

**Diseño de un colector de apitoxina mediante un sistema de electroestimulación para  
maximizar la producción y el bienestar de las abejas**

Elian Camilo Angarita Sanguino

Asesor

Jesús Emiro Vega

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnologías e Ingenierías ECBTI

Ingeniería Electrónica

2025

## **Agradecimientos**

Quiero dedicar un sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible este proyecto:

A mi director de proyecto, Jesús Emiro Vega, cuya orientación experta, apoyo y asesoramiento constante fueron fundamentales en cada etapa de este trabajo. Al profesor Juan Carlos Luna, por su generosidad al permitirnos acceder a su vasto conocimiento y a los espacios de estudio sobre apicultura, lo cual fue esencial para nuestra investigación.

A mi familia, por su amor incondicional, paciencia y apoyo constante. Su respaldo ha sido mi mayor fortaleza. Y a todos los demás docentes, familiares y amigos que brindaron su ayuda y aliento en este camino. Su contribución ha sido invaluable y ha dejado una huella indeleble en este proyecto.

¡Mi más sincero agradecimiento a todos!

## Resumen

Este proyecto de grado se centra en el diseño de un colector de apitoxina mediante un sistema de electroestimulación, con el objetivo de entregar una alta producción de veneno de abeja al tiempo que se garantiza una baja morbilidad. La investigación se enfoca en desarrollar un diseño teórico robusto que permita ajustar parámetros como el voltaje y la corriente suministrada, optimizando la electroestimulación para mejorar la eficiencia del proceso de recolección sin comprometer la vida de las abejas.

El diseño propuesto aborda los desafíos actuales en la apicultura relacionados con la eficiencia y el costo de los dispositivos de recolección, buscando ofrecer una solución más accesible y económicamente viable para pequeños y medianos apicultores. A través de simulaciones y cálculos teóricos detallados, el proyecto busca validar el diseño sin necesidad de construcción física o pruebas de campo, centrándose en la creación de esquemas de circuitos y el diseño de un panel de colección mediante herramientas de simulación.

La metodología adoptada abarcó el análisis de requerimientos, la revisión de investigaciones precedentes, el desarrollo de esquemas circuitales y simulaciones para corroborar el diseño teórico. Este enfoque no solo optimiza los parámetros de recolección, sino que también forja un diseño adaptable a las tecnologías actuales, culminando en un producto compacto, estable y de elevado valor para el sector apícola.

**Palabras clave:** Apitoxina, Colector De Apitoxina, Control De Voltaje, Electroestimulación, Apicultura Sostenible.

## Abstract

This thesis project focuses on the design of an apitoxin collector utilizing an electro-stimulation system, aiming to achieve high bee venom production while ensuring low morbidity. The research is centered on developing a robust theoretical design that allows for the adjustment of parameters such as voltage and current, optimizing electro-stimulation to enhance the collection process's efficiency without compromising bee health.

The proposed design addresses current challenges in apiculture related to the efficiency and cost of existing collection devices, aiming to provide a more accessible and economically viable solution for small and medium-sized beekeepers. Through detailed simulations and theoretical calculations, the project seeks to validate the design without the need for physical construction or field testing, focusing instead on creating circuit schematics and panel design using simulation tools.

The project's methodology included requirement analysis, prior research, circuit schematic development, and simulations to validate the theoretical design. This approach not only seeks to optimize collection parameters but also aims to create a design that adapts to current technologies, allowing for a compact and stable product of great value to the apiculture market.

**Keywords:** Apitoxin, Apitoxin Collector, Voltage Control, Electro-Stimulation, Sustainable Beekeeping.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	11
Justificación .....	12
Objetivos.....	13
Objetivo General.....	13
Objetivos Específicos.....	13
Planteamiento del Problema .....	14
Alcance .....	15
Población Objetivo.....	16
Marco Teórico.....	17
Apitoxina.....	17
Apiterapia .....	18
Tipos de especies de abejas en la región.....	19
Comportamiento de las Abejas Apis Mellifera.....	20
Arquitectura del Dispositivo .....	21
Métodos de Recolección de Apitoxina .....	21
Módulo de Control .....	23
Metodología .....	25
Enfoque de Diseño .....	25
Fases del Proyecto.....	25
Planificación .....	27
Desarrollo y Resultados .....	29
Fase 1. Especificación y Análisis de Requerimientos.....	29

Fase 2. Diseño Conceptual y Electrónico.....	31
Fase 3. Diseño Mecánico y de Firmware .....	47
Fase 4. Verificación del Diseño y Documentación.....	54
Validación de Resultados y Análisis Comparativo .....	55
Análisis Comparativo con Dispositivos Comerciales .....	55
Estimación de Costos del Prototipo .....	57
Conclusiones .....	59
Recomendaciones y Trabajos Futuros.....	60
Referencias Bibliográficas .....	62

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Composición y Efectos de los Componentes de la Apitoxina</i> .....	18
<b>Tabla 2</b> <i>Parámetros de Electroestimulación para la Recolección de Apitoxina</i> .....	23
<b>Tabla 3</b> <i>Planificación del Proyecto - Diagrama de Gantt</i> .....	27
<b>Tabla 4</b> <i>Especificaciones Técnicas del Arduino Nano</i> .....	32
<b>Tabla 5</b> <i>Distribución de Pines Digitales del Arduino Nano</i> .....	46
<b>Tabla 6</b> <i>Distribución de Pines Analógicos del Arduino Nano</i> .....	47
<b>Tabla 7</b> <i>Análisis Comparativo de Colectores de Apitoxina</i> .....	55
<b>Tabla 8</b> <i>Estimación de Costos de Componentes</i> .....	57

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Esquema Gráfico de Conexiones del Colector</i> .....	34
<b>Figura 2</b> <i>Esquema Gráfico de Conexiones de la Etapa de Control</i> .....	35
<b>Figura 3</b> <i>Placa de Desarrollo Arduino Nano</i> .....	35
<b>Figura 4</b> <i>Componente de Tipo Pulsador</i> .....	36
<b>Figura 5</b> <i>Diodos Emisores de Luz (LEDs)</i> .....	36
<b>Figura 6</b> <i>Esquema Gráfico de Conexiones de la Etapa de Alimentación</i> .....	37
<b>Figura 7</b> <i>Baterías de Ion de Litio Formato 18650</i> .....	38
<b>Figura 8</b> <i>Módulo de Carga DDTCCRUB 2S 4A</i> .....	38
<b>Figura 9</b> <i>Módulo Balanceador de Carga HX-2S-D20</i> .....	39
<b>Figura 10</b> <i>Módulo Regulador de Voltaje LM2596</i> .....	39
<b>Figura 11</b> <i>Esquema Gráfico de Conexiones de la Etapa de Elevación de Voltaje</i> .....	40
<b>Figura 12</b> <i>Módulo Elevador de Voltaje XL6009</i> .....	41
<b>Figura 13</b> <i>Potenciómetro de Precisión Multivuelta</i> .....	41
<b>Figura 14</b> <i>Esquema Gráfico de Conexiones de la Etapa de Conmutación</i> .....	42
<b>Figura 15</b> <i>Relé</i> .....	43
<b>Figura 16</b> <i>Optoacoplador</i> .....	43
<b>Figura 17</b> <i>Esquema Gráfico de Conexiones de la Etapa de Visualización de Parámetros</i> .....	44
<b>Figura 18</b> <i>Pantalla LCD 1602 + I2C</i> .....	45
<b>Figura 19</b> <i>Voltímetro Digital LED</i> .....	45

<b>Figura 20</b> <i>Vista Principal del Diseño 3D de la Pieza Inferior del Bloque de Colecta .....</i>	48
<b>Figura 21</b> <i>Vistas Isométrica y Lateral del Diseño 3D de Pieza Inferior del Bloque.....</i>	49
<b>Figura 22</b> <i>Vista Principal del Diseño 3D de la Pieza Superior del Bloque de Colecta.....</i>	50
<b>Figura 23</b> <i>Vistas Isométrica y Lateral del Diseño 3D de Pieza Superior del Bloque .....</i>	51
<b>Figura 24</b> <i>Vista Principal del Diseño 3D del Bloque de Colecta Ensamblado.....</i>	52

## **Lista de Apéndices**

**Apéndice A** *Código Fuente del Sistema de Control del Colector de Apitoxina* ..... 66

**Apéndice B** *Enlaces de Referencia para Adquisición de Componentes* ..... 74

## Introducción

En la apicultura moderna, la apitoxina o veneno de abeja se ha consolidado como un recurso de gran valor, pero su recolección enfrenta barreras significativas de eficiencia y, sobre todo, de costos que limitan a los pequeños y medianos apicultores. Los equipos comerciales actuales no solo son costosos, sino que a menudo no optimizan el equilibrio entre la cantidad de veneno extraído y el bienestar de la colmena.

Para abordar esta problemática, este proyecto de grado presenta el diseño teórico de un colector de apitoxina de bajo costo, fundamentado en un sistema de electroestimulación controlada. La investigación establece las bases conceptuales para un dispositivo que busca optimizar la extracción del veneno, minimizando la morbilidad de las abejas, con el fin de proponer una solución conceptual que sea tanto eficiente como económicamente viable.

La metodología se centró en el diseño teórico, incluyendo el desarrollo de esquemas circuitales y el modelado 3D de componentes mediante herramientas CAD para asegurar su compatibilidad con tecnologías vigentes. Este enfoque no solo define los parámetros técnicos, sino que también busca generar un impacto tangible en el contexto regional. Al proponer una solución accesible, este diseño representa una herramienta potencial para el desarrollo económico de los apicultores de Norte de Santander y otras zonas de Colombia, permitiéndoles tecnificar sus procesos, diversificar su producción y acceder a nuevos mercados, fomentando así una apicultura más rentable y sostenible.

## **Justificación**

El desarrollo de un colector de apitoxina de bajo costo y alta eficiencia es fundamental para fortalecer la viabilidad económica de los apicultores y promover la salud de las abejas. La apitoxina es un recurso valioso, pero su obtención debe ser sostenible para asegurar la preservación de las colmenas, que son agentes polinizadores esenciales para el ecosistema.

El principal aporte de este proyecto es su enfoque en la accesibilidad tecnológica. Un dispositivo que permita el ajuste preciso de parámetros de electroestimulación, y cuyo diseño se base en componentes electrónicos de bajo costo, tiene el potencial de democratizar el acceso a esta tecnología. Esto permitiría a los pequeños y medianos apicultores de regiones como Norte de Santander diversificar su producción e ingresar al mercado de la apitoxina, generando nuevas fuentes de ingreso.

Además, este trabajo promueve la innovación al ofrecer un diseño moderno, modular y tecnológicamente compatible. Al mejorar la accesibilidad y reducir la barrera económica, el proyecto no solo incrementa el valor de la actividad apícola, sino que también fomenta la adopción de prácticas más sostenibles y responsables, contribuyendo al desarrollo económico local y al aprovechamiento de un subproducto de gran potencial.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar un colector de apitoxina utilizando un sistema de electroestimulación controlada que proporcione una alta producción de apitoxina y reduzca la morbilidad en las abejas.

### **Objetivos Específicos**

Investigar la teoría relacionada con la extracción de apitoxina mediante electroestimulación controlada.

Diseñar un sistema electroestimulador que permita ajustes precisos en la forma del estímulo mediante la frecuencia e intensidad de la corriente.

Elaborar un diseño esquemático del colector de apitoxina que integre todos los elementos esenciales para su posterior implementación.

## **Planteamiento del Problema**

En la industria apícola, la extracción de apitoxina enfrenta importantes desafíos relacionados con la eficiencia y el costo de los dispositivos disponibles. Los colectores actuales a menudo no optimizan la relación entre la cantidad de veneno extraído y la salud de las abejas, lo que impacta negativamente tanto en la producción como en la sostenibilidad de las colmenas.

Además, el alto costo de estos equipos limita su acceso para pequeños y medianos apicultores, impidiéndoles explotar un subproducto valioso que podría incrementar su viabilidad económica. La falta de adaptabilidad de los dispositivos a diferentes condiciones ambientales también puede comprometer la calidad del veneno recolectado, afectando su efectividad en aplicaciones médicas y terapéuticas.

Este proyecto busca abordar estos problemas mediante el diseño de un colector de apitoxina más accesible y moderno, que optimice los parámetros de recolección y permita una integración tecnológica altamente compatible.

## **Alcance**

El presente proyecto se enfoca exclusivamente en la fase de diseño teórico y simulación de un colector de apitoxina. El alcance del trabajo abarca:

1. **Diseño Electrónico.** Creación de los diagramas esquemáticos completos del dispositivo, incluyendo las etapas de control, alimentación, elevación de voltaje, conmutación y visualización.
2. **Diseño Mecánico (3D).** Modelado tridimensional del bloque de colecta, detallando sus componentes y ensamblaje para facilitar una futura fabricación.
3. **Programación del Controlador.** Desarrollo del código fuente para el microcontrolador Arduino Nano, que gestiona la lógica de operación, temporización y control de los actuadores.

Este proyecto excluyó la construcción física de un prototipo, ensayos de campo con colmenas de abejas y análisis químico de la apitoxina recolectada. El resultado culminó en un conjunto de planos, esquemas y código fuente, que sirve como fundamento para fases futuras de implementación y validación.

### **Población Objetivo**

La solución propuesta está dirigida principalmente a pequeños y medianos apicultores de la región de Norte de Santander, Colombia. Este grupo se caracteriza por manejar un número moderado de colmenas y contar con recursos limitados para invertir en tecnología de alto costo. El diseño busca ofrecerles una alternativa económicamente viable y de fácil operación para diversificar su producción, permitiéndoles ingresar al mercado de la apitoxina, un subproducto de valor que actualmente es poco explotado en la región debido a las barreras tecnológicas y económicas.

## Marco Teórico

### Apitoxina

La apitoxina, o veneno de abeja, es un líquido transparente y cristalino, termolábil y sensible a la luz, lo que provoca que se seque rápidamente a temperatura ambiente. Posee un aroma similar a la miel y un sabor amargo, y es producido en el abdomen de las abejas obreras. Este compuesto ha generado un interés significativo por sus propiedades medicinales, ya que actúa sobre los sistemas inmunológico y nervioso. Según Dallo (2014, p. 1-12), la apitoxina puede ser más efectiva que la cortisona como antiinflamatorio y que la morfina como analgésico.

La composición de la apitoxina es compleja, incluyendo una variedad de proteínas y componentes bioactivos como melitina, apamina, adolapina, fosfolipasa A2, histamina y dopamina. Estos componentes le confieren propiedades neurotóxicas, analgésicas, vasoactivas y citotóxicas (Peiren et al., 2005, p. 1-5). Adicionalmente, contiene minerales como fósforo, calcio y magnesio (Martínez, 2019, p. 33-135).

**Tabla 1***Composición y Efectos de los Componentes de la Apitoxina*

Compuesto	Porcentaje	Efecto
Melanina	52%	Antiinflamatorio
Apamina	2-3%	Neurotóxico, Analgésico
Adolapina	2-5%	Antiinflamatoria, Analgésico
Fosfolipasa A2	10-12%	Anticoagulante, Antigénico
Hialuronidasa	1-3%	Antifibroso
Histamina	0.5-2%	Dilatante
Catecolaminas	1-2%	Aumento de pulsos cardiacos

(Dopamina-Noradrenalina)

*Nota.* Adaptado de González (2019).

**Apiterapia**

La apiterapia representa una disciplina de la medicina alternativa que explota productos apícolas para la prevención y tratamiento de patologías diversas. Su eje central es la apitoxina, administrada en microdosis vía picaduras controladas en puntos anatómicos específicos, determinados por el diagnóstico clínico (López, 2020, pp. 4-28). Este método se valida como efectivo en sujetos sin hipersensibilidad al veneno, siempre bajo supervisión especializada.

### ***Beneficios Terapéuticos de la Apitoxina***

Las proteínas de la apitoxina imparten propiedades neurotóxicas, analgésicas y antiinflamatorias, demostrando eficacia en el tratamiento de afecciones reumatológicas y autoinmunes (Peiren et al., 2005, pp. 1-5). Su empleo se posiciona como alternativa natural a terapias farmacológicas costosas o con efectos adversos (Villalobos y Martínez, 2019, pp. 459-467).

### ***Métodos de Administración en Apiterapia***

La administración de apitoxina no se limita a la picadura directa. Existen métodos alternativos que incluyen comprimidos sublinguales, inyecciones, acupuntura, inhalación y aplicaciones tópicas. Técnicas más avanzadas como la iontoforesis y la fonoforesis también se utilizan para facilitar la absorción transdérmica del compuesto, ampliando así las posibilidades terapéuticas de la apiterapia (Tabares, 2014, p. 42-47).

### **Tipos de Especies de Abejas en la Región**

En Colombia, y específicamente en Norte de Santander, la apicultura se fundamenta predominantemente en abejas africanizadas (*Apis mellifera scutellata* hibridada). Este híbrido, originado por la introducción de la abeja africana en Brasil en 1956 y su dispersión continental subsiguiente, se distingue por su adaptabilidad superior a climas tropicales y resistencia robusta a enfermedades y depredadores.

Aunque su comportamiento defensivo y agresivo plantea desafíos en el manejo apícola, estas rasgos confieren ventajas adaptativas en entornos de alta depredación, demandando técnicas de manejo especializadas para salvaguardar la seguridad del apicultor (Freire M., 2022, p. 10).

### **Comportamiento de las Abejas *Apis Mellifera***

*Apis mellifera* son insectos eusociales cuyo comportamiento complejo está mediado en gran parte por un avanzado sistema olfativo, crucial para la comunicación, la defensa y la búsqueda de alimento. Su genoma codifica cientos de receptores olfativos que les permiten interpretar un amplio espectro de señales químicas, guiando conductas esenciales para la supervivencia de la colonia (Nates-Parra, 2011, p. 185-194). A continuación, se describen los comportamientos más relevantes:

### ***Comportamiento Defensivo***

Representa una respuesta colectiva para resguardar la colmena de amenazas externas.

Abejas guardianas patrullan la entrada, empleando reconocimiento olfativo para detectar intrusos, potencialmente desencadenando ataques masivos ante feromonas de alarma, vibraciones o movimientos abruptos.

### ***Comportamiento Higiénico***

Constituye un mecanismo de inmunidad social. Abejas obreras detectan y eliminan crías enfermas o muertas, previniendo la diseminación de patógenos como bacterias, hongos y parásitos en la colonia.

### ***Comportamiento de Forrajeo***

Implica la recolección de néctar, polen y agua, vital para el sustento colonial. Existe una división laboral etaria: las abejas jóvenes ejecutan tareas internas, mientras que las maduras se dedican al forrajeo.

### **Arquitectura del Dispositivo**

El diseño de un colector de apitoxina moderno se basa en una arquitectura modular. El componente central es un bloque de control, gobernado por un microcontrolador, que gestiona la generación de pulsos de electroestimulación. Este módulo permite ajustar con precisión la

frecuencia, duración e intensidad de los estímulos eléctricos aplicados a las abejas.

Este control es fundamental para adaptar la operación del dispositivo a las condiciones específicas de cada colmena y del entorno, garantizando una extracción eficiente y segura (Fadesa Ingenieros, 2021). La correcta calibración de estos parámetros es clave para maximizar la producción de apitoxina minimizando el estrés y la mortalidad de los insectos.

### **Métodos de Recolección de Apitoxina**

Los métodos modernos para la recolección de apitoxina emplean la electroestimulación para inducir a las abejas a liberar su veneno de forma controlada sobre una superficie, generalmente una placa de vidrio, de la cual puede ser recolectado posteriormente.

Un diseño pionero, descrito por Manfredi (1992, p. 128-130), utilizaba una caja que aplicaba descargas intermitentes de 10 voltios para estimular a las abejas a picar una lámina de plástico. Investigaciones más recientes, como la de Sánchez et al. (2017, p. 56-64), han optimizado este proceso utilizando microcontroladores como Arduino para modular con mayor precisión la temporización y las características de los pulsos eléctricos.

### ***Impacto en la Mortalidad y Parámetros Recomendados***

La electroestimulación, cuando se aplica correctamente, presenta una tasa de mortalidad significativamente menor que métodos más antiguos, ya que la abeja deposita el veneno sin perder su aguijón (Sánchez et al., 2017, p. 56-64). Estudios como el de Durán et al. (2011, p. 34-41) han demostrado que voltajes entre 11.5 y 13.5 V durante sesiones de 30 minutos resultan en baja mortalidad y costos operativos reducidos. La literatura científica sugiere que las sesiones no deben exceder los 30 minutos, con intervalos de descarga de 3 a 4 segundos, para equilibrar la

eficiencia de la extracción con el bienestar de la colmena. La Tabla 2 resume los parámetros de diferentes estudios.

**Tabla 2***Parámetros de Electroestimulación para la Recolección de Apitoxina*

Autor	Periodo [min]	Duración [s]	Características Eléctricas	Cantidad de Apitoxina
Manfredi (1992, pp. 128-130)	60	10	10V	≈3mg por colmena
Sánchez et al. (2017, pp. 2-10)	30	4	144V - 0,5mA	≈25,63mg por colmena
Durán et al. (2011, pp. 145-150)	30	3	11,5 - 13,5V	≈26,63mg por colmena

*Nota.* Adaptado de Durán et al. (2011).

**Módulo de Control**

El módulo de control es el núcleo del sistema electrónico, responsable de procesar señales y ejecutar la lógica operativa. Este módulo puede estar basado en microcontroladores discretos o en tarjetas de desarrollo que facilitan el prototipado.

***Microcontroladores***

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene una unidad central de procesamiento (CPU), memoria (Flash, SRAM) y periféricos de entrada/salida (GPIO, ADC, Timers) en un solo chip. Es capaz de ejecutar de forma autónoma un programa almacenado en su memoria no volátil para controlar un sistema embebido. Su arquitectura puede ser de tipo Von Neumann o Harvard, y su conjunto de instrucciones CISC o RISC, lo que determina su eficiencia

y complejidad de programación (Moreno y Córcoles, 2018, p. 452).

### ***Tarjetas de Desarrollo: Arduino***

Arduino es una plataforma de hardware y software de código abierto que simplifica el desarrollo de proyectos electrónicos. Las placas Arduino, como el modelo Nano, integran un microcontrolador (generalmente de la familia AVR de Atmel/Microchip) con los componentes necesarios para su programación y conexión a periféricos externos. Su entorno de desarrollo integrado (IDE) y su lenguaje de programación basado en C++ facilitan la implementación de la lógica de control, siendo una opción ideal para este proyecto por su bajo costo, versatilidad y amplia comunidad de soporte (Moreno y Córcoles, 2018, p. 452).

### ***Sistemas de Alimentación: Baterías 18650***

Para garantizar la portabilidad del colector, el diseño contempla el uso de baterías de ion de litio del formato 18650. Estas celdas son populares en sistemas electrónicos por su alta densidad energética, tensión nominal de 3.7 V y capacidades que suelen oscilar entre 2000 y 3500 mAh. Su uso requiere sistemas de gestión de batería (BMS) para garantizar una carga y descarga seguras y prolongar su vida útil.

## **Metodología**

### **Enfoque de Diseño**

Para el desarrollo de las etapas del dispositivo electrónico de extracción de apitoxina, se adoptó una metodología en cascada, caracterizada por fases secuenciales que exigen completitud antes de progresión. Se integró retroalimentación inter-fase para detección temprana de errores, garantizando un diseño robusto y eficaz (Aceves, 2019). Este enfoque estructurado es idóneo para proyectos de hardware con requerimientos bien definidos.

El diseño y la validación de los esquemas circuitales se realizaron utilizando Proteus Design Suite, un entorno de simulación profesional. Se eligió esta herramienta por su capacidad para modelar circuitos de microcontroladores y simular la interacción entre el firmware y los componentes electrónicos periféricos. Esto permitió verificar la lógica de control, la temporización de los pulsos y el comportamiento de las etapas de potencia de manera virtual, antes de considerar una eventual fase de prototipado físico.

### **Fases del Proyecto**

El proyecto se dividió en cuatro fases principales, que abarcan desde la definición de los requisitos hasta la entrega de la documentación técnica final:

- Fase 1. Especificación y análisis de requerimientos. Definición de características funcionales y técnicas.
- Fase 2. Diseño conceptual y electrónico. Selección de componentes y creación de diagramas esquemáticos.

- Fase 3. Diseño mecánico y de firmware. Desarrollo de modelo 3D y código de microcontrolador.
- Fase 4. Verificación del diseño y documentación técnica. Revisión de coherencia y consolidación informativa.

## Planificación

La ejecución del proyecto se planificó para un periodo de 16 semanas, distribuidas en las fases metodológicas descritas anteriormente. El cronograma de actividades se gestionó mediante un diagrama de Gantt para visualizar las tareas, sus dependencias y su duración.

### Diagrama de Gantt

**Tabla 3**

*Planificación del Proyecto - Diagrama de Gantt*

Tarea	Semanas	Semana 1-4	Semana 5-8	Semana 9-12	Semana 13-16
Fase 1:		x x x x			
Investigación y Análisis	4				
Investigación bibliográfica	2	x x			
Definición de requerimientos	1		x		
Fase 2: Diseño Electrónico	4		x x x x		
Selección de componentes	1		x		
Diseño de				x x	

esquemático en 3

Proteus

---

Tarea	Semanas	Semana 1-4	Semana 5-8	Semana 9-12	Semana 13-16
Fase 3: Diseño Mecánico y Código	5			x x x x x	
Modelado 3D del colector	3		x x		
Desarrollo del código Arduino	2			x x x	
Fase 4: Verificación y Documentación	3				x x x
Revisión de diseño y firmware	1				x
Redacción del documento de tesis	2				x x

*Nota.* Elaboración propia.

## Desarrollo y Resultados

En esta sección se detalla la ejecución de cada una de las fases metodológicas, presentando los resultados técnicos, diseños y decisiones tomadas a lo largo del proyecto.

### Fase 1. Especificación y Análisis de Requerimientos

Basado en estudios experimentales y las características de dispositivos electrónicos comerciales, se establecen los requerimientos a nivel hardware y software que debe cumplir el diseño del dispositivo para la extracción de apitoxina.

#### *Nivel Hardware*

- Duración de la Activación. El diseño debe contemplar una operación en sesiones de 30 minutos, con pulsos eléctricos de 4 segundos seguidos de descansos de 6 segundos.
- Voltaje de operación. El sistema se diseñó para operar con un voltaje de salida variable entre 12 y 14 V, estableciendo 13.5 V como valor estándar para asegurar una recolección de apitoxina eficiente.
- Pantalla Indicadora del Ciclo de Trabajo. Incluye una pantalla LCD que muestra el tiempo y el porcentaje del ciclo de trabajo.
- Pantalla Indicadora de Voltaje de Electroestimulación. Dispone de un voltímetro digital que muestra el voltaje en tiempo real entregado en el módulo de colección.
- Perilla Controladora de Voltaje. Posee una perilla que permite ajustar el voltaje entre los valores recomendados.
- Pulsador de Encendido. Integra un pulsador para encender el dispositivo, iniciar la sesión, activar descargas eléctricas y despertar el Arduino del modo de reposo.

- Pulsador de Reposo. Permite generar un estado de reposo que conserva el progreso actual del ciclo de trabajo y establece las descargas en modo de descanso.
- Pulsador de Cancelación. Facilita la cancelación del ciclo de trabajo del colector, permitiendo finalizar o reiniciar la actividad según las necesidades del apicultor.
- Alimentación Eléctrica. Funciona con baterías recargables 18650, incorporando un sistema de control y balanceo de carga para extender su vida útil.
- Carga de Baterías. Permite la conexión a corriente directa mediante una fuente de alimentación común tipo C de 5V.
- Indicadores de Estado. Ofrece indicadores LED para el inicio, modo de reposo y fin de sesión, además de un buzzer para alertas auditivas.
- Interruptor de Alimentación Principal. Permite el suministro eléctrico al sistema completo.

#### *Nivel Software*

- Temporizador ciclo de trabajo. Configuración de un temporizador que, mediante interrupciones, active sesiones de 30 minutos con pulsos de 4 segundos y descansos de 6 segundos.
- Modo de reposo. Configura un modo de reposo donde se mantiene los valores de progreso y tiempo actuales del ciclo de trabajo.
- Cancelación del ciclo de trabajo. Configura la cancelación del ciclo de trabajo, dando fin a todos los procesos.
- Indicadores. Configura leds que representan cada uno de los modos ejecutados, en caso del modo de cancelación se activa por 5 segundos antes de apagarse.

- Control de la salida de electro-estímulo. Se configura la activación o desactivación de un relé dependiendo el estado marcado por el ciclo de trabajo.
- Información de seguimiento. Se configura la pantalla LCD para enseñar información relevante del ciclo de trabajo, como el porcentaje de completado y el tiempo restante antes de finalizar, así como el modo actual al utilizar los diferentes pulsadores.

## **Fase 2. Diseño Conceptual y Electrónico**

Se seleccionaron los componentes electrónicos con base en su ficha técnica (datasheet), disponibilidad y costo. Se procedió al diseño del diagrama esquemático en Proteus, definiendo la interconexión entre el microcontrolador, los reguladores de voltaje, los módulos de potencia y los periféricos.

### ***Selección del Controlador***

La selección del controlador se basó en una evaluación multicriterio que consideró la relación costo-beneficio, el consumo energético, el tamaño físico y la adecuación de sus periféricos a los requerimientos del proyecto. Se analizaron diversas alternativas del mercado, como microcontroladores más potentes (ej. ESP32) o computadoras de placa única (ej. Raspberry Pi). Sin embargo, se seleccionó el Arduino Nano por ser la plataforma óptima para este diseño. A diferencia de un ESP32, que añade costos y complejidad con funcionalidades de conectividad (WiFi/Bluetooth) no requeridas, o de una Raspberry Pi, cuyo consumo energético y sistema operativo son excesivos para una tarea de control dedicada, el Arduino Nano ofreció la combinación ideal de un bajo costo, un consumo energético mínimo (esencial para un dispositivo a batería), un formato compacto y un número suficiente de pines de E/S para manejar todos los sensores y actuadores del colector.

**Características del Arduino Nano.** El Arduino Nano es una placa compacta y versátil basada en el microcontrolador ATmega328P, ampliamente utilizada en proyectos embebidos debido a su bajo consumo y facilidad de programación. Entre sus características principales se destacan:

**Tabla 4**

*Especificaciones Técnicas del Arduino Nano*

Característica	Especificación
Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12 V
Pines digitales de E/S	14 (6 con salida PWM)
Entradas analógicas	8
Corriente máxima por pin de E/S	40 mA
Memoria Flash	32 KB (2 KB usados por el bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz
Dimensiones	45 mm x 18 mm
Interfaces de comunicación	UART, SPI, I2C

*Nota.* Datos técnicos basados en la hoja de datos del microcontrolador ATmega328P (Microchip Technology, 2016).

### ***Diseño electrónico***

El sistema electrónico se dividió en distintas etapas funcionales, cada una con un propósito específico, representadas en el diagrama esquemático general.

**Bloque de Control.** El bloque de control es el encargado de gestionar el tiempo de funcionamiento del sistema de estimulación eléctrica durante los 30 minutos establecidos por sesión de recolección. Su principal función fue cronometrar y controlar la emisión de pulsos eléctricos hacia la malla conductora donde se posan las abejas. Durante este período, un indicador LED intermitente permanece activo para señalar al usuario que el sistema se encuentra en funcionamiento y enviando estimulaciones eléctricas de forma periódica.

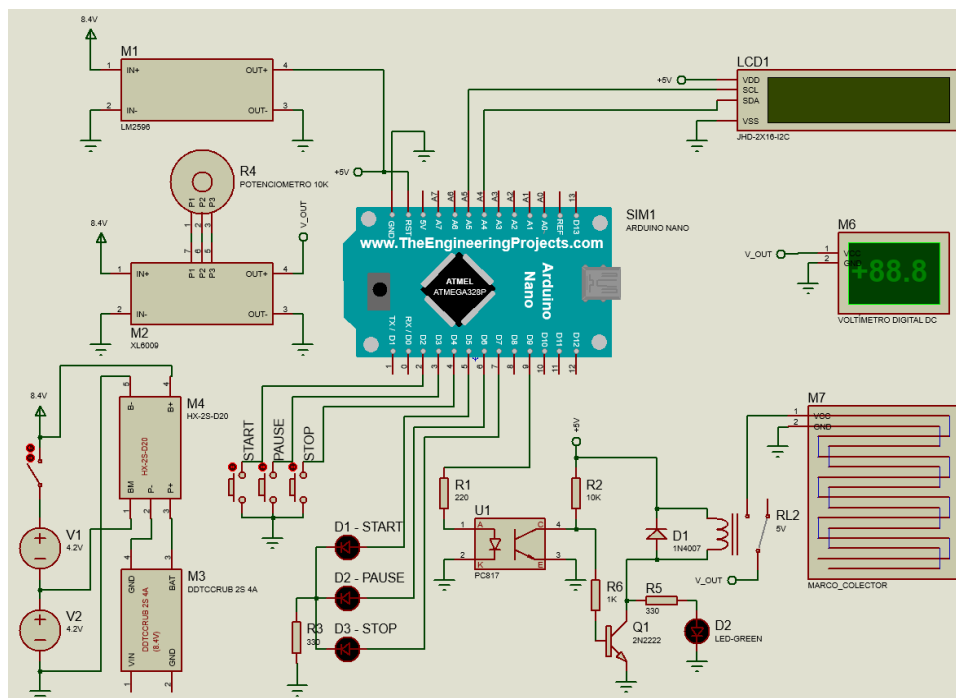
El patrón de estimulación consiste en pulsos de 4 segundos de activación seguidos de 6 segundos de descanso, repitiéndose cíclicamente durante toda la sesión. Este patrón ha sido definido con el fin de generar un estímulo adecuado que incite a las abejas a aguijonear el cristal, permitiendo así la liberación de apitoxina sin causarles la muerte.

Este comportamiento natural provoca que la abeja regrese a su colmena tras el estímulo, alertando al resto de la colonia sobre la aparente amenaza. De esta forma, se desencadena un efecto de "bola de nieve" que incrementa progresivamente la cantidad de abejas que acuden al módulo colector, optimizando la eficiencia del proceso de recolección.

## Diseño del Diagrama Esquemático del Bloque de Control

Figura 1

### Esquema Gráfico de Conexiones del Colector



Nota. Diagrama esquemático completo de las conexiones del sistema. Elaboración propia.

El diagrama esquemático representa la arquitectura del sistema electrónico diseñado para el colector de apitoxina. Este se encuentra dividido en distintas etapas, cada una con un propósito específico dentro del funcionamiento general del dispositivo.

### Etapa de Control

La etapa de control está conformada principalmente por un Arduino Nano, que actúa como el cerebro del sistema. Aquí se centraliza toda la lógica de operación, incluyendo el temporizador para el ciclo de estimulación mediante la programación, la lectura de entradas provenientes de pulsadores, y el control de salidas digitales como los indicadores LED y demás periféricos. Los pulsadores permiten al usuario iniciar, pausar o finalizar el proceso, mientras que



**Figura 4**

*Componente de Tipo Pulsador*



*Nota.* Pulsador de panel para montaje en chasis. Tomado de *Compel Electrónica*.

**Figura 5**

*Diodos Emisores de Luz (LEDs)*



*Nota.* Diodos emisores de luz para indicación visual. Tomado de *Todo Electrónica*.

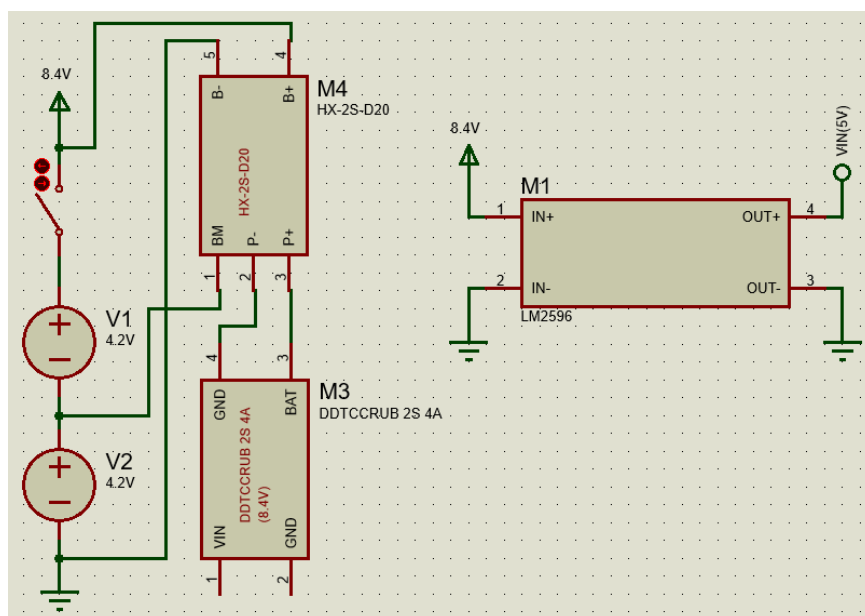
### *Etapa de Alimentación*

Esta etapa se encarga de suministrar energía al sistema. Se compone de dos baterías 18650 conectadas en serie, proporcionando un voltaje promedio de 7.4V. Para su correcta carga, se utiliza un módulo de carga DDTCCRUB 2S 4A, y para proteger el sistema se integra un módulo balanceador HX-2S-D20, que asegura una carga uniforme de ambas celdas.

Dado que el Arduino Nano requiere una alimentación estable de 5V, se incorpora un regulador LM2596, que convierte el voltaje de las baterías en una salida de 5V regulada. Esto no solo protege el microcontrolador, sino que también alarga la vida útil de las baterías, permitiendo el funcionamiento continuo del sistema incluso con ciertos valores bajos de carga.

### **Figura 6**

#### *Esquema Gráfico de Conexiones de la Etapa de Alimentación*



*Nota.* Circuito de gestión de carga y regulación de voltaje para baterías Li-Ion. Elaboración propia.

**Figura 7**

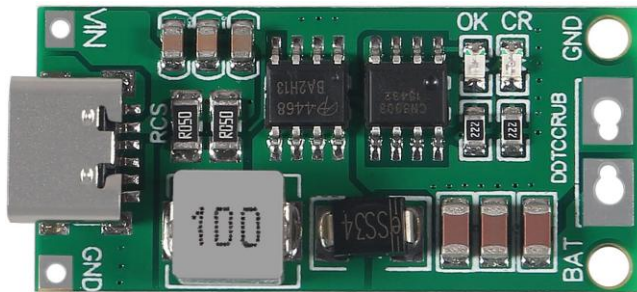
*Baterías de Ion de Litio Formato 18650*



*Nota.* Celdas de iones de litio recargables formato 18650. Tomado de *Made-in-China Insights*.

**Figura 8**

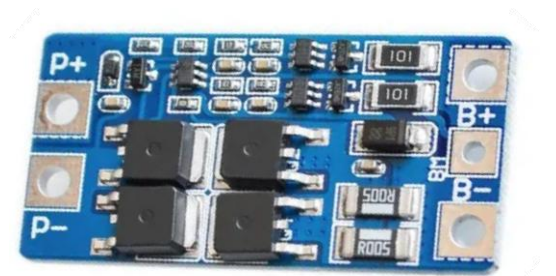
*Módulo de Carga DDTCCRUB 2S 4A*



*Nota.* Módulo cargador USB Tipo C con protección BMS integrada. Tomado de *MercadoLibre Colombia*.

**Figura 9**

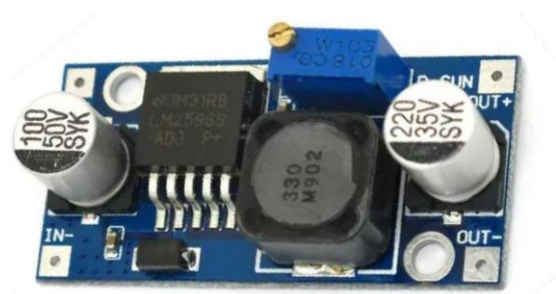
*Módulo Balanceador de Carga HX-2S-D20*



*Nota.* Placa de protección y balanceo de carga (BMS) para dos celdas en serie. Tomado de *MercadoLibre Colombia*.

**Figura 10**

*Módulo Regulador de Voltaje LM2596*



*Nota.* Convertidor DC-DC reductor (Buck) ajustable. Tomado de *MercadoLibre Colombia*.

### ***Etapas de elevador de voltaje***

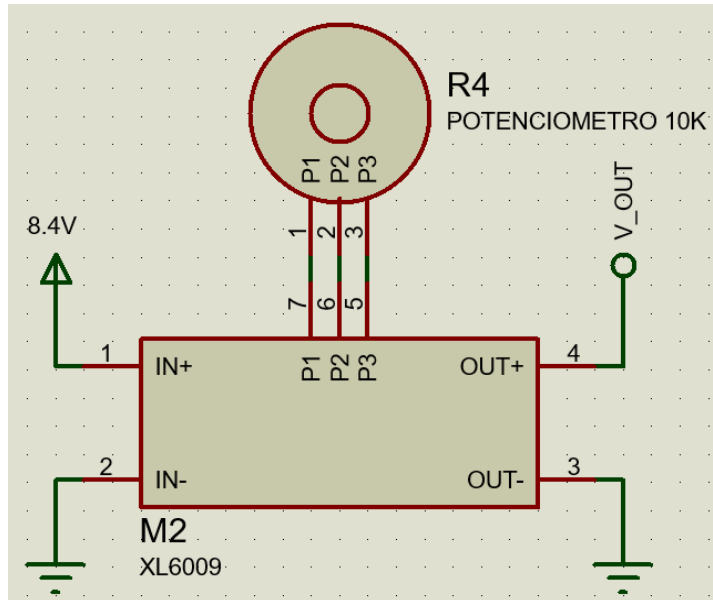
Para lograr una estimulación eléctrica efectiva en las abejas, se requiere un voltaje mayor al que suministran las baterías. Por ello, se utiliza un convertidor elevador XL6009, capaz de incrementar los 7.4V hasta alcanzar los 13.5V, valor óptimo para la colección de apitoxina.

Este módulo incorpora un potenciómetro de precisión, mediante el cual se puede ajustar manualmente el voltaje de salida. Mientras el voltaje de entrada se mantenga por encima de 3V, el convertidor puede garantizar una salida estable, lo que asegura la eficiencia del estímulo

durante toda la sesión.

### Figura 11

*Esquema Gráfico de Conexiones de la Etapa de Elevación de Voltaje*



*Nota.* Configuración del circuito elevador de voltaje con ajuste por potenciómetro. Elaboración propia.

### Figura 12

*Módulo Elevador de Voltaje XL6009*



*Nota.* Convertidor DC-DC elevador (Boost) ajustable. Tomado de *MercadoLibre Colombia*.

**Figura 13***Potenciómetro de Precisión Multivuelta*

*Nota.* Resistencia variable de precisión multivuelta. Tomado de *MercadoLibre Colombia*.

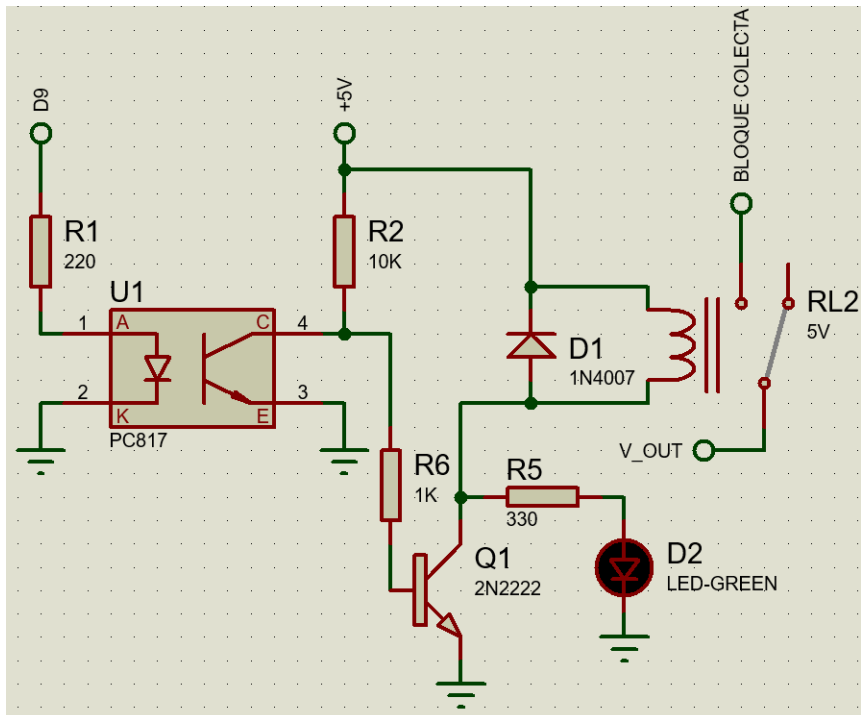
***Etapa de Conmutación***

En esta etapa se implementa el circuito encargado de controlar el paso de corriente hacia la malla conductora que estimula a las abejas, el bloque de colecta. Se utiliza un relé electromecánico, activado por una señal digital del Arduino. Este relé cuenta con un circuito de protección diseñado con optoacoplador, transistor, diodo y resistencias, lo cual asegura un funcionamiento confiable, minimiza interferencias y extiende la vida útil del sistema.

A diferencia de los módulos comerciales de relé para Arduino, esta solución personalizada permite una mejor adaptación a los requerimientos específicos del proyecto.

**Figura 14**

*Esquema Gráfico de Conexiones de la Etapa de Conmutación*



*Nota.* Circuito de activación del relé con aislamiento por optoacoplador. Elaboración propia.

**Figura 15**

*Relé*



*Nota.* Relé electromecánico de 5 V para conmutación de potencia. Tomado de *MercadoLibre Colombia*.

**Figura 16***Optoacoplador*

*Nota.* Circuito integrado PC817 para aislamiento galvánico. Tomado de *MercadoLibre Colombia*.

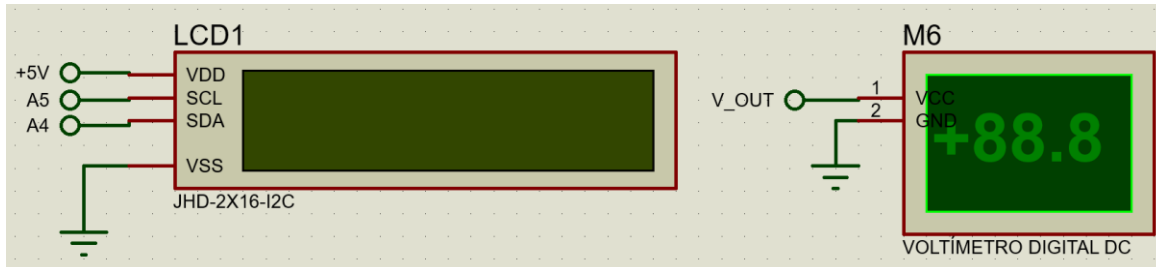
***Etapas de Visualización de Parámetros***

Para facilitar la interacción con el usuario, se incluye una pantalla LCD 1602 con interfaz I2C, lo que permite reducir la cantidad de pines necesarios para su conexión. Esta pantalla muestra el porcentaje de avance del ciclo, el tiempo restante y mensajes de estado, según las acciones realizadas con los pulsadores.

Adicionalmente, se integra un voltímetro digital LED, encargado de mostrar el valor del voltaje aplicado a la malla de estimulación. Este puede ser ajustado tanto antes como durante la sesión, permitiendo adaptar la intensidad del estímulo según la cantidad de abejas presentes en la superficie del colector.

## Figura 17

*Esquema Gráfico de Conexiones de la Etapa de Visualización de Parámetros*



*Nota.* Esquema de conexión para la pantalla LCD y el voltímetro digital. Elaboración propia.

## Figura 18

*Pantalla LCD 1602 + I2C*



*Nota.* Módulo de visualización alfanumérica con adaptador I2C. Tomado de *Maestrónica*.

## Figura 19

### *Voltímetro digital LED*



*Nota.* Instrumento de medición de voltaje DC para panel. Tomado de *Compel Electrónica*.

### *Asignación de entradas y salidas*

El arduino cuenta con 14 pines digitales que se pueden disponer como entradas o salidas, 6 de las cuales son salidas PWM, además de 6 pines analógicos, la asignación sería la siguiente:

### **Tabla 5**

#### *Distribución de Pines Digitales del Arduino Nano*

Pin Digital	Aplicación
Pin 9	Salida digital para activación del relay
Pin 7	Salida digital para activación led Stop
Pin 6	Salida digital para activación led Pause
Pin 5	Salida digital para activación led Start
Pin 4	Entrada digital para lectura pulsador Stop
Pin 3	Entrada digital para lectura pulsador Pause
Pin 2	Entrada digital para lectura pulsador Start

*Nota.* Asignación de entradas y salidas para el control de periféricos. Elaboración propia.

**Tabla 6***Distribución de Pines Analógicos del Arduino Nano*

Pin Análogo	Aplicación
A5	Salida hacia la pantalla LCD (SCL)
A4	Salida hacia la pantalla LCD (SDA)

*Nota.* Configuración de los pines para la comunicación I2C con la pantalla LCD. Elaboración propia.

### **Fase 3. Diseño Mecánico y Firmware**

Se diseñó el modelo 3D del bloque colector utilizando software CAD. Paralelamente, se escribió el código de control para el microcontrolador Arduino Nano. El firmware se diseñó para gestionar los temporizadores, leer las entradas de los pulsadores, controlar la secuencia de activación del relé y presentar la información de estado en la pantalla LCD.

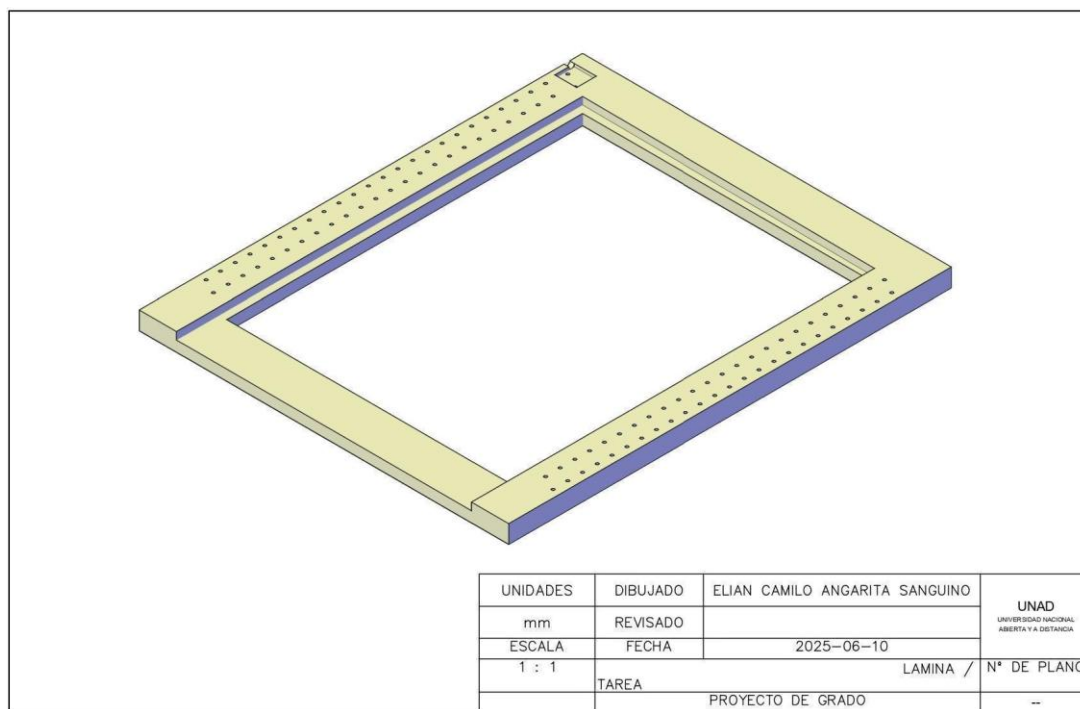
#### ***Bloque de Colecta***

El bloque de colecta, también denominado marco del colector, es uno de los componentes principales del sistema, donde se concentra la interacción con las abejas. Su función es alojar la rejilla conductora y la lámina de vidrio encargada de recolectar la apitoxina. Este bloque fue diseñado en dos piezas independientes (superior e inferior) para optimizar su fabricación, facilitando el montaje de los componentes eléctricos.

***Pieza Inferior.*** La pieza inferior del marco fue diseñada para sostener la lámina de vidrio donde se deposita la apitoxina tras la estimulación eléctrica. Esta base está diseñada con ranuras para insertar la rejilla, puntos de fijación y espacio para el paso del cableado. Su geometría permite además un acople seguro con la pieza superior y garantiza estabilidad durante el uso.

**Figura 20**

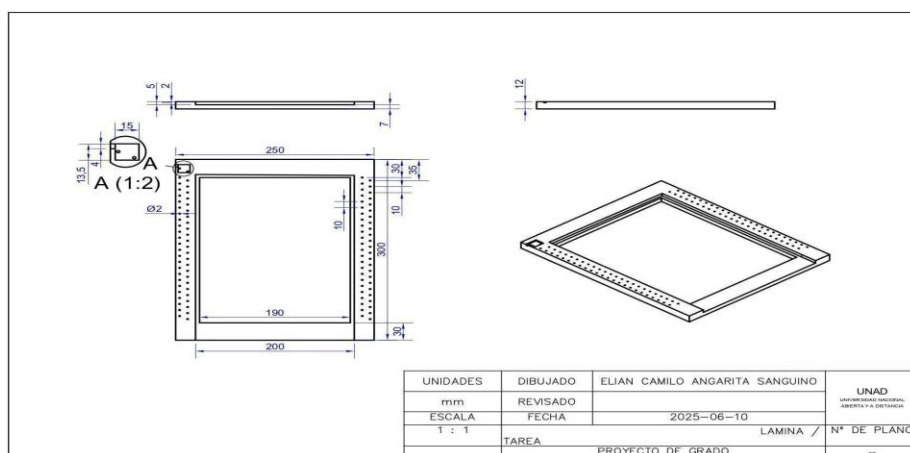
*Vista Principal del Diseño 3D de la Pieza Inferior del Bloque de Colecta*



*Nota.* Modelado realizado en el software AutoCAD. Elaboración propia.

**Figura 21**

*Vistas Isométrica y Lateral del Diseño 3D de la Pieza Inferior del Bloque*



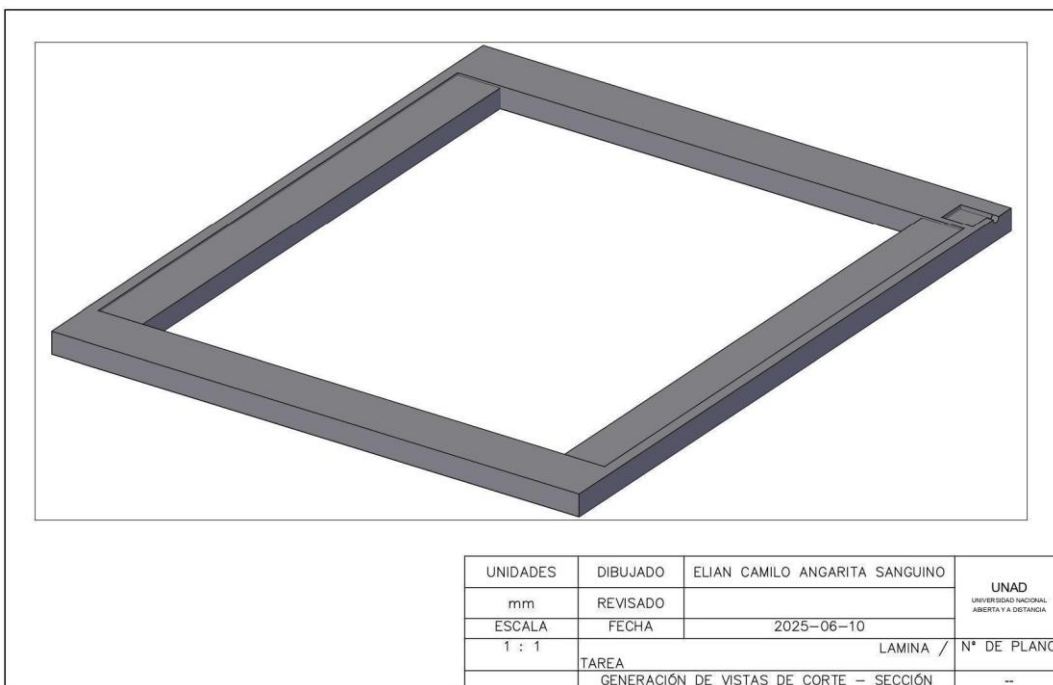
*Nota.* Modelado realizado en el software AutoCAD. Elaboración propia.

### ***Pieza Superior***

La pieza superior del colector actúa como un marco de sujeción que asegura firmemente la rejilla sobre el vidrio, manteniéndolos en su lugar durante la operación de recolección. Adicionalmente, protege el área de entrada del cable de alimentación, evitando desconexiones accidentales o exposición del cableado. Su forma permite un ensamblaje preciso con la pieza inferior.

### **Figura 22**

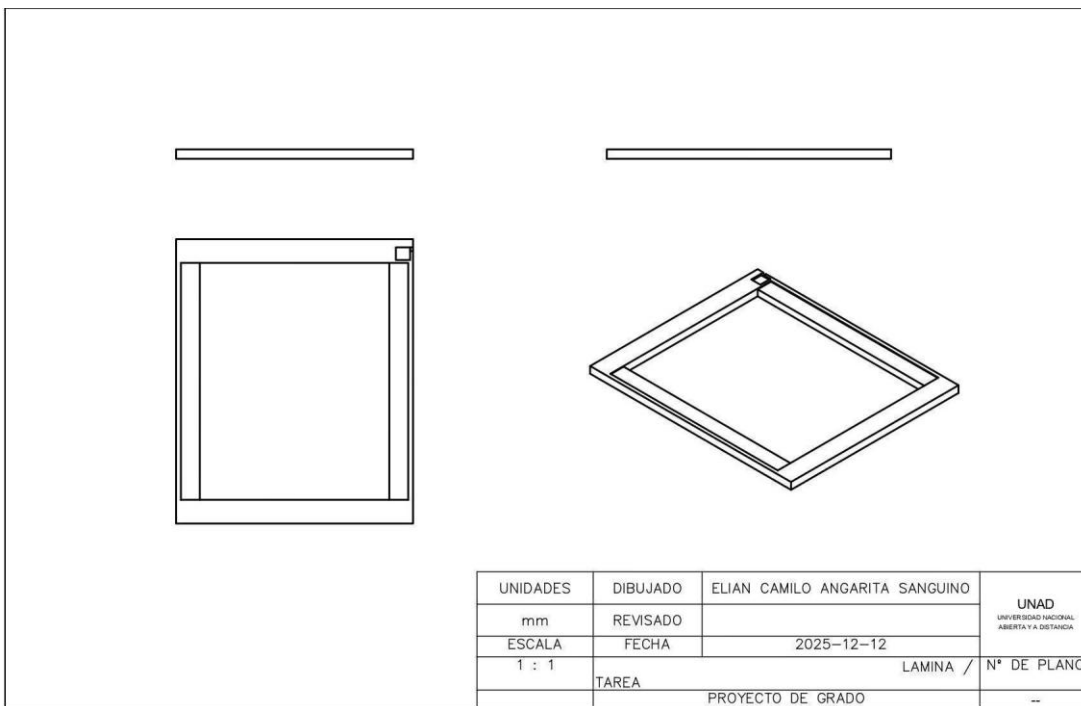
*Vista Principal del Diseño 3D de la Pieza Superior del Bloque de Colecta*



*Nota.* Modelado realizado en el software AutoCAD. Elaboración propia.

**Figura 23**

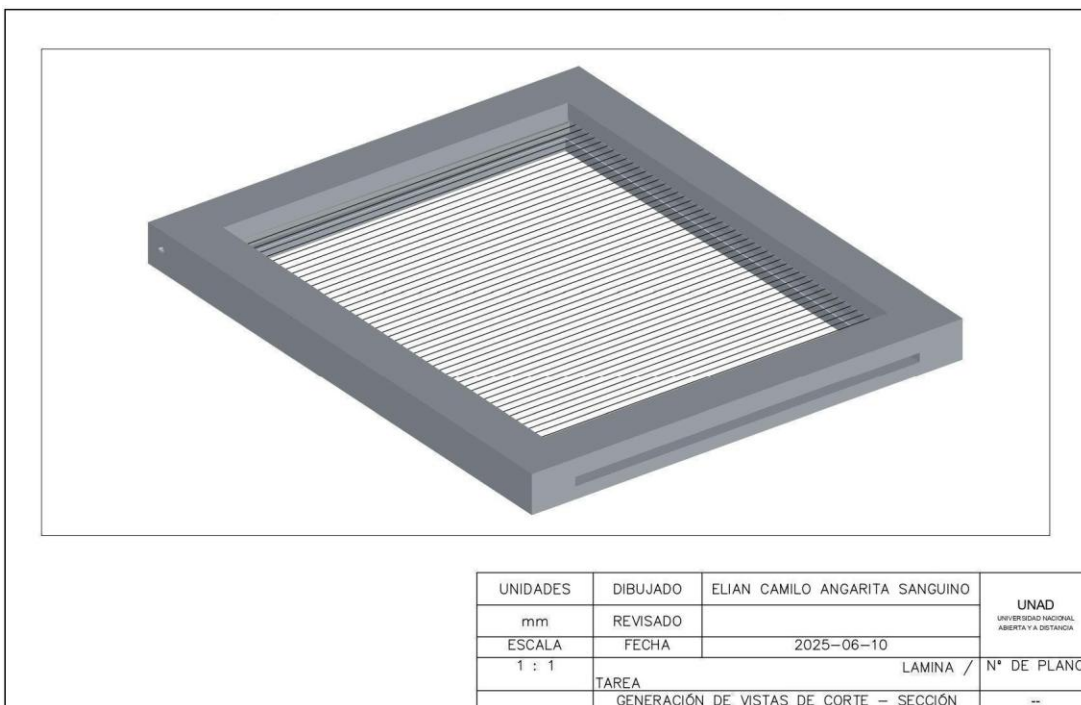
*Vistas Isométrica y Lateral del Diseño 3D de la Pieza Superior del Bloque*



*Nota.* Modelado realizado en el software AutoCAD. Elaboración propia.

### ***Ensamble Completo***

El ensamble final del bloque de colecta presenta el marco en su configuración operativa. Este diseño permite un acople preciso entre ambas piezas, protege los elementos sensibles, y mejora la durabilidad y el mantenimiento del sistema del colector.

**Figura 24***Vista Principal del Diseño 3D del Bloque de Colecta Ensamblado*

*Nota.* Modelado realizado en el software AutoCAD. Elaboración propia.

### ***Desarrollo del Firmware de Control***

El firmware es el software embebido en el microcontrolador que dota al hardware de inteligencia y funcionalidad. La lógica principal reside en la función `loop()`, que opera como una máquina de estados finitos, gestionando el estado del sistema en respuesta a las interacciones del usuario y el paso del tiempo.

El fragmento de código más crítico es el que gestiona la temporización no bloqueante de los pulsos de electroestimulación:

```

// El código completo se encuentra en el Anexo A void loop() {
// Maneja las interacciones del usuario con los pulsadores handleButtons();
// El ciclo de trabajo solo se ejecuta si el sistema está activo y no en pausa
if (running && !paused) {
unsigned long currentMillis = millis(); // Tiempo actual del sistema unsigned
long elapsedTime = currentMillis - startTime;
// Condición de finalización de la sesión if (elapsedTime >=
TOTAL_SESSION_TIME) {
stopSession(); // Finaliza la sesión return;
}
// Lógica de temporización para la conmutación del relé.
// Esta estructura "if" no bloquea la ejecución del resto del código.
if (currentMillis - lastRelayToggleTime >= (relayState ?
RELAY_ON_TIME : RELAY_OFF_TIME)) {
relayState = !relayState; // Invierte el estado lógico del relé
    digitalWrite(RELAY_PIN, relayState); // Aplica el estado al pin físico
    lastRelayToggleTime = currentMillis; // Reinicia el temporizador para el
siguiente ciclo
}
// Actualiza la pantalla LCD cada segundo para no saturar la comunicación
I2C
if (currentMillis - lastLcdUpdateTime >= 1000) { updateLcd();
lastLcdUpdateTime = currentMillis;

```

```
}  
}  
}
```

### ***Explicación del Firmware***

Control por Estados: El firmware utiliza variables booleanas (running, paused) para saber en qué estado se encuentra el dispositivo. Esto permite un control ordenado de las operaciones.

Temporización no Bloqueante: Se utiliza la función millis() en lugar de delay() para gestionar los tiempos. Esto es crucial, ya que permite que el microcontrolador siga realizando otras tareas (como leer botones o actualizar la pantalla) mientras espera que se cumpla un intervalo de tiempo, haciendo el sistema responsivo y eficiente.

Manejo de Periféricos: El código se encarga de la manipulación directa de los pines de E/S (Entrada/Salida) del microcontrolador para leer los pulsadores, encender los LEDs y, lo más importante, enviar la señal de activación al circuito del relé que controla la etapa de alta tensión.

### **Fase 4. Verificación del Diseño y Documentación Técnica**

Se revisó la coherencia y la lógica del diseño esquemático y del firmware. Se elaboró la documentación completa del proyecto, incluyendo los esquemáticos, el código fuente comentado, los modelos 3D y el presente informe de tesis, dejando el sistema preparado para una futura fase de simulación y prototipado.

## Validación de Resultados y Análisis Comparativo

Aunque el alcance de este proyecto no contempla la construcción de un prototipo físico, es posible realizar una validación teórica del diseño mediante un análisis comparativo con dispositivos comerciales y una estimación de costos. Esto permite evaluar la viabilidad y competitividad de la propuesta.

### Análisis Comparativo con Dispositivos Comerciales

En la siguiente tabla se comparan las características del diseño propuesto con dos modelos de colectores de apitoxina disponibles en el mercado.

**Tabla 7**

#### *Análisis Comparativo de Colectores de Apitoxina*

Característica	Diseño Propuesto	Dispositivo APITOX AX 110	Dispositivo KETLITEN
Control de Parámetros	Voltaje y frecuencia ajustables vía firmware.	6 niveles de intensidad manuales.	Períodos fijos de 7s (activo) y 9s (descanso).
Interfaz de Usuario	Pantalla LCD 1602 con datos en tiempo real (tiempo, ciclo).	Indicadores LED y perillas.	Botones de encendido/apagado.
Alimentación	Baterías 18650 recargables (7.4V nominal).	Baterías recargables de 12V.	Baterías de litio recargables.
Sistema de Colecta	Placas de vidrio	Placas de vidrio	Recolección manual.

desmontables.

desmontables.

Costo Estimado	< \$80 USD (ver Tabla 8).	~ \$1,200 USD.	~ \$380 USD.
----------------	------------------------------	----------------	--------------

---

*Nota.* Comparación de características técnicas y costos frente a dispositivos comerciales.

Elaboración propia.

### ***Ventajas del Diseño Propuesto***

1. **Accesibilidad Económica.** Su costo de materiales es radicalmente menor al de las alternativas comerciales, lo que democratiza el acceso a esta tecnología para pequeños y medianos apicultores.

2. **Control Digital Preciso.** Ofrece un ajuste fino del voltaje en tiempo real.

Adicionalmente, los pulsos de extracción pueden ser modificados vía firmware por un usuario con conocimientos técnicos, una característica de personalización que permite optimizar el rendimiento para cada colmena.

3. **Alta Sostenibilidad.** Su diseño modular con componentes estándar garantiza un mantenimiento de bajo costo y una fácil reparación, prolongando la vida útil del equipo sin depender necesariamente de servicios técnicos especializados.

#### *Consideraciones del Modelo*

- **Enfoque de Nicho.** Está orientado a un nicho específico de apicultores que valora la personalización y el bajo costo por encima del soporte post-venta de las marcas tradicionales.

- Fabricación Flexible. El diseño de su carcasa fue planeado para realizarse mediante impresión 3D, lo que minimiza los costos de producción. Como contraparte, la durabilidad es una consideración frente a los polímeros industriales de los equipos comerciales.

#### Estimación de Costos del Prototipo

A continuación, se presenta un desglose de los costos estimados para la construcción de un prototipo basado en este diseño, utilizando precios de referencia del mercado colombiano.

**Tabla 8***Estimación de Costos de Componentes*

Componente	Cantidad	Costo Unitario (COP Aprox.)	Costo Total (COP Aprox.)
Arduino Nano	1	\$25,000	\$25,000
Baterías 18650	2	\$15,000	\$30,000
Módulo de carga	1	\$13,000	\$13,000
DDTCCRUB			
Módulo balanceador	1	\$18,500	\$18,500
HX-2S-D20			
Regulador LM2596	1	\$13,000	\$13,000
Módulo elevador	1	\$9,000	\$9,000
XL6009			
Pantalla LCD 1602 +	1	\$25,500	\$25,500
I2C			

---

Costo Unitario (COP Aprox.)		Costo Total (COP Aprox.)	
Potenciometro	1	\$14,000	\$14,000
Multivuelta 10k De Precisión			
Relé, optoacoplador, transistores, etc.	Varios	\$25,000	\$25,000
Carcasas (costo estimado 1 impresión 3D)		\$80,000	\$80,000
Cristal de recolección  (3mm)	3	\$5,000	\$15,000
Voltmetro Digital	1	\$19,500	\$19,500
Total Estimado  (materiales)			\$297,500 (≈\$76 USD)

---

*Nota.* Precios estimados en pesos colombianos (COP) basados en cotizaciones de distribuidores locales. Elaboración propia.

Este análisis de costos no solo valida la viabilidad del proyecto a nivel local, sino que también subraya su potencial a escala global. En un mercado donde la tecnología apícola avanzada es a menudo inaccesible para productores en países en desarrollo, un diseño de colector de apitoxina de código abierto y bajo costo como el propuesto representa una contribución significativa para hacer la apicultura más rentable y sostenible en todo el mundo.

## Conclusiones

Al finalizar el desarrollo teórico de este proyecto, se llega a las siguientes conclusiones:

Se ha diseñado exitosamente un sistema electrónico completo para un colector de apitoxina, el cual es robusto, funcional a nivel teórico y está listo para una futura fase de prototipado. El diseño integra de manera coherente las etapas de control, potencia e interfaz de usuario.

La investigación de los parámetros de electroestimulación fue fundamental para definir los requerimientos del sistema. Se estableció que un ciclo de 30 minutos con pulsos de 4 segundos de activación y 6 de descanso, a un voltaje ajustable entre 12V y 14V, es una configuración de referencia óptima para maximizar la recolección de veneno minimizando el estrés en las abejas.

El diseño propuesto demuestra ser económicamente viable y accesible, con un costo estimado de componentes significativamente inferior al de los dispositivos comerciales. Esto valida el enfoque del proyecto para democratizar el acceso a esta tecnología y potenciar la productividad de pequeños y medianos apicultores.

## **Recomendaciones y Trabajos Futuros**

A partir del diseño teórico desarrollado, se abren diversas líneas de trabajo para la materialización y validación del colector de apitoxina. Se recomienda:

### **Construcción y Prototipado Físico**

El siguiente paso natural es la construcción de un prototipo funcional basado en los esquemas electrónicos y los diseños mecánicos 3D presentados en este documento. Esto permitirá verificar la viabilidad del ensamblaje y la robustez de los materiales propuestos.

### **Pruebas de Campo Controladas**

Una vez ensamblado el prototipo, será fundamental realizar pruebas en colmenas de abejas *Apis mellifera*. Estas pruebas deberán llevarse a cabo en un entorno controlado para evaluar la efectividad del sistema, medir la tasa de morbilidad y optimizar los parámetros de electroestimulación en condiciones reales.

### **Análisis Químico de la Apitoxina**

Se recomienda que las muestras de veneno recolectadas durante las pruebas de campo sean sometidas a un análisis químico. Esto permitirá verificar la pureza de la apitoxina y asegurar que el método de recolección no altera su composición, validando su calidad para aplicaciones terapéuticas.

### **Desarrollo de Funcionalidades Adicionales**

A futuro, el firmware podría mejorarse para incluir perfiles de extracción preconfigurados según la agresividad de la colonia o las condiciones climáticas. También podría explorarse la incorporación de sensores ambientales para correlacionar la producción de apitoxina con la temperatura y la humedad, optimizando aún más el proceso.

### Referencias Bibliográficas

- Aceves, M. (2019). Ciclo de desarrollo en Software Embebido. En *Guía para Diseñar Sistemas Embebidos*. Columbia.
- Dallo, A. (2014). *Estudio sobre la composición y aplicaciones terapéuticas de la apitoxina*. Editorial Médica Científica.
- Durán, J., Rodríguez, M., & Páez, C. (2011). Efectos de la electroestimulación sobre la producción de apitoxina y la salud de las abejas. *Revista Colombiana de Apicultura*, 9(2), 34–41.
- Freire, M. (2022). *Diseño e implementación de un prototipo electrónico para la extracción de apitoxina en abejas de la región amazónica preservando su vida* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional ESPOCH.
- López, A. (2020). *Manual de apiterapia: Usos terapéuticos del veneno de abeja*. Editorial Apícola Andina.
- Martínez, C. (2019). Composición mineral y propiedades farmacológicas del veneno de abeja. *Revista de Medicina Alternativa*, 17(4), 203–210.
- Nates-Parra, G. (2011). Comportamiento social de *Apis mellifera*: Un enfoque genómico y etológico. *Revista Colombiana de Entomología*, 37(2), 185–194.
- Peiren, N., De Graaf, D. C., Vanrobaeys, F., Danneels, E., Devreese, B., & Jacobs, F. J. (2005). The protein composition of honeybee venom reconsidered by a proteomic approach. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics*, 1752(1), 1–5.  
<https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2005.05.010>
- Sánchez, L., Buitrago, J., & Melo, A. (2017). Desarrollo de un sistema de extracción de apitoxina mediante estimulación eléctrica controlada con Arduino. *Revista Colombiana de*

*Biotecnología*, 19(1), 56–64.

Tabares, J. (2014). Técnicas de administración de apitoxina y sus aplicaciones clínicas. *Revista de Terapias Alternativas*, 10(3), 42–47.

Villalobos, C., & Martínez, A. (2019). Uso de la apitoxina como alternativa terapéutica en enfermedades autoinmunes. *Medicina Natural y Terapias Complementarias*, 11(2), 459–467.

Documentación Técnica y Hojas de Datos

Arduino. (s.f.). *Arduino Nano* [Documentación oficial]. <https://docs.arduino.cc/hardware/nano>

Consonance-elec. (s.f.). *CN3303: 3A Lithium Ion Battery Charger for 2-Cell Batteries*

[Hoja de

datos].

[https://www.scribd.com/document/805928609/2206131630-ShangHai-Consonance-Elec-](https://www.scribd.com/document/805928609/2206131630-ShangHai-Consonance-Elec-CN3303-C3034873-Zh-CN-es)

[CN3303-C3034873-Zh-CN-es](https://www.scribd.com/document/805928609/2206131630-ShangHai-Consonance-Elec-CN3303-C3034873-Zh-CN-es)

Hitachi. (1999). *HD44780U: Dot Matrix Liquid Crystal Display Controller/Driver* [Hoja de datos]. <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>

HYCON Technology. (2016). *HY2120: 2-Cell Lithium-ion/Polymer Battery Protection IC* [Hoja de datos]. [https://www.hycontek.com/wp-content/uploads/DS-HY2120\\_EN.pdf](https://www.hycontek.com/wp-content/uploads/DS-HY2120_EN.pdf)

Microchip Technology Inc. (2016). *ATmega328/P 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash* [Hoja de datos].

<https://datasheet.octopart.com/ATMEGA328-AU-Microchip-datasheet-65729177.pdf>

NXP Semiconductors. (2021). *PCF8574: Remote 8-bit I/O expander for I2C-bus* [Hoja de datos].

[https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCF8574\\_PCF8574A.pdf](https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCF8574_PCF8574A.pdf)

Onsemi. (2006). *2N2222A: NPN Bipolar Transistor* [Hoja de datos].

<https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/p2n2222a-d.pdf>

Panasonic Corporation. (2012). *NCR18650B: Lithium-Ion Battery* [Hoja de datos].

<https://www.batteryspace.com/prod-specs/ncr18650b.pdf>

Sharp Corporation. (2006). *PC817: Photocoupler* [Hoja de datos].

[https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/PC817XxNSZ1B\\_e.pdf](https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/PC817XxNSZ1B_e.pdf)

Songle. (s.f.). *SRD-05VDC-SL-C: Songle Power Relay* [Hoja de datos].

<https://www.elecrow.com/download/SRD-5VDC-SL-C.pdf>

Texas Instruments. (2017). *LM2596: Simple Switcher 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator*

[Hoja de datos]. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>

Vishay General Semiconductor. (2014). *1N4001 thru 1N4007: General-Purpose Plastic Rectifier*

[Hoja de datos]. <https://www.vishay.com/docs/88503/1n4001.pdf>

XLSEMI. (2014). *XL6009: 400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting*

*DC/DC Converter* [Hoja de datos].

[https://components101.com/sites/default/files/component\\_datasheet/XL6009-Datasheet.p df](https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/XL6009-Datasheet.pdf)

## Apéndices

### Apéndice A

#### *Código Fuente del Sistema de Control del Colector de Apitoxina*

```

#include <Wire.h>

#include <Adafruit_Sensor.h> #include <DHT.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

// Definiciones de pines y periféricos #define DHTPIN A1

#define DHTTYPE DHT22 #define BUTTON_START_PIN 2

#define BUTTON_EMERGENCY_PIN 3

#define RELAY_PIN 4

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// Variables de estado del sistema bool running = false;

unsigned long startMicros = 0; unsigned long relayPreviousMicros = 0;

const unsigned long activationIntervalMicros = 1000000; // Relé encendido por 1
segundo (1000000 µs)

const unsigned long deactivationIntervalMicros = 2000000; // Relé apagado por 2
segundos (2000000 µs)

const unsigned long maxRunTimeMicros = 20 * 60 * 1000000; // Tiempo total de 20
minutos (20 * 60 * 1000000 µs)

bool relayState = false;

// Variables para desplazar el texto de inicio

const char introText[] = "Colector de Apitoxina - Elian Camilo Angarita
Sanguino";

int scrollPosition = 0;

unsigned long lastScrollTime = 0;

const int scrollInterval = 300; // Intervalo de tiempo para el desplazamiento
del texto (ms)

```

```

void setup() {
  // Inicialización del sensor y de la pantalla LCD dht.begin();
  lcd.init(); lcd.backlight();
  // Configuración de pines pinMode(BUTTON_START_PIN, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BUTTON_EMERGENCY_PIN, INPUT_PULLUP);
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);

  digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Relé inicialmente apagado
}

void scrollText() {
  if (millis() - lastScrollTime >= scrollInterval) { lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    for (int i = 0; i < 16; i++) {
      int letterIndex = (scrollPosition + i) % (strlen(introText) + 16);
// Espacio adicional para no repetir los caracteres if (letterIndex >=
      strlen(introText)) {
        lcd.print(" "); // Espacios en blanco al final del mensaje
      } else { lcd.print(introText[letterIndex]);
    }
  }

  lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Esperando inicio"); // Mensaje permanente en la segunda línea
    scrollPosition = (scrollPosition + 1) % (strlen(introText) + 16); //
Aumentar el rango de scrollPosition
  lastScrollTime = millis();
}
}

```

```

void loop() {
    unsigned long currentMicros = micros(); // Obtener el tiempo actual en
microsegundos
    // Mostrar texto de inicio al encender el Arduino if (!running) {
scrollText();
    }
    // Manejo del botón de inicio (NORMALMENTE CERRADO, ACTIVADO CON ESTADO ALTO)
if (digitalRead(BUTTON_START_PIN) == HIGH && !running) { running = true;
    startMicros = currentMicros; // Reiniciar el tiempo total de funcionamiento
    relayPreviousMicros = currentMicros; // Reiniciar el contador del relé
    lcd.clear(); lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Sistema Activo");
    delay(500); // Pequeña pausa para debouncing
    }
    // Manejo del botón de emergencia (NORMALMENTE CERRADO, ACTIVADO CON ESTADO
ALTO)
if (digitalRead(BUTTON_EMERGENCY_PIN) == HIGH && running) { running = false;
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Apaga el relé en modo emergencia lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("Modo Emergencia");
    delay(500); // Pequeña pausa para debouncing
    }
    // Operaciones de control cuando el sistema está en funcionamiento if (running)
    {
    // Actualizar el tiempo total de ejecución
    unsigned long elapsedTimeMicros = currentMicros - startMicros;

```

```

// Verificar si el tiempo máximo de ejecución ha sido alcanzado if
(elapsedTimeMicros >= maxRunTimeMicros) {
running = false; // Detener el sistema después de 20 minutos
digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
lcd.clear(); lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Tiempo Completado"); return;
}

// Calcular tiempo restante, porcentaje completado y ciclos restantes unsigned
long remainingTimeMicros = maxRunTimeMicros -

elapsedTimeMicros;

    float percentageCompleted = (float)elapsedTimeMicros / maxRunTimeMicros *
100.0;

// Calcular minutos y segundos restantes
unsigned long remainingTimeSecs = remainingTimeMicros / 1000000; unsigned int
remainingMins = remainingTimeSecs / 60;
unsigned int remainingSecs = remainingTimeSecs % 60;

// Leer temperatura y humedad
float temperature = dht.readTemperature(); float humidity = dht.readHumidity();

// Verificar fallos en la lectura de sensores
if (isnan(temperature) || isnan(humidity)) { return;

}

// Mostrar información en LCD lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("TR: ");
lcd.print(remainingMins); lcd.print("m"); lcd.print(remainingSecs);
lcd.print("s/"); lcd.print(percentageCompleted, 1); lcd.print("%");
lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("T/H: "); lcd.print(temperature, 1);
lcd.print("C/"); lcd.print(humidity, 1); lcd.print("%");

```

```
// Control del relé basado en temporización

    if (relayState && (currentMicros - relayPreviousMicros >=
activationIntervalMicros)) {
relayState = false; relayPreviousMicros = currentMicros;
digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);

    } else if (!relayState && (currentMicros - relayPreviousMicros >=
deactivationIntervalMicros)) {
relayState = true; relayPreviousMicros = currentMicros; digitalWrite(RELAY_PIN,
HIGH);
}

} else {

// Reset the relay state when not running relayState = false;
digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);

}

delay(100); // Retardo entre lecturas de botones

}
```

*Nota.* Elaboración propia. Código fuente desarrollado en el entorno de programación Arduino

IDE.

## Apéndice B

### *Enlaces de Referencia para Adquisición de Componentes*

Mactrónica. (s.f.). *Pantalla LCD 1602 16x2 con backlight azul y conversor I2C.*

<https://www.mactronica.com.co/lcd-1602-16x2-back-light-azul-con-conversor-i2c>

MercadoLibre. (s.f.). *Cargador batería 18650 litio USB Tipo C serie 2S 4A.*

[https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1499862315-cargador-bateria-18650-litio-usb-tipo-c-serie-2s-4a-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1499862315-cargador-bateria-18650-litio-usb-tipo-c-serie-2s-4a-_JM)

MercadoLibre. (s.f.). *Convertidor de voltaje DC-DC LM2596 step-down.*

[https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-2330652452-convertidor-de-voltaje-dc-dc-lm-2596-reductor-step-down-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-2330652452-convertidor-de-voltaje-dc-dc-lm-2596-reductor-step-down-_JM)

MercadoLibre. (s.f.). *Módulo cargador 2 celdas 2S batería Li-ion 18650 10A BMS.*

[https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-465411427-modulo-cargador-2-celdas-2s-bateria-li-ion-18650-10a-bms-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-465411427-modulo-cargador-2-celdas-2s-bateria-li-ion-18650-10a-bms-_JM)

MercadoLibre. (s.f.). *Módulo elevador de voltaje DC-DC XL6009 step-up.*

[https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1422659077-modulo-elevador-de-voltaje-dc-dc-xl6009-step-up-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1422659077-modulo-elevador-de-voltaje-dc-dc-xl6009-step-up-_JM)

MercadoLibre. (s.f.). *Optoacoplador fototransistor PC817 NPN DIP4.*

[https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1485673351-optoacoplador-fototransistor-pc817-npn-dip4-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1485673351-optoacoplador-fototransistor-pc817-npn-dip4-_JM)

MercadoLibre. (s.f.). *Potenciómetro multivuelta 10k de precisión 3590S-2-103.*

[https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-523061290-potenciometro-multivuelta-10k-de-precision-3590s-2-103-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-523061290-potenciometro-multivuelta-10k-de-precision-3590s-2-103-_JM)

MercadoLibre. (s.f.). *Relé 3V/5V/12V/24V 5 pines 10A.* <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO->

2618253758-rele-relevo-relay-3v-5v-12v-24v

-5-pines-10a-x-2-unidades-\_JM

MercadoLibre. (s.f.). *Voltímetro digital 0.56 pulgadas 4.5–30V azul 3 cables.*

<https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-548454975-voltimetro-digital-056-056-pulgadas-45->

30v-azul-3-cables-\_JM

*Nota.* Fuentes de adquisición de materiales consultadas durante el desarrollo del proyecto.