un ciclo cada 4 segundos.

Cuando la salida de U1 es alta

1. Circula corriente hacia la base de Q1.
2. Q1 entra en saturación.
3. Su colector se aproxima a 0 V.
4. El terminal RESET de U2 queda en nivel bajo.
5. El segundo LM555 queda deshabilitado.
6. La estimulación eléctrica se interrumpe.

Cuando la salida de U1 es baja

1. Q1 deja de conducir.
2. La resistencia R_5 eleva el terminal RESET a 12 V.
3. U2 queda habilitado.
4. El segundo temporizador produce los pulsos de estimulación.

Por esta razón, la habilitación de U2 es inversa respecto a la salida de U1.Con los valores mostrados, U2 estaría habilitado durante aproximadamente:

$$t_{\text{estimulacion}} \approx t_{\text{bajo de U1}}$$
$$t_{\text{estimulacion}} \approx 1.87\ \text{s}$$

y deshabilitado durante aproximadamente:

$$t_{\text{pausa}} \approx t_{\text{alto de U1}}$$

$$t_{\text{pausa}} \approx 2.10 \text{ s}$$

De esta manera se evita aplicar una señal continua durante todo el tiempo, reduciendo la exposición de las abejas al estímulo eléctrico.

Segundo temporizador LM555: generación de frecuencia

El segundo temporizador, **U2**, genera los pulsos eléctricos rápidos que posteriormente son aplicados a la placa recolectora.Los componentes que determinan su frecuencia son:

$$R_6 = 220\ \Omega$$
$$R_7 = 220\ \Omega$$
$$C_3 = 10\ \mu\text{F}$$

Al igual que U1, U2 está conectado en configuración astable.Durante la carga de C_3, la corriente circula a través de R_6y R_7. Durante la descarga, la corriente circula principalmente por R_7.La frecuencia teórica se calcula mediante:

$$f_2 = \frac{1.44}{(R_6 + 2R_7)C_3}$$

Sustituyendo los valores mostrados en el diagrama:

$$f_2 = \frac{1.44}{\big(220 + 2(220)\big)(10\ \mu\text{F})}$$
$$f_2 = \frac{1.44}{660(10 \times 10^{-6})}$$
$$\boxed{f_2 \approx 218 \text{ Hz}}$$

Relación con la extracción de apitoxina

La rejilla conectada a J2 se coloca sobre una placa recolectora. Al entrar en contacto con los conductores, la abeja recibe un estímulo eléctrico controlado que provoca la extensión del aguijón y la liberación de una pequeña cantidad de veneno.

La apitoxina se deposita sobre una superficie, normalmente de vidrio, donde posteriormente se seca o cristaliza para su recolección.

El diseño busca que:

- La tensión sea suficiente para estimular a la abeja.
- La corriente se mantenga limitada.
- La señal se aplique durante intervalos controlados.
- Existan periodos de descanso.
- El sistema no provoque daño permanente ni mortalidad.

La finalidad concuerda con la conclusión de la presentación, donde el prototipo se plantea como una alternativa analógica, accesible y de bajo costo para la extracción segura de apitoxina.

Diseño de placa de circuito impreso (PCB)

La PCB integra en una sola tarjeta las etapas de temporización y generación de pulsos del sistema extractor de apitoxina, como se muestra en la Figura 4. En la placa se observan los dos circuitos integrados LM555, las resistencias y capacitores encargados de definir el tiempo de activación y la frecuencia, así como dos LED indicadores del estado de funcionamiento. También incorpora borneras de conexión para la alimentación de 12 V y para la salida hacia la rejilla recolectora. La distribución compacta de los componentes facilita el montaje, reduce el cableado externo y permite implementar el prototipo de forma portátil y ordenada.

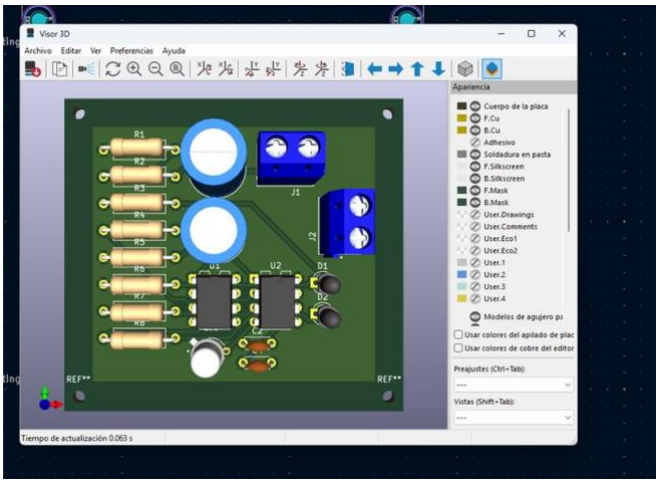




Figura 4. Diseño de placa de circuito impreso implementado
Figura 4. Circuito impreso soldado

Resultados

La prueba experimental confirmó el funcionamiento del prototipo electrónico. En el osciloscopio se observó una señal pulsante agrupada en intervalos de activación y descanso, comportamiento producido por la combinación de los dos temporizadores LM555: uno controla el tiempo de operación y el otro genera la frecuencia de estimulación, como se muestra en la Figura 5.

Durante la prueba, la fuente registró aproximadamente **12.03 V**, una corriente de **0.097 A** y un consumo cercano a **1.17 W**. La señal presentó una amplitud aproximada de **12.5 V pico a pico**, suficiente para accionar la etapa de salida conectada a la rejilla recolectora.

Estos resultados demuestran que el circuito genera de manera estable los pulsos eléctricos requeridos y que la PCB implementada funciona correctamente como sistema de control para la estimulación de abejas durante la recolección de apitoxina.

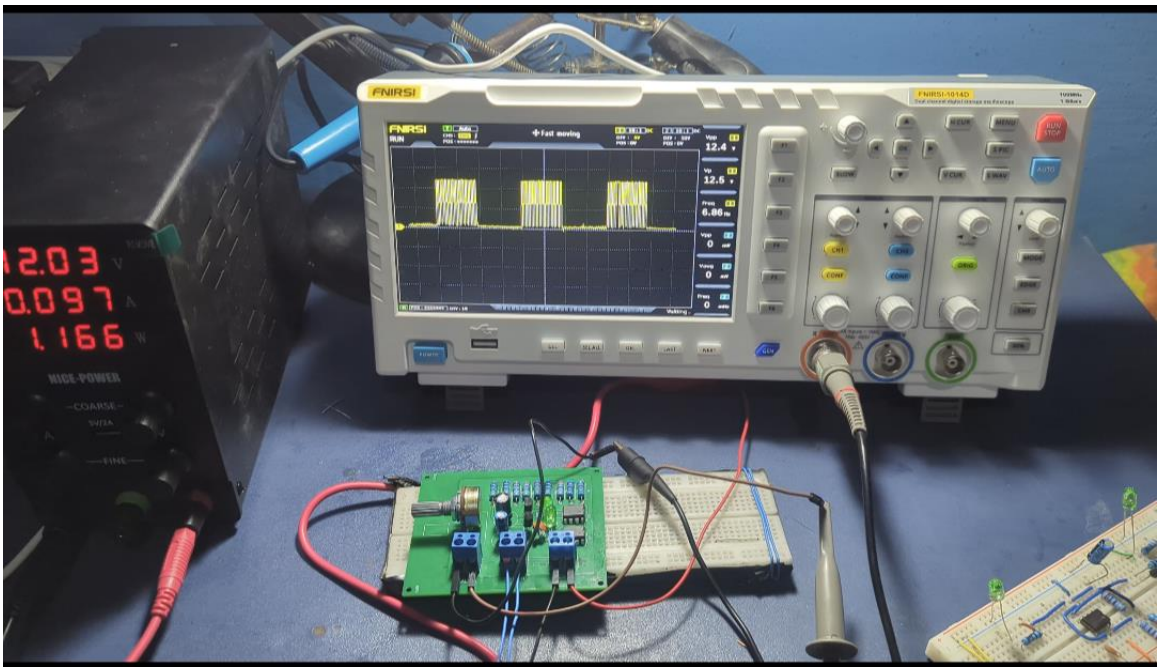


Figura 5. Pruebas de activación y descanso de la señal producida por los temporizadores LM555.

Conclusiones

Presentamos el desarrollo electrónico de un extractor de apitoxina con mejoras en el circuito electrónico. Las principales contribuciones son:

1. El prototipo basado en dos temporizadores LM555 permitió generar una señal pulsante con intervalos de activación y descanso, adecuada para controlar la estimulación eléctrica de las abejas.
2. Las pruebas experimentales confirmaron el funcionamiento estable del circuito, con una alimentación cercana a 12 V, bajo consumo de potencia y una señal de salida observable en el osciloscopio.
3. La integración de los componentes en una PCB permitió obtener un sistema compacto, ordenado, portátil y de fácil conexión con la rejilla recolectora de apitoxina.
4. El proyecto demuestra que es posible desarrollar una alternativa analógica, económica y funcional para la extracción de apitoxina, con potencial de aplicación en pequeños y medianos productores apícolas.

Referencias

Araneda-Durán, X., Leichtle-Cifuentes, Y., & Morales-Ulloa, D. (2011). Evaluación de dos frecuencias de colecta de apitoxina extraída de colmenas de Apis Mellifera L. durante la época estival en la Región de la Araucanía. *Idesia*, *29*(2), 145–150.

Bucio-Villalobos, C. M., & Martínez-Jaime, O. A. (2019). Extracción de apitoxina con un colector eléctrico en Irapuato, Guanajuato, México. *Agronomía Universitaria*, *30*(2), 459–467.

Aparna, N., Yadav, S., Kalkal, D., Bhall, R., & Saini, R. (2023). Effect of electrical bee venom extraction on fecundity of ***Apis mellifera*** L. colony. *The PharmaInnovationJournal*, *12*(1), 1259–1262.

Sánchez Jiménez, J. S. (2012). *Dispositivo extractor de apitoxina* [Trabajo de grado de tecnología, Corporación Universitaria Minuto de Dios].

Stela, M., Cichon, N., Spławska, A., Szyposzynska, M., & Bijak, M. (2024). Therapeutic potential and mechanisms of bee venom therapy: A comprehensive review of apitoxin applications and safety enhancement strategies. *Pharmaceuticals, 17*(9), 1211. https://doi.org/10.3390/ph17091211

Turillazzi, F., Pieraccini, G., Turillazzi, S., Orsi Battaglini, N., & Severino, M. (2022). Venom collection by electrical stimulation in the invasive species *Polistes dominula* reared using a vespiculture regime. *Molecules, 27*(24), 8821. https://doi.org/10.3390/molecules27248821