



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

NOMBRE DEL PROYECTO

TRAZADOR DE CURVAS PARA DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES

OPCIÓN QUE CORRESPONDA

TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

IINGENIERIA MECATRONICA

PRESENTA:

ERIKA TECUAPACHO SANCHEZ

NOMBRE DEL ASESOR:

Dra. RAQUEL RAMIREZ AMADOR



APIZACO, TLAX., ABRIL 2026



Tzompantepec, Tlaxcala, 13/noviembre/2025

Oficio No. MM-711/2025

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación Integral.

LIC. CECILIA YARELLY ARREGUIN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para Titulación integral:

Alumno (a):	ERIKA TECUAPACHO SÁNCHEZ
Carrera:	INGENIERÍA MECATRÓNICA
No. De Control:	20370759
Nombre del Proyecto:	"TRAZADOR DE CURVAS PARA DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES".
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

MTRO. JORGE AGUILAR VÁZQUEZ
JEFE DEL DEPTO. DE METAL-MECÁNICA



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPTO. DE METAL-MECÁNICA

DRA. RAQUEL RAMÍREZ AMADOR
ASESORA

c.p.- Archivo,
JAV*petry.



2025
Año de
La Mujer
Indígena





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, **30/Enero/2026**

ERIKA TECUAPACHO SÁNCHEZ
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
CON NÚMERO DE CONTROL 20370759.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **"TRAZADOR DE CURVAS PARA DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES"**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

CECILIA YARELY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
**DIVISIÓN DE
ESTUDIOS PROFESIONALES**

ccp. Archivo
CYAL/Gsc*



2026
año de
**Margarita
Maza**



Agradecimientos.

Primero que nada, agradezco a la vida por permitirme terminar esta etapa universitaria y de estudios de una forma en paz, llena de recuerdos que se quedan en mi memoria y corazón, cada emoción que me hizo pasar en esta linda etapa.

A mi familia le agradezco por estar en cada momento apoyándome, por cada aventura que me han acompañado desde momentánea hasta planeada, ayudándome a crecer como persona y como profesionista.

A mis papas que me apoyan incondicionalmente, mi mamá que escuchaba cada que lo necesitaba y me da ese apoyo incondicional para que pueda seguir adelante y no me rinda en cada momento, mi papá que me enseña cada día que uno solo es quien crea su sueño y no necesita de nadie para lograr grandes cosas, nunca es tarde para aprender algo nuevo y nunca decaerse por algo insignificante a veces eso puede ayudarte a mejorar y encontrar nuevos caminos.

A mis hermanos que cada uno me ayudo, apoyo de a seguir nuevas ideas, aventuras, quienes me daban ánimos cada ya no podía en esas noches largas de desvelo y me alentaban para no abandonar.

A cada uno de mis mascotas que estuvieron en esas noches de desvelo esperándome y acompañándome para que fuera a descansar, quienes me hacían por algún momento distraerme para no estresarme con las tareas.

A mi asesora la Doctora Raquel que permitió hacer mis residencias con ella, le agradezco esa calidez que brinda a cada persona, esa paz que transmite, y gracias por permitir conocer un nuevo entorno de vida y permitirme vivir esa experiencia del CanSat 2025.

Al Doctor Raul por el apoyo que ha dado en mi proyecto y esa calidez de persona que tiene.

A la Doctora Haydee por permitirme ser parte de BULLTEC, que me enseñó una forma distinta de apreciar la vida, gracias por invita me cada concurso y aventura dentro del ámbito de la robótica, y cada viaje que compartimos.

A Luis Angel por estar ahí en cada momento que lo necesite y me brindo una mano cada que lo necesitaba, me permitiste ver un entorno distinto a la vida y gracias.

A mi gracias por no creer nunca lo que escuchabas y seguiste adelante esforzándote, no rendirte y seguir adelante.

Gracias a todos los que formaron parte de esta etapa y los quiero

Índice

Agradecimientos.....	1
Resumen.....	3
Índice.....	4
Generalidades del proyecto	6
Introducción.....	6
Problemas por resolver, priorizándolos.....	6
Justificación.....	6
Objetivos.....	7
Objetivos Específicos.....	7
Capítulo I.....	8
Comunidad TecNM Apizaco	9
1. Historia	9
2. Misión y Visión	10
2.1 Misión.....	10
2.2 Visión.....	10
3. Valores	10
3.1 Honestidad	10
3.2 Responsabilidad.....	10
3.3 Lealtad	10
4. Política integral de administración institucional calidad, medio ambiente y seguridad y salud en el trabajo.....	10
5. Política de igualdad laboral y no discriminación del tecnológico nacional de México. ..	11
6. Oferta Educativa.....	11
7. Ubicación.....	12
Capitulo II	13
Marco Teórico.....	14
Historia del Trazador de Curvas y los Semiconductores.....	14
Trazador de curvas	16
El Nacimiento del Trazador de Curvas Comercial (1950s).....	16
Capitulo III.....	22
Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.....	23

Prototipo Físico.	26
Adquisición de componentes.....	26
Construcción del prototipo.	28
Creación de la PCB	33
Selección de caja.	40
Notas para la creación y mantenimiento del trazador de curvas.	44
Capítulo IV	45
Resultados	46
Capítulo V	50
Conclusiones de Proyecto, recomendaciones.....	51
Fuentes de Información.....	52
Fuentes de información	53
Anexos.....	54
Índice de Ilustraciones.....	56
Índice de Diagramas.....	56
Índice de Imágenes.....	56
Índice de Tabla.	57

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño y construcción de un trazador de curvas para dispositivos semiconductores, orientado a la caracterización y análisis del comportamiento eléctrico de componentes tales como diodos, transistores de unión bipolar (BJT) y transistores de efecto de campo (MOSFET). El proyecto busca proporcionar una herramienta didáctica y funcional que facilite la comprensión práctica de los principios de la electrónica de estado sólido en el ámbito académico y de investigación.

El desarrollo del prototipo toma como referencia el modelo comercial KI-CT3020A de KING Instrument Electronics, al cual se le integraron actualizaciones tecnológicas para optimizar su uso educativo. La metodología comprendió etapas de investigación teórica, simulación y diseño esquemático mediante software especializado (Proteus y KiCad), culminando con la manufactura de la placa de circuito impreso (PCB) y el ensamblaje del sistema físico.

Los resultados obtenidos validan que el dispositivo cumple satisfactoriamente con los objetivos planteados, ofreciendo una alternativa accesible, económica y precisa frente a los equipos comerciales. Asimismo, constituye un recurso significativo para la formación de nuevas generaciones en las áreas de ingeniería electrónica, semiconductores y mecatrónica.

Generalidades del proyecto

Introducción.

La caracterización electrónica de dispositivos semiconductores constituye una actividad esencial en los procesos de diseño, investigación y desarrollo de sistemas eléctricos, mediante el análisis de las curvas características corriente-voltajes (I-V), es posible determinar parámetros fundamentales de los componentes.

Dentro del ámbito educativo, contar con herramientas de medición accesibles y funcionales es de gran importancia para reforzar los conocimientos teóricos adquiridos en el aula de clases, los trazadores de curvas para dispositivos semiconductores comerciales suelen ser de costos elevados, lo que puede llegar a restringir en la adquisición de uno.

Por ello se presenta un proyecto que plantea el desarrollo de un trazador de curvas de bajo costo, diseñado y construido con materiales accesible con el objetivo de facilitar la enseñanza practica de la electrónica de los semiconductores.

La propuesta consiste en dar una mejorar un diseño ya existente, este dispositivo permite analizar el comportamiento de algunos dispositivos semiconductores de forma didáctica, precisa y segura dentro de un aula de estudios, ayudando así sobre una mejor comprensión de los dispositivos semiconductores. Presentando una propuesta fácil de utilizar y un diseño cómodo para la manipulación, facilitación didáctica permitiendo una herramienta accesible y cómoda para los estudiantes.

Problemas por resolver, priorizándolos.

Comprender como funcionan los dispositivos semiconductores, su aplicación en el ámbito educativo, de investigación, conformando conocimientos sobre ellos, el comportamiento que tienen al someterse a corriente eléctrica.

Ayudando a que estudiantes que inician en ingeniería eléctrica, electrónica y semiconductores conozcan su comportamiento dentro de un circuito y se entienda de una forma práctica y teórica, practico y didáctico dentro del área.

Justificación.

La caracterización precisa de dispositivos semiconductores es fundamental para el desarrollo y la fabricación de componentes electrónicos de alta calidad. Los trazadores de curvas desempeñan un papel crucial en este proceso, ya que permiten obtener información detallada sobre las características eléctricas de los semiconductores, como la relación tensión-corriente. Esta información es esencial para diseñar y optimizar circuitos electrónicos, así como para garantizar la fiabilidad y el rendimiento de los dispositivos en aplicaciones prácticas.

En la industria de semiconductores, la demanda de dispositivos más eficientes y de mayor rendimiento está en constante crecimiento. Los trazadores de curvas son herramientas indispensables para los ingenieros y científicos que trabajan en la investigación y desarrollo de nuevos semiconductores, ya que les permiten evaluar y mejorar las propiedades eléctricas

de estos dispositivos. Además, estos instrumentos son vitales para la detección de fallos y la mejora de los procesos de fabricación, contribuyendo así a la reducción de costos y al aumento de la calidad de los productos finales

Objetivos.

- Diseñar y construir un trazador de curvas para dispositivos semiconductores con ambientes gráficos para la evaluar el comportamiento de dispositivos electrónicos.

Objetivos Específicos.

- Analizar y sintetizar fuentes bibliográficas (artículos científicos, patentes y manuales técnicos) sobre diseño, funcionamiento y especificaciones de trazadores de curvas de bajo costo para transistores BJT y MOSFET.
- Desarrollar y validar un modelo de simulación circuital de un trazador de curvas para obtener las curvas características $I_D - V_{DS}$ y $I_C - V_{CE}$ de un MOSFET y un BJT.
- Diseñar y ensamblar un prototipo de trazador de curvas de bajo costo basado en la arquitectura del modelo KI-CT3020A, implementando una placa PCB y componentes de fácil acceso.

Capítulo I

Tecnológico Nacional de México

Campus Apizaco

Comunidad TecNM Apizaco

1. Historia

La historia de la sociedad tlaxcalteca ha sido marcada e impulsada por el trabajo, el compromiso y la visión de hombres y mujeres que con determinación y ahínco han buscado el desarrollo del estado.

Sin duda, personalidades de gran trascendencia como Don Emilio Sánchez Piedras, entonces Gobernador Constitucional, comprometido con la juventud del estado, contando con el apoyo decisivo del presidente de la República, el Lic. Luis Echeverría Álvarez, personaje visionario del futuro de la educación y de la juventud de esta región del país, gestiona y funda el Instituto Tecnológico Regional de Apizaco e inicia sus actividades el 1 de octubre del año de 1975.

El Tecnológico de Apizaco, desde hace más de cuatro décadas, se ha dedicado a propiciar alternativas reales y sustentables para la juventud de la región. Es una Institución que pertenece al Tecnológico Nacional de México, del cual formamos parte de 254 Tecnológicos distribuidos en los 32 estados del país.

El ITA ofrece en su formación educativa 12 Ingenierías, 3 Maestrías y 1 Doctorado, cuyas matrículas abarcan de manera integral una formación general básica que incluye el fortalecimiento científico y metodológico; todas las carreras cuentan con especialidades diseñadas para atender las necesidades de los sectores productivo y social. Los planes de estudio están basados en una estructura genérica, una especialidad y una residencia profesional. (ITApizaco, Reseña Histórica, 2012)



Ilustración 1 Instituto Tecnológico de Apizaco.

2. Misión y Visión

2.1 Misión

Formar profesionistas que sean líderes visionarios, emprendedores, con capacidad de generar soluciones disruptivas, innovando en la ciencia y la tecnología, comprometidos con el desarrollo económico, responsabilidad social teniendo una visión sostenible y sustentable. (ITApizaco, Misión y Visión, 2012)

2.2 Visión

Ser una Institución de educación superior tecnológica de vanguardia, formadora de ciudadanos del mundo, con conocimientos intercultural, respetando la diversidad social. (ITApizaco, Misión y Visión, 2012)

3. Valores

3.1 Honestidad

Se demuestra día a día a través de la transparencia con la ejecución de las actividades laborales cotidianas.

3.2 Responsabilidad

Es la actitud que caracteriza al personal en el cumplimiento de su tarea con eficacia y eficiencia en beneficio de la comunidad.

3.3 Lealtad

Es la actitud que caracteriza al personal del Instituto Tecnológico de Apizaco, aplica sus conocimientos y habilidades en el logro de las metas institucionales, sin olvidar en ningún momento el lema:

“Pensar para servir, servir para triunfar ®”

(ITApizaco, Valores, 2012)

4. Política integral de administración institucional calidad, medio ambiente y seguridad y salud en el trabajo.

El Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Apizaco, establece el compromiso de implementar y orientar todos sus procesos estratégicos y actividades hacia la calidad del servicio educativo, respeto del medio ambiente, seguridad y salud de las personas dando cumplimiento a los requisitos del estudiantado y partes interesadas, legislación aplicable y otros requisitos que se describan, así como promover en su personal, estudiantes y partes interesadas la prevención de la contaminación y el uso racional de los recursos, así como la prevención de accidentes, mediante la implementación, operación y mejora continua de un Sistema de Gestión Integral, conforme a las Normas ISO 9001:2015/NMX-CC 9001-IMNC-2015, ISO 14001:2015/NMX-SAAIMNC-14001-2015 e ISO 45001:2018/NMX-SAST-45001/IMNC-2018, coadyuvando a la conformación de una sociedad justa y humana, con una perspectiva de sustentabilidad y de seguridad en el trabajo, siendo uno de los pilares fundamentales del desarrollo sostenido y sustentable. (ITApizaco, POLÍTICA INTEGRAL DE ADMINISTRACIÓN INSTITUCIONAL, 2012)

5. Política de igualdad laboral y no discriminación del tecnológico nacional de México.

El Tecnológico Nacional de México a través de su Director General, manifiesta su compromiso con la defensa de los derechos humanos, por lo que en la esfera de su competencia garantizará el principio de igualdad sustantiva entre mujeres y hombres en el ejercicio de sus derechos laborales, así como el derecho fundamental a la no discriminación en los procesos de ingreso, formación y promoción profesional, además de sus condiciones de trabajo, quedando prohibido el maltrato, violencia y segregación de las autoridades hacia el personal y entre el personal en materia de cualquier forma de distinción, exclusión o restricción basada en el origen étnico o nacional, apariencia física, cultura, sexo, género, edad, discapacidad, condición social o económica, condiciones de salud, embarazo, lengua, religión, opiniones, preferencias sexuales, estado civil, situación migratoria o cualquier otra, que tenga por efecto impedir o anular el reconocimiento o el ejercicio de los derechos y la igualdad real de oportunidades. (ITApizaco, POLÍTICA DE IGUALDAD LABORAL Y NO DISCRIMINACIÓN, 2012)

6. Oferta Educativa.

La oferta educativa del Tecnológico Nacional de México Campus Apizaco se divide en 12 licenciaturas, también ofrece posgrados, el cual se divide en 3 maestría y un doctorado, como se muestra en el diagrama siguiente. (ITApizaco, Oferta Educativa Licenciatura Enero-Junio 2025, 2025)

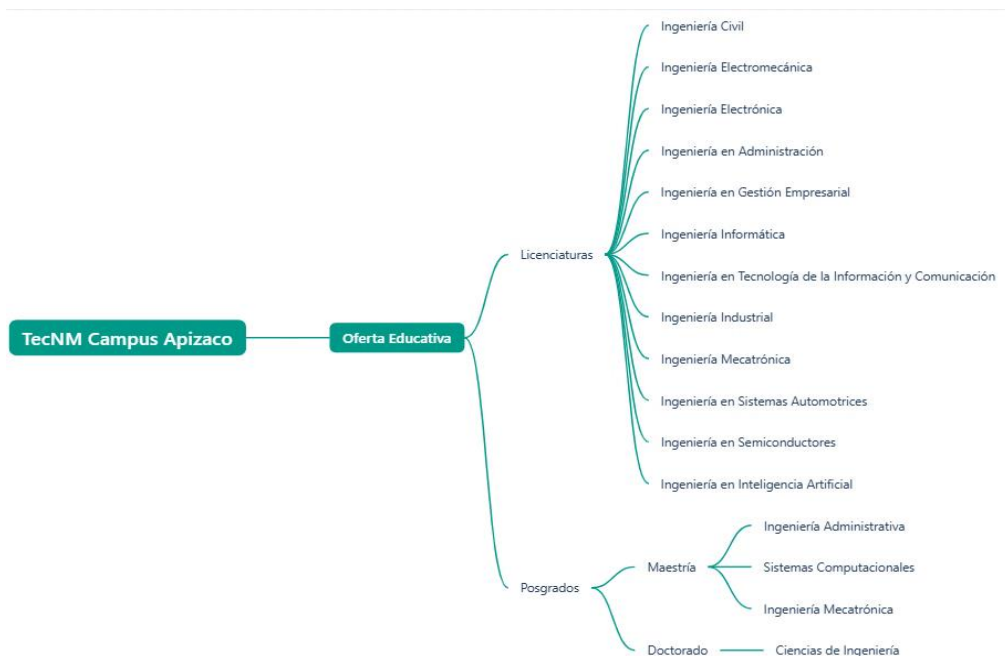


Diagrama 1 Oferta educativa del Tecnológico de Apizaco.

Dentro de la oferta educativa ofrecida por el Tecnológico Nacional de México Campus Apizaco, se tuvo la oportunidad de formar parte de una, de las doce licenciaturas, Ingeniería Mecatrónica pertenece al departamento de metal-mecánica.

7. Ubicación

El Instituto Tecnológico de Apizaco se encuentra ubicado geográficamente en el estado de Tlaxcala, México.

Está ubicado en el Municipio de Tzompantepec, con domicilio en Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec, Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Méx. C.P. 90491 (ITApizaco, Instalaciones, 2012)

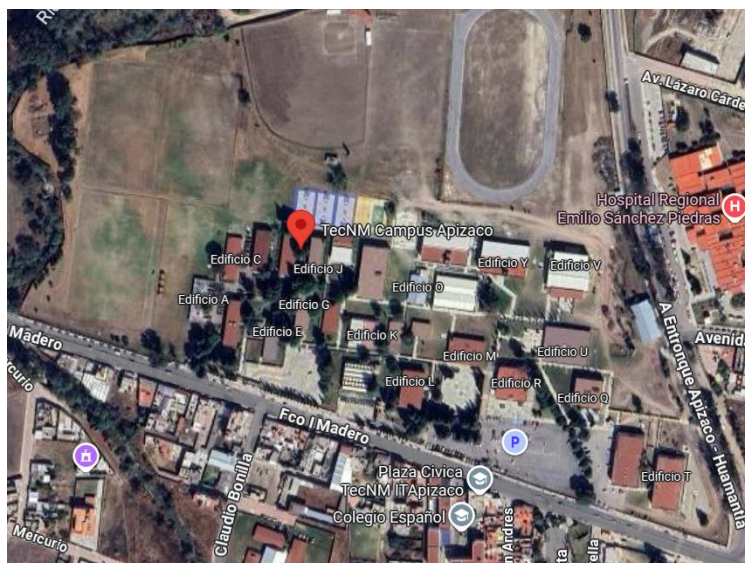


Ilustración 2 Vista satelital del ITApizaco

Capítulo II

Marco teórico

Marco Teórico.

Los semiconductores son dispositivos diversos, los cuales se manejan en distintas áreas de oportunidades, académico, industrial y de la vida cotidiana. Nuestro proyecto se enfocará en el área académico, un trazador de curvas para dispositivos semiconductores, el cual nos permitirá leer diversos semiconductores.

Historia del Trazador de Curvas y los Semiconductores.

Orígenes y Primeros Descubrimientos (Siglo XIX - Principios del Siglo XX)

La historia de los semiconductores no comenzó con el transistor, sino con observaciones curiosas sobre las propiedades eléctricas de ciertos materiales, que no se ajustaban ni a las de un conductor (como el cobre) ni a las de un aislante (como el vidrio).

- 1833: El Descubrimiento de Faraday y la Resistencia Anómala. El físico y químico inglés Michael Faraday realizó una observación crucial mientras investigaba la conductividad de los materiales. Descubrió que el sulfuro de plata presentaba un comportamiento inusual: su resistencia eléctrica disminuía al aumentar la temperatura. Este fenómeno era contrario al de los metales, cuya resistencia generalmente aumenta con la temperatura. Aunque Faraday no comprendió la naturaleza subyacente de este efecto, su hallazgo fue una de las primeras pistas sobre la existencia de materiales con propiedades eléctricas intermedias, lo que hoy conocemos como semiconductores (Lojek, 2007).
- 1874: La Rectificación de Braun. Karl Ferdinand Braun, un físico alemán, es acreditado con el descubrimiento del efecto de rectificación en contactos metal-semiconductor. Observó que un punto de contacto entre un cable de metal y ciertos sulfuros metálicos (como la pirita de hierro) permitía que la corriente fluyera más fácilmente en una dirección que en la otra. Este efecto, conocido como rectificación de contacto, es la base de los diodos y fue un paso temprano hacia el control del flujo de corriente en dispositivos electrónicos (Braun, 1874).
- 1906: El Primer Diodo de Cristal y la Radio. Basándose en los principios de rectificación, Greenleaf Whittier Pickard desarrolló el primer detector de radio de cristal de silicio. Este dispositivo rudimentario, esencialmente un diodo de silicio fue crucial para la demodulación de señales de radio. Los "bigotes de gato" (cat's whisker detectors) de esta época, que utilizaban un alambre fino tocando un cristal semiconductor, se convirtieron en un componente vital de los primeros receptores de radio, demostrando la utilidad práctica de estos materiales (Lojek, 2007).

La Era de la Teoría Cuántica y el Salto Conceptual (1920s - 1940s)

A pesar de estas observaciones tempranas, la comprensión profunda del comportamiento de los semiconductores tuvo que esperar el desarrollo de la mecánica cuántica y la física del estado sólido. Estas nuevas teorías proporcionaron el marco teórico necesario para explicar por qué algunos materiales eran conductores, otros aislantes y otros, semiconductores.

- La Teoría de Bandas. A principios de la década de 1930, científicos como Alan Wilson propusieron la teoría de bandas de energía. Esta teoría postula que los electrones en un sólido solo pueden ocupar ciertas bandas de energía. La clave para entender los

semiconductores radica en la banda de valencia (donde residen los electrones en sus estados de energía más bajos) y la banda de conducción (donde los electrones pueden moverse libremente y conducir electricidad).

- ❖ En los conductores, la banda de valencia y la de conducción se superponen, permitiendo que los electrones se muevan libremente con facilidad.
- ❖ En los aislantes, hay una gran brecha de energía (banda prohibida o *band gap*) entre la banda de valencia y la de conducción, lo que dificulta que los electrones salten a la banda de conducción.
- ❖ En los semiconductores, existe una brecha de energía *moderada* entre las dos bandas. A temperatura ambiente, algunos electrones tienen suficiente energía térmica para cruzar esta brecha y moverse a la banda de conducción, permitiendo una conductividad limitada. Al aumentar la temperatura o al introducir "impurezas" (dopaje), la conductividad puede aumentar significativamente (Wilson, 1931).
- El Impacto del Dopaje. La comprensión de que la conductividad de los semiconductores podía ser controlada mediante la adición de pequeñas cantidades de impurezas (un proceso llamado dopaje) fue revolucionaria.
 - ❖ El dopaje tipo N implica añadir átomos con más electrones de valencia (donantes) a un semiconductor, creando un exceso de electrones libres que actúan como portadores de carga negativos.
 - ❖ El dopaje tipo P implica añadir átomos con menos electrones de valencia (aceptores), creando "agujeros" (vacantes de electrones) que actúan como portadores de carga positivos. La capacidad de crear regiones N y P adyacentes en un mismo cristal abrió la puerta a la creación de uniones PN, la base de los diodos y, crucialmente, los transistores (Lojek, 2007).

La Invención del Transistor y el Amanecer de la Era de la Electrónica de Estado Sólido (1947 en adelante)

El punto de inflexión en la historia de los semiconductores, y por ende de toda la electrónica, fue la invención del transistor.

- 1947: El Transistor de Contacto Puntual. En los Laboratorios Bell, un equipo de científicos compuesto por John Bardeen, Walter Brattain y William Shockley buscaba un dispositivo que pudiera reemplazar los voluminosos, frágiles y calientes tubos de vacío. El 16 de diciembre de 1947, lograron que un pequeño dispositivo de germanio con dos contactos metálicos sobre su superficie amplificara una señal eléctrica. Este fue el primer transistor, conocido como transistor de contacto puntual. Aunque inicialmente un poco inestable y difícil de fabricar en masa, demostró el concepto de la amplificación de estado sólido (Bardeen & Brattain, 1948).
- 1948: El Transistor de Unión Bipolar (BJT). Poco después, William Shockley desarrolló el transistor de unión bipolar (BJT). A diferencia del diseño de contacto puntual, el BJT se basaba en la formación de uniones PN controladas dentro del mismo cristal semiconductor (por ejemplo, una estructura NPN o PNP). Este diseño era más robusto, predecible y susceptible de fabricación en masa, lo que lo convirtió en el caballo de batalla de la electrónica durante décadas. La invención del transistor

les valió a Bardeen, Brattain y Shockley el Premio Nobel de Física en 1956 (Riordan et al., 1999).

- 1954: El Silicio Toma el Protagonismo. Aunque el germanio fue el material inicial para los transistores, se descubrió que el silicio ofrecía ventajas significativas. El silicio tiene una mayor temperatura de operación y es mucho más abundante en la corteza terrestre (como parte de la arena de cuarzo), lo que lo hace más barato y accesible. Texas Instruments fue pionero en la producción del primer transistor de silicio comercialmente viable en 1954. Esto marcó un cambio fundamental y estableció al silicio como el material semiconductor dominante para la mayoría de las aplicaciones electrónicas (Lojek, 2007).

Trazador de curvas

La Necesidad de Caracterización y los Precursores del Trazador de Curvas (Pre-1950s)

Antes de la invención del trazador de curvas como un instrumento dedicado, los ingenieros y científicos se enfrentaban a un desafío considerable: ¿cómo se podía medir y visualizar de manera efectiva el comportamiento eléctrico de los nuevos dispositivos semiconductores, especialmente los transistores? La respuesta estaba en sus curvas de corriente-voltaje (I-V).

- Entendiendo las Curvas I-V: Las curvas I-V son representaciones gráficas de cómo la corriente (I) a través de un dispositivo varía en función del voltaje (V) aplicado a sus terminales, a menudo bajo diferentes condiciones de control (por ejemplo, corriente de base en un transistor). Para los primeros diodos, se necesitaba una curva simple de corriente directa. Para los transistores, se requerían múltiples curvas de salida (corriente de colector vs. voltaje colector-emisor para diferentes corrientes de base) para entender su amplificación y características de operación (Tektronix, 1955).
- Configuraciones de Laboratorio Rudimentarias: Antes de la existencia de trazadores de curvas comerciales, los ingenieros utilizaban configuraciones de laboratorio improvisadas. Esto implicaba:
 - Fuentes de Voltaje y Corriente Variables: Para barrer el voltaje a través del dispositivo.
 - Amperímetros y Voltímetros: Para medir los valores de corriente y voltaje correspondientes.
 - Osciloscopios: A menudo, se usaba un osciloscopio en modo X-Y, donde la señal de voltaje se aplicaba al eje X y la señal de corriente (convertida a voltaje a través de una resistencia de detección) al eje Y. Sin embargo, estas configuraciones eran manuales, lentas, propensas a errores y no permitían una visualización simultánea de múltiples curvas o un barrido rápido de las condiciones de prueba. La precisión era limitada y la eficiencia muy baja para el ritmo de desarrollo de los semiconductores (Lojek, 2007).

El Nacimiento del Trazador de Curvas Comercial (1950s)

La invención del transistor de unión por Shockley y la necesidad de fabricarlo en masa y entender su rendimiento de manera eficiente, impulsaron el desarrollo de un instrumento especializado.

- 1955: El Tektronix Type 570 Transistor Curve Tracer. Este es ampliamente reconocido como uno de los primeros trazadores de curvas comerciales y revolucionarios. Fue desarrollado por George R. Wilson en Tektronix, una empresa líder en instrumentación electrónica.
 - ❖ Innovación: El Type 570 no era simplemente un osciloscopio con fuentes externas; era un sistema integrado diseñado específicamente para la caracterización de transistores. Proporcionaba un barrido automático de voltaje y corriente, lo que permitía una visualización instantánea y repetitiva de las familias de curvas I-V en la pantalla de un tubo de rayos catódicos (CRT) (Tektronix, 1955).
 - ❖ Funcionalidad Clave: Permitía a los ingenieros visualizar y medir parámetros cruciales como:
 - Ganancia de corriente (hFE): Fundamental para la amplificación del transistor.
 - Voltajes de ruptura: Los límites de voltaje que el dispositivo podía soportar.
 - Fugas de corriente: Corrientes indeseadas cuando el dispositivo estaba apagado.
 - Características de saturación y corte: El comportamiento del transistor en sus estados de encendido y apagado.
 - ❖ Impacto: El Type 570 fue un cambio de juego. Redujo drásticamente el tiempo y el esfuerzo necesarios para probar transistores, lo que aceleró el diseño de circuitos, la calificación de componentes y el análisis de fallas. Se convirtió en una herramienta estándar en laboratorios de I+D, fábricas y universidades (Lojek, 2007).

Evolución y Refinamiento (1960s - 1970s)

A medida que la tecnología de semiconductores avanzaba rápidamente con la introducción de nuevos tipos de transistores y los primeros circuitos integrados, los trazadores de curvas también tuvieron que evolucionar para mantenerse al día con la creciente complejidad.

- Diversificación de Dispositivos: La aparición de los Transistores de Efecto de Campo (FETs) como el JFET y, más tarde, el MOSFET, requirió que los trazadores de curvas tuvieran modos de prueba adicionales y la capacidad de aplicar voltajes de puerta en lugar de corrientes de base (Tektronix, 1975).
- Mayor Precisión y Rango de Medida: A medida que los dispositivos se volvían más sensibles o manejaban potencias más altas, la necesidad de mayor precisión en la medición de corriente y voltaje, así como rangos de potencia más amplios, se hizo evidente (Tektronix, 1975).
- Modelos Icónicos:
 - ❖ Tektronix 576: Lanzado en la década de 1970, el Tektronix 576 se convirtió en un estándar de la industria. Ofrecía una mayor versatilidad, permitiendo pruebas de transistores bipolares y FETs, diodos, diodos Zener y otros componentes. Incluía características como la compensación de corriente de fuga y capacidades para medir transconductancia. Su robustez y fiabilidad lo hicieron omnipresente (Tektronix, 1975).

- ❖ Tektronix 370A/B: Estos modelos de trazadores de curvas representaron una evolución significativa, con mayor precisión y capacidades de prueba más sofisticadas, incluyendo la medición de parámetros de bajo nivel de corriente y voltaje. Se utilizaban a menudo para caracterizaciones críticas y análisis de fallas en la investigación y el desarrollo (Tektronix, 1980).
- Automatización Limitada: Aunque todavía eran instrumentos manuales, se comenzaron a explorar las primeras formas de automatización, como la posibilidad de controlar ciertos parámetros externamente o registrar datos a través de interfaces rudimentarias (Lojek, 2007).

La Era Digital y la Integración con la Computación (1980s - Presente)

La llegada de la computación personal y la digitalización de la instrumentación marcaron una nueva fase en la evolución del trazador de curvas.

- Digitalización y Adquisición de Datos: Los trazadores de curvas comenzaron a incorporar convertidores analógico-digitales (ADC) para digitalizar las curvas I-V. Esto permitió que los datos fueran almacenados en la memoria del instrumento o exportados a una computadora para su posterior análisis (Tektronix, 1990).
- Control Basado en PC: La integración con computadoras personales, a menudo a través de interfaces GPIB (General Purpose Interface Bus) o RS-232, permitió la automatización completa de las pruebas. Los usuarios podían programar secuencias de prueba complejas, barrer múltiples parámetros, almacenar gigabytes de datos de características y generar informes detallados. Esto fue crucial para la caracterización de componentes en el diseño de semiconductores (Tektronix, 1990).
- Analizadores Paramétricos de Semiconductores (SPA): Con el tiempo, los trazadores de curvas más avanzados comenzaron a fusionarse con los Analizadores Paramétricos de Semiconductores (SPA). Estos son sistemas de prueba mucho más completos que pueden realizar una vasta gama de mediciones eléctricas (I-V, C-V, mediciones de tiempo, ruido, etc.) en dispositivos semiconductores, no solo trazando curvas sino también extrayendo modelos de dispositivos, analizando el rendimiento a diferentes temperaturas y realizando pruebas a nivel de oblea (Keithley Instruments, 2004).
- Software de Análisis Avanzado: Los trazadores y analizadores modernos vienen equipados con software sofisticado que no solo permite la visualización de curvas, sino también el ajuste de modelos de dispositivos, la extracción de parámetros SPICE, la comparación de datos con especificaciones de hojas de datos, y el análisis estadístico de la variabilidad del proceso de fabricación (Keithley Instruments, 2004).

La Invención del Circuito Integrado y la Ley de Moore (Finales de 1950s - 1960s)

Mientras el transistor de unión bipolar se establecía como el componente fundamental de la electrónica, la siguiente gran revolución estaba a la vuelta de la esquina: el circuito integrado. La idea de integrar múltiples componentes en una sola pieza de material semiconductor transformaría radicalmente la industria electrónica.

- 1958: El Primer Circuito Integrado de Jack Kilby. En Texas Instruments, Jack Kilby concibió y demostró el primer circuito integrado funcional. Su prototipo, hecho de germanio, incluía un transistor, resistencias y capacitores conectados en una única

oblea de material semiconductor. La clave de su invención fue la demostración de que todos los componentes podían fabricarse en un solo bloque de material, eliminando la necesidad de soldar componentes discretos. Esto abrió la puerta a una miniaturización masiva y una mayor fiabilidad (Kilby, 1959).

- 1959: El CI Planar de Robert Noyce. Casi simultáneamente, y de forma independiente, Robert Noyce en Fairchild Semiconductor ideó un diseño de circuito integrado más práctico: el CI planar. Su innovación crucial fue la idea de "aislar" los componentes individuales directamente sobre la superficie de la oblea de silicio mediante técnicas de oxidación y grabado, permitiendo conexiones más robustas y un proceso de fabricación más escalable. La combinación de las ideas de Kilby y Noyce sentó las bases para la fabricación moderna de CI (Lojek, 2007).
- La Ley de Moore (1965). El cofundador de Intel, Gordon Moore, hizo una observación en 1965 que se convertiría en una de las predicciones más influyentes en la historia de la tecnología: el número de transistores en un circuito integrado denso se duplicaría aproximadamente cada dos años. Esta predicción, conocida como la Ley de Moore, no solo ha actuado como una hoja de ruta para la industria de los semiconductores, impulsando la innovación y la miniaturización, sino que también ha impulsado la necesidad de herramientas de prueba cada vez más sofisticadas (Moore, 1965).

La implicación de la Ley de Moore para los trazadores de curvas fue enorme: a medida que los CI se volvían más complejos y densos, con miles o millones de transistores en un solo chip, la capacidad de probar y caracterizar dispositivos individuales y sus interacciones se volvía crítica y, a la vez, mucho más desafiante.

El Impacto del CI en el Trazador de Curvas (1970s - 1980s)

La proliferación de los circuitos integrados, desde los de pequeña escala de integración (SSI) hasta los de gran escala (LSI), transformó las demandas sobre los trazadores de curvas. Ya no se trataba solo de probar transistores individuales.

- Necesidad de Mayor Precisión y Versatilidad. Los CI a menudo operaban con voltajes más bajos y corrientes más pequeñas, lo que requería trazadores de curvas con mayor sensibilidad y precisión en sus mediciones. Además, la diversidad de dispositivos dentro de un CI (diodos, transistores bipolares, MOSFETs, resistencias, etc.) exigía una mayor versatilidad en los modos de prueba del trazador (Tektronix, 1980).
- Análisis de Fallas en CI. Con la complejidad creciente de los CI, el análisis de fallas se volvió una disciplina crucial. Cuando un CI no funcionaba correctamente, los ingenieros de análisis de fallas utilizaban trazadores de curvas (a menudo con puntas de prueba muy finas) para probar individualmente los transistores dentro del chip (si era posible acceder a ellos) y localizar la anomalía. Una curva I-V anómala podía indicar un cortocircuito, un circuito abierto, una ruptura de aislamiento o un problema de dopaje (Lojek, 2007).
- Desarrollo de Trazadores de Curvas Más Avanzados (Ej. Tektronix 577, 370A/B). Para satisfacer estas nuevas demandas, los fabricantes como Tektronix continuaron innovando. Modelos como el Tektronix 577 (una evolución del 576) y más tarde los 370A/B no solo ofrecían mayor precisión y rangos dinámicos, sino que también

empezaron a incorporar algunas características para la prueba de dispositivos de potencia y la caracterización de diodos Zener, tiristores y otros componentes que formaban parte de los CI. La capacidad de programar pasos de voltaje y corriente, y la visibilidad de múltiples curvas en la pantalla CRT, seguían siendo fundamentales (Tektronix, 1980; Tektronix, 1990).

De la Visualización Analógica a los Analizadores Paramétricos Digitales (1990s - Presente)

La última gran transformación en la caracterización de semiconductores ha sido la migración de los trazadores de curvas puramente analógicos a sistemas de prueba digitales y automatizados, a menudo conocidos como Analizadores Paramétricos de Semiconductores (SPA).

- Digitalización y Automatización. Los trazadores de curvas modernos y los SPA aprovechan la electrónica digital y el poder de las computadoras. Las señales analógicas se digitalizan mediante convertidores analógico-digital (ADC), y los datos se procesan, almacenan y analizan mediante software (Keithley Instruments, 2004).
 - ❖ Control por Software: Esto permite una automatización completa de las pruebas. Los ingenieros pueden escribir *scripts* para barrer rangos extensos de voltaje y corriente, realizar mediciones en milisegundos, y recopilar miles o millones de puntos de datos (Keithley Instruments, 2004).
 - ❖ Extracción de Parámetros: El software puede ir más allá de la simple visualización de curvas. Puede extraer automáticamente parámetros clave del dispositivo (como la tensión umbral de un MOSFET, la transconductancia, las fugas, etc.) y compararlos con las especificaciones de diseño (Keithley Instruments, 2004).
 - ❖ Modelado de Dispositivos (SPICE). Una aplicación crucial de los SPA es la extracción de modelos de dispositivos para simuladores de circuitos como SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis). Los datos de las curvas I-V se utilizan para generar modelos matemáticos precisos que los diseñadores de CI utilizan para simular el comportamiento de sus circuitos antes de la fabricación, ahorrando tiempo y costos (Lojek, 2007).
- Mediciones C-V (Capacitancia-Voltaje). Además de las curvas I-V, los SPA también son capaces de realizar mediciones de capacitancia-voltaje (C-V). Estas mediciones son cruciales para caracterizar la interfaz óxido-semiconductor en los MOSFETs, determinar la densidad de impurezas y analizar las propiedades de las uniones PN, información vital para el diseño y el control de calidad de los CI (Keithley Instruments, 2004).
- Probing a Nivel de Oblea. En la fabricación de semiconductores, los trazadores de curvas y SPA se integran en estaciones de prueba a nivel de oblea (wafer probers). Antes de que los chips sean cortados y empaquetados, se prueban directamente en la oblea mediante puntas de prueba microscópicas. Esto permite identificar rápidamente chips defectuosos, lo que ahorra costos al no empaquetar dispositivos que no funcionan (Lojek, 2007).
- Diagnóstico Avanzado y Fiabilidad. Los sistemas modernos no solo prueban la funcionalidad, sino también la fiabilidad a largo plazo. Realizan pruebas de esfuerzo (*stress tests*) y mediciones de degradación para predecir la vida útil de los dispositivos

y asegurar que cumplan con los estándares de calidad más exigentes (Keithley Instruments, 2004).

El Legado y el Futuro

El trazador de curvas, desde sus humildes comienzos como una necesidad para entender un nuevo componente (el transistor) hasta su evolución en sistemas paramétricos complejos, es un testimonio de la sinergia entre la invención de dispositivos y el desarrollo de herramientas de medición. Sin la capacidad de ver y comprender el comportamiento de los semiconductores a través de sus curvas I-V, la revolución digital que ha transformado todos los aspectos de nuestra vida (desde teléfonos inteligentes hasta inteligencia artificial) simplemente no habría sido posible.

Hoy en día, la investigación en semiconductores continúa a un ritmo acelerado, con materiales emergentes (como los 2D, nitruro de galio, carburo de silicio) y nuevas arquitecturas de transistores. Los trazadores de curvas y los sistemas de caracterización seguirán siendo herramientas indispensables en la frontera de esta innovación.

Capítulo III

Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.

Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.

Se propuso la creación de un trazador de curvas para dispositivos semiconductores, enfocado en un área académica de nivel licenciatura, que permita un fácil manejo para los alumnos, siendo una herramienta indispensable, ya que permite que los estudiantes de distintas áreas puedan comprender mejor el funcionamiento de semiconductores y no se quede en un formato teórica, siendo didáctico para estudiantes con conocimientos básicos. Se planteo la realización de un prototipo con referencia al dispositivo KI-CT3020A, de la marca KING INSTRUMENT ELECTRONICS donde se tomará de referencia para la creación del trazador de curvas, permitiendo que los estudiantes de distintas áreas puedan comprender mejor el funcionamiento de semiconductores y no se quede en una forma teórica, siendo didáctico para estudiantes con conocimientos básicos.

A continuación, colocar el diagrama electrónico del dispositivo KI-CT3020A para comprender y entender cómo funciona, obtenido del manual de este mismo, a su vez observar la identificación de cada componente, segmento he unión de este mismo.

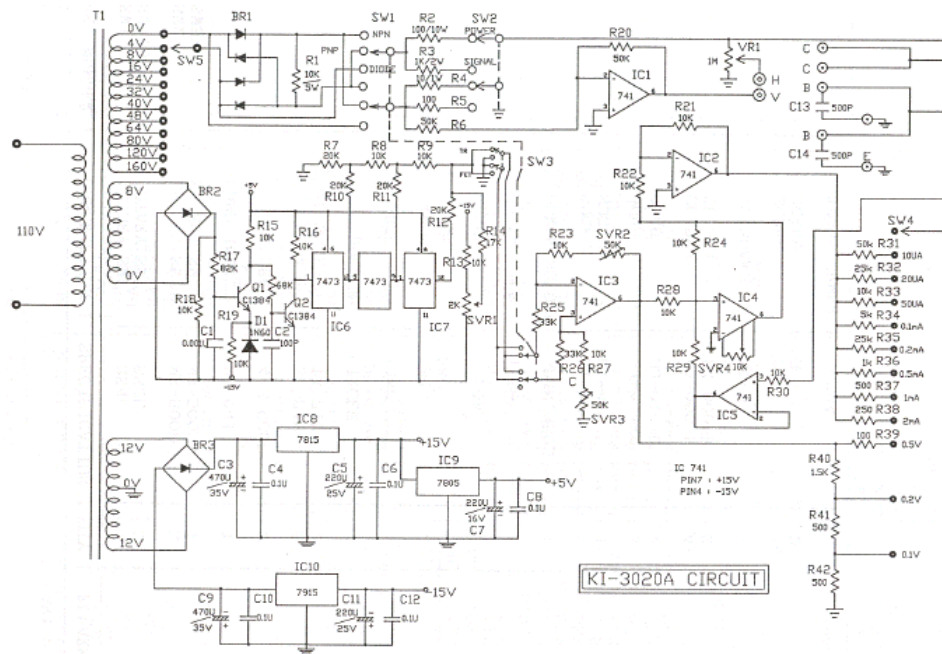


Diagrama 2 Diagrama eléctrico de KI-CT3020A

El *diagrama 2* muestra el esquemático electrónico del trazador de curvas para dispositivos semiconductores que se piensa implementar, el cual tomaran como referencia realizando algunas modificaciones como el voltaje que se suministrará, permitiendo que las lecturas sean óptimas para los componentes que son comerciales en el presente, dispositivos anteriores muestran la necesidad de un voltaje más alto para la lectura de componentes, el voltaje requerido para este prototipo se tomará de 0 volts a 66 volts permitiendo así un rango variable pero no tan alto para los componentes actuales. A su vez se propon, la implementación de un microcontrolador ESP 32, esto mismo pensado para la visualización de gráficos, sin la necesidad de usar un osciloscopio.

Como primer punto, se realizó la investigación de un trazador de curvas para dispositivos semiconductores, proponiendo así al dispositivo KI-CT3020A de la marca KING INSTRUMENT ELECTRONICS, la siguiente imagen mostrará el diagrama electrónico del trazador de curvas para dispositivos semiconductores diseñado en el software Proteus de creación de esquemas e impresiones electrónicas.

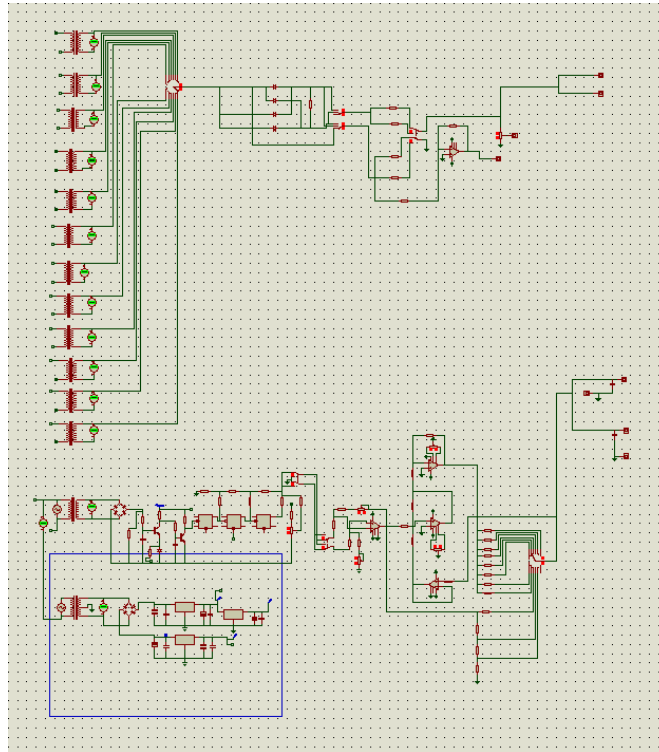


Imagen 1 Diagrama eléctrico KI-CT3020A Proteus

En la *imagen 1* muestra el proceso de diseño del trazador de curvas para dispositivos semiconductores, diseñado en Proteus, usando compontes similares a los utilizados en la construcción del trazador, un formato más adaptable a las necesidades que se requiere, durante el proceso de la creación del diagrama electrónico encontramos algunas dificultades relacionadas con los componentes a usar, debido a esto usamos componentes similares en el simulador, compatibles a las que se requerían y tomando en cuenta el diseño del circuito.

Mediante la creación del circuito en un formato digital se fue notando algunas complejidades que podría existir, como las fuentes de alimentación y también el amperaje que tendrá el circuito al momento de accionar, la parte del cambio de voltajes de entrada que va desde 0v a 160v, se plantea a la colocación de voltaje que vaya desde 0v a 66v. Permitiendo así la adaptación de voltaje a componentes más actualizados que no necesitan tantos volts para su uso.

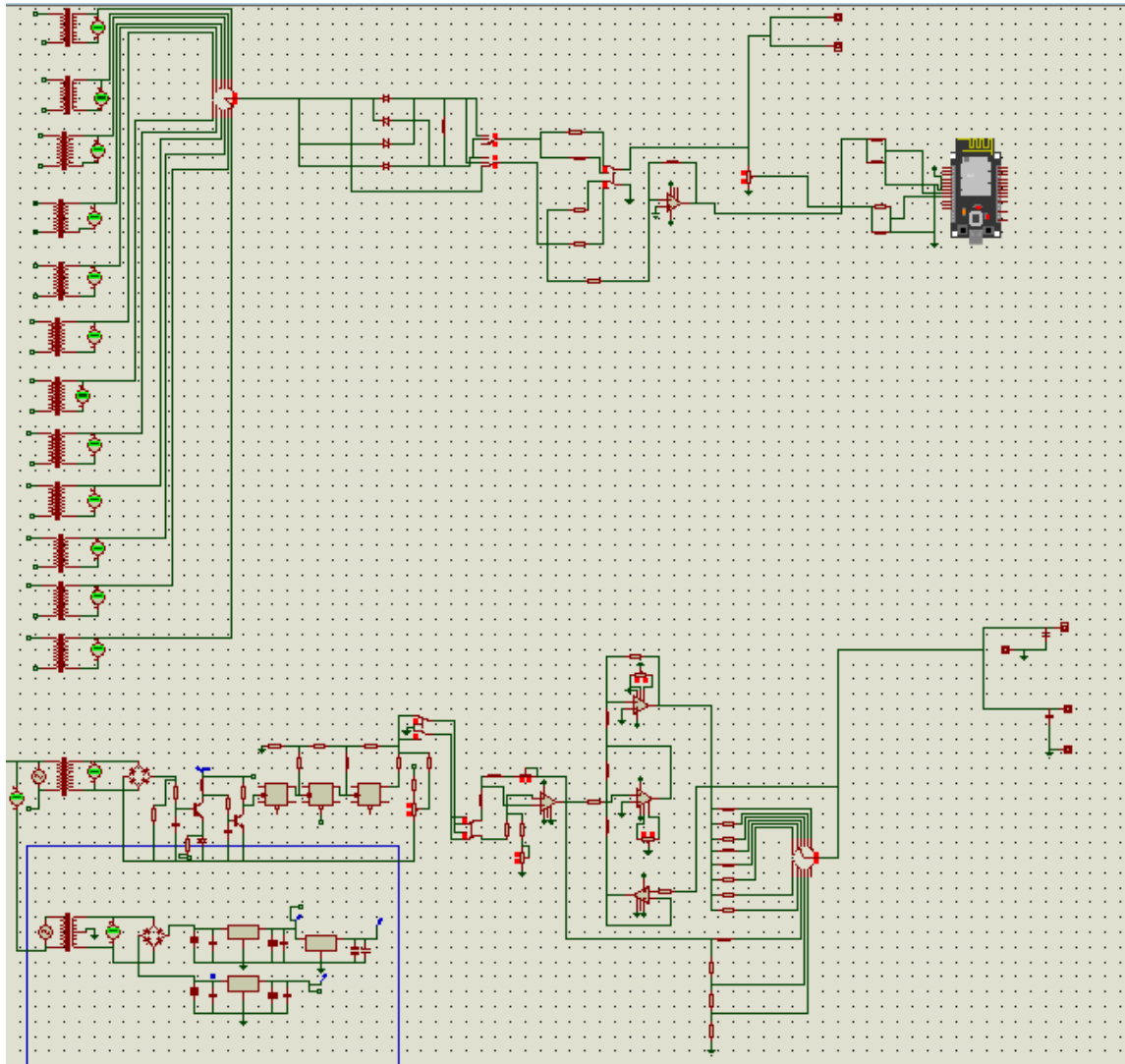


Imagen 2 Trazador de curvas con ESP.

La *imagen 2* muestra cómo se visualizará la colocación del ESP32, su conexión y su implementación, colocando las modificaciones y adaptaciones necesarias, colocando las modificaciones necesarias para una visualización y adaptación del circuito. Tomando en cuenta las necesidades requeridas.

Prototipo Físico.

Desarrollo un prototipo, el cual estableció algunas actividades para una mejor eficiencia en su construcción de un prototipo físico, el cual se divide en tres actividades fundamentales para poder realizar y se lleve exitosamente a su conclusión. Las actividades serían la compra de componentes, creación de la PCB y la implementación del circuito en una caja.

Adquisición de componentes

Los componentes adquiridos para el desarrollo de este dispositivo, poder realizarlo y poder estructurarlo fueron los siguientes .

Lista de componentes.

Cantidad	Componentes
4	Amplificador operacional 741
2	Circuito integrado 7473
1	Regulador de voltaje 7805
1	Regulador de voltaje 7815
1	Regulador de voltaje 7915
2	Transistor 2N1384
1	Diodo IN60
1	Resistencia 10k, 5w
1	Resistencia 100, 10w
1	Resistencia 1k, 2w
1	Resistencia 10, 1w
1	Resistencia 50k, ¼ w
4	Resistencia 20k, ¼ w
16	Resistencia 10k, ¼ w
1	Resistencia 17k, ¼ w
1	Resistencia 82k, ¼ w
2	Resistencia 50k, ¼ w
2	Resistencia 33k, ¼ w
2	Resistencia 25k, ¼ w
1	Resistencia 5k, ¼ w
1	Resistencia 1k, ¼ w
3	Resistencia 500, ¼ w
1	Resistencia 250, ¼ w
2	Resistencia 100, ¼ w
1	Resistencia 1.5k, ¼ w
1	Capacitor 102 P
2	Capacitor 104 P
2	Capacitor 500 P
5	Capacitor 220u, 25v
2	Puente de diodos de 1 a 2Amp
1	Puente de diodos de 10Amp
1	Potenciometro 3k
1	Potenciometro 20k

2	Potenciómetro 50k
1	Resistencia variable 1M
3	Switch rotatorio 6s2l
4	Switch seleccionador Ms-500F

Tabla 1 Componentes electrónicos.

Construcción del prototipo.

Se realizó un prototipo, para ello se inició con la construcción del circuito en placas de Protoboard, colocando conexiones de una forma distintiva para que se pueda identificar algún error o equivocación cuando se conecte, también se tomó en cuenta como un formato de protocolo de identificación de componentes.

Enseguida, se armó el circuito, el diagrama electrónico referenciado en páginas anteriores (*diagrama 2*), se inició la construcción de la parte inferior hacia la superior de una forma escalonada, dividiendo el diagrama en tres partes importantes para su construcción.

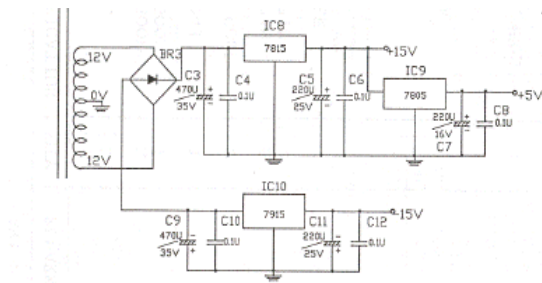


Diagrama 3 Fuente de Voltaje de +15, -15 y +5

La construcción del prototipo físico fue la colocación de la fuente de voltaje. El *diagrama 3* observa la fuente de alimentación, esta parte es importante para la alimentación de unos componentes, los cuales necesitan un valor en específico. Después se armó la parte inferior del circuito, donde encuentra una fuente de voltaje, la cual proporciona un voltaje de +15 voltios, +5 voltios y -15 voltios. En la *imagen 3* se muestra la fuente del voltaje en forma física, la parte que proporciona voltaje a los componentes Flip-flop J-K y amplificadores operacionales.

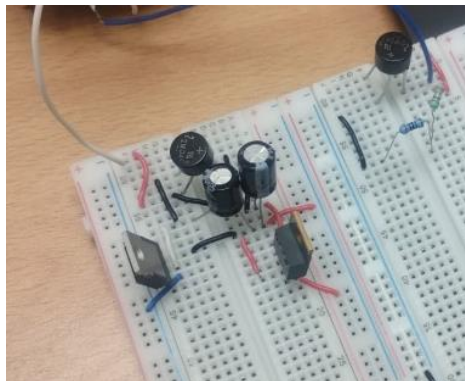


Imagen 3 Fuente de voltaje.

En la parte física se realizaron pruebas para verificar que contaba con los valores de +15V, -15 V y los +5 V, se encontró un defecto en el 7805 donde se hizo pruebas con más de 6 reguladores, se concluyó que existía alguna problemática dentro del componente, algunos de ellos no mandaban valores, otros reguladores elevaban su temperatura dando posibilidad que existiera algún problema con el circuito futuramente.

Después de realizar algunas pruebas en la fuente de voltajes, se concluyó la obtención de los valores de voltajes correcto y permitiendo la continuación de la siguiente fase de construcción.

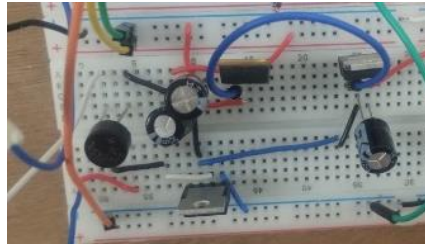


Imagen 4 Fuente de Voltaje prueba.

Posteriormente se realiza la construcción de la parte intermedia del diagrama, la regulación de los componentes y el cerebro de todo el circuito, esta parte encuentran los circuitos integrados permite la intercomunicación de todo el proyecto, dando a si la construcción de una de las partes importantes del trazador de curvas para dispositivos semiconductores, el *diagrama 4* se muestra que la parte media y superior del circuito se van complementado, haciendo que funcione conjuntamente.

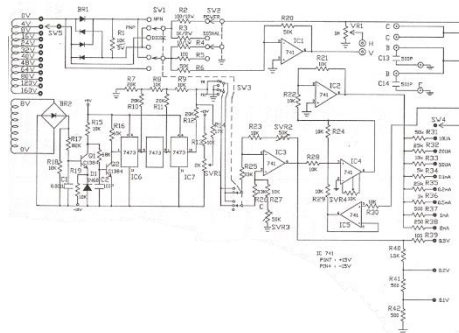


Diagrama 4 Parte dos y tres del circuito.

Se realizó la parte física conectada en una placa de Protoboards para facilitar las pruebas y poder cambiar algún componente, el cual pudiera tener algún problema y daño en dado caso, si llegara a existir algún problema se podrá visualizar de una forma más fácil, detectando así partes que pudieran a tener algún tipo de daño durante las pruebas que se realicen posteriormente.

En la parte media solo se debe resaltar la forma de conexión de los Flip-flop J-K y los amplificadores operacionales, debido que tienen un cierto valor de voltaje de alimentación, fuera de ello las demás conexiones son como se indica en el *diagrama 2*, el cual se mostró en páginas anteriores.

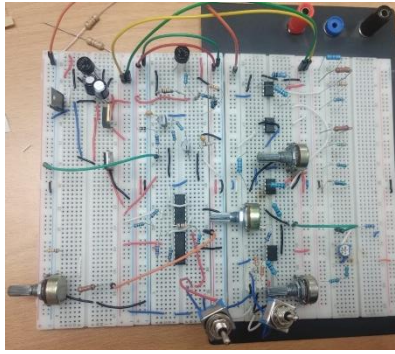


Imagen 5 Parte dos, Trazador de Curvas.

Se tomo como sugerencias los siguientes puntos para la colocacion de componentes soldados:

- Dentro de la construcción del circuito debemos tomar en cuenta que la conexión este correcta, que los componentes no tengan algún fallo tomando en cuenta que pueda existir alguno dentro de este.
- Tomar en cuenta que los componentes soldados, los cuales deben colocar en la terminal soldada termo fil, este material debe colocarse para que tenga un aislante y sin la preocupación de generar un empalme entre las conexiones, generando que exista un fallo.



Imagen 7 Componente soldado.



Imagen 6 Componente scon termo fil.

En la imagen 6 muestra lo que no se debe estar haciendo, esto como norma de seguridad, la imagen de la derecha muestra el correcto uso de del termo fil en componentes soldados.

La construcción de la parte superior del circuito, inició a conectar todos los componentes faltantes que conforman el trazador de curvas, el *diagrama 5* muestra la parte final de las conexiones de los componentes electronicos, el cuál a su finalizacion y da paso al inicio de pruebas, tanto del circuito ensamblado, pruebas de conexión y lectura de salida de datos. Dando por concluido la conexión del circuito, permitio iniciar con pruebas correspodientes. En la imagen posterior se muestra como se visualiza conectado en placas de protoboards, siendo un prototipo inicial que dio inicio a las pruebas posteriores.

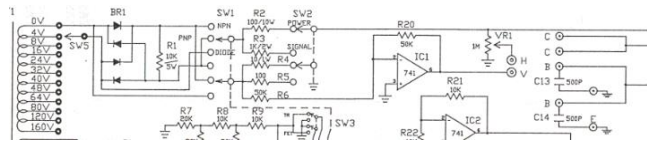


Diagrama 5 Parte 3 del circuito.

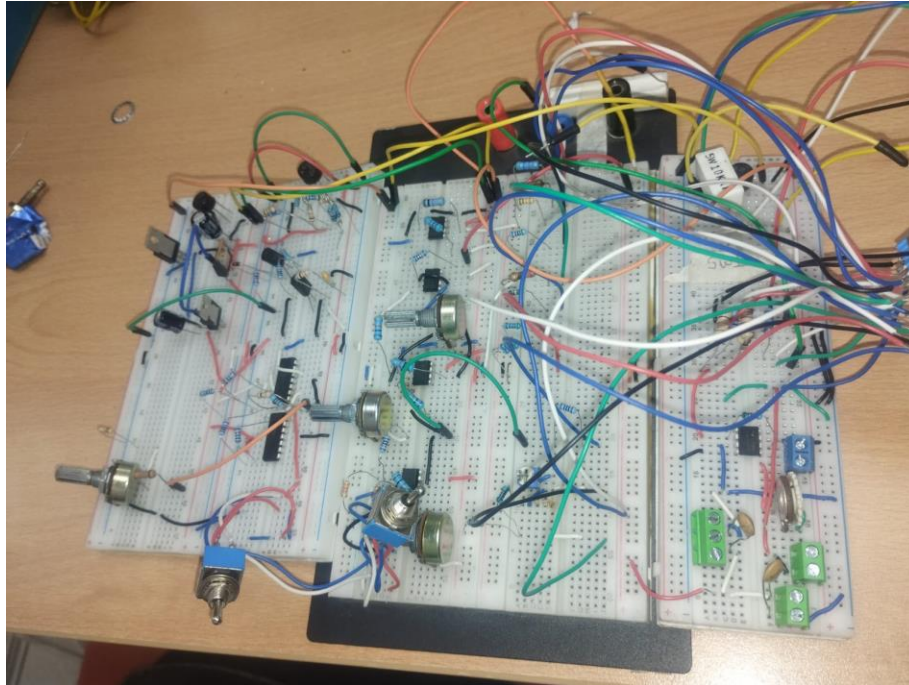


Imagen 8 Circuito finalizado

Se colocó la conexión a la corriente, los transformadores son la representación de la fuente de alimentación del circuito, dado que se conectó a la energía eléctrica y podemos concluir que no presento alguna falla se inició con las pruebas correspondientes, como se muestra en la siguiente imagen. Posterior a la comprobación de la energía eléctrica colocada pudimos proceder a las lecturas con el osciloscopio, conocer la forma en que se produce el comportamiento de cada semiconductor.

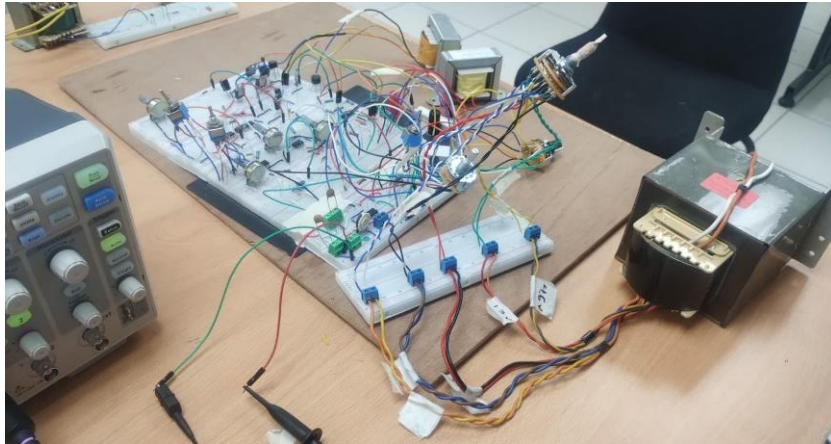


Imagen 9 Circuito conectado a corriente eléctrica.

Finalmente, se inició con la lectura de componentes con el osciloscopio, tomando algunos semiconductores para la visualización de componentes, dando así la forma en que se pueda visualizar la gráfica de Corriente-Voltaje (I-V) de algún componente.

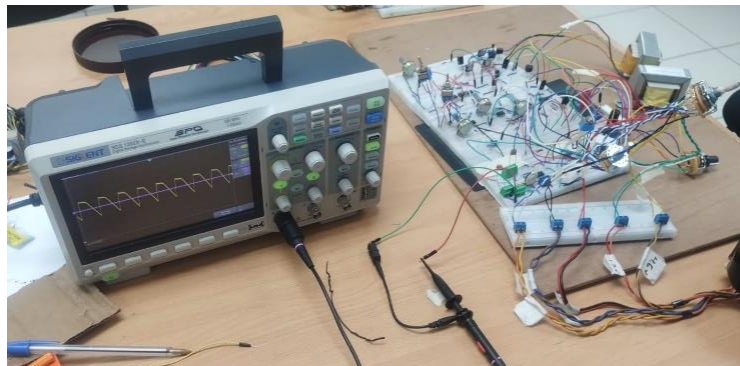


Imagen 10 Lectura de salida con osciloscopio.

Creación de la PCB

La elaboración de una placa PCB ayuda a un mejor control de las conexiones del circuito, permitiendo un mejor control de tamaño y de conexión en los componentes. El diseño de la PCB contempla algunos softwares de diseño como Kicad, EAGLE, Altium Designer, Fusion 360 y Proteus.



Ilustración 3 Logo de KiCad

De la cuales se escogió el software de diseño KiCad por ser un software gratuito y de código abierto, el cual es muy popular y conocido en la creación de PCB y esquemas eléctricos, se consideró también la aplicación del software de Proteus.

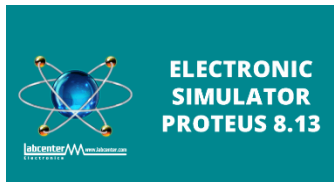


Ilustración 4 Logo de Proteus

Se inicio con la creación de un boceto en Proteus, el cual fue creado con una referencia al *diagrama 2*, el boceto está representado en la *imagen 1*.

Tomando como referencia el diagrama e imagen de los esquemas anteriores, se inició con la creación de la placa en el programa de Kicad, se recreó un diagrama combinado con los diseños anteriores para la guía del prototipo física que se muestra en la *imagen 8*, debido que observamos algunos puntos claves en la realización de la placa PCB, tomando, así como guía para su creación de la PCB.

Tomando estos puntos se inicia con el diseño y creación, se tomó en cuenta los siguientes puntos para su creación:

- Creación del esquema del circuito.

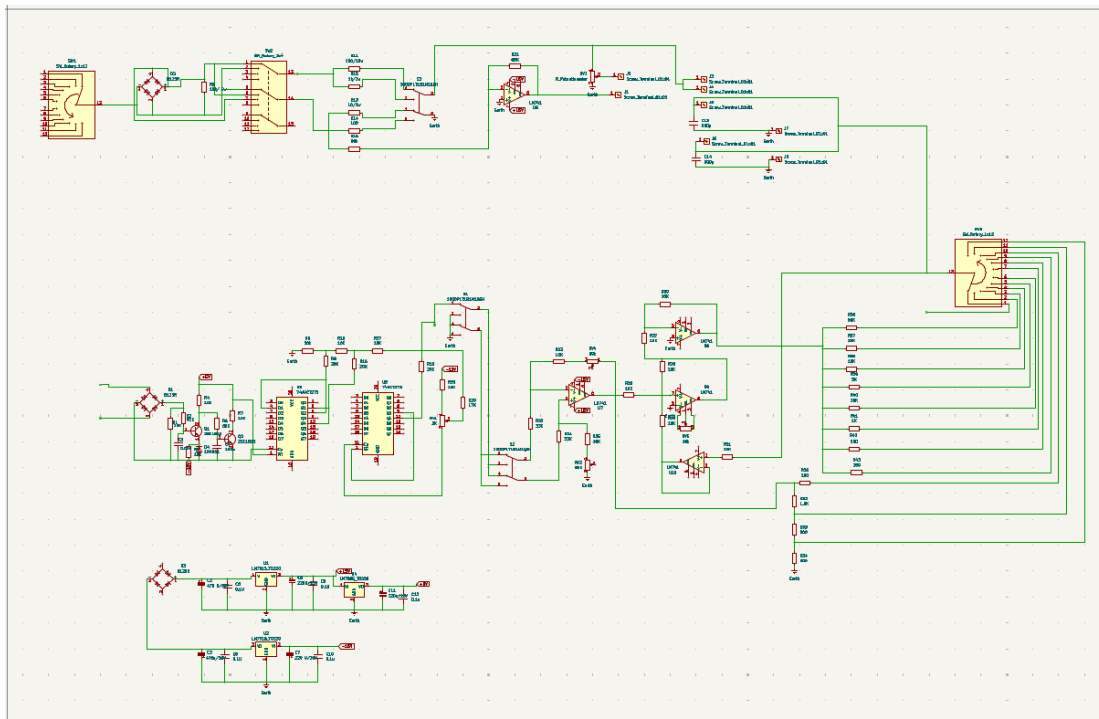


Imagen 11 Esquema del trazador de curvas para dispositivos semiconductores.

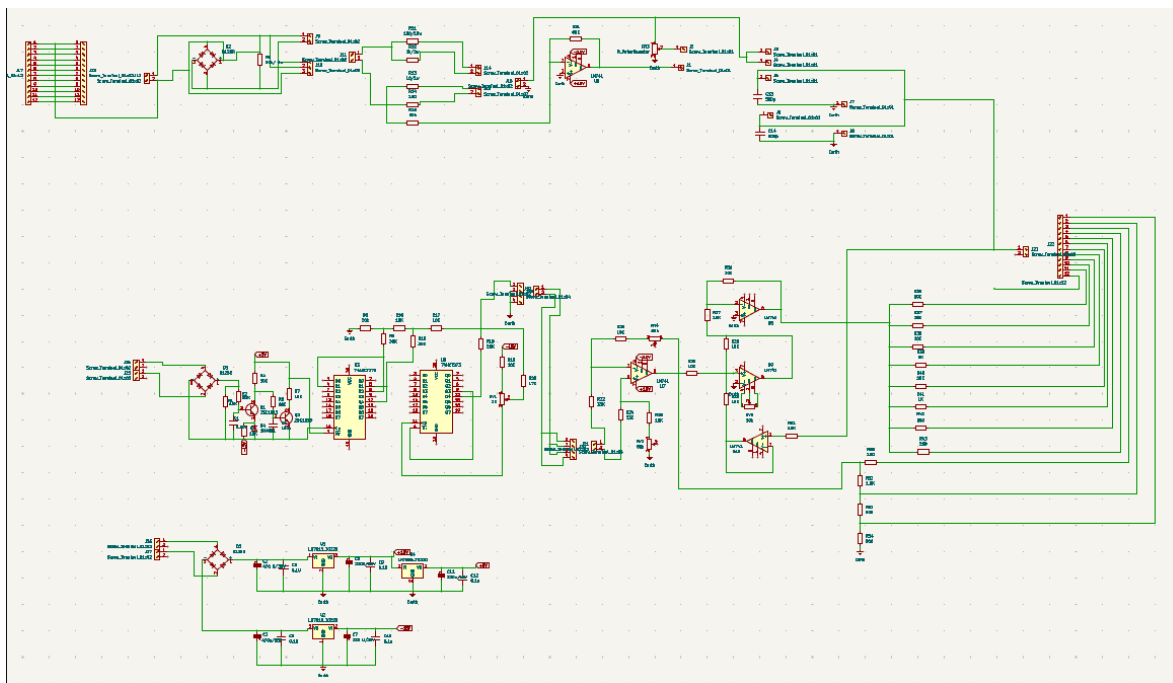


Imagen 12 Propuesta dos del circuito.

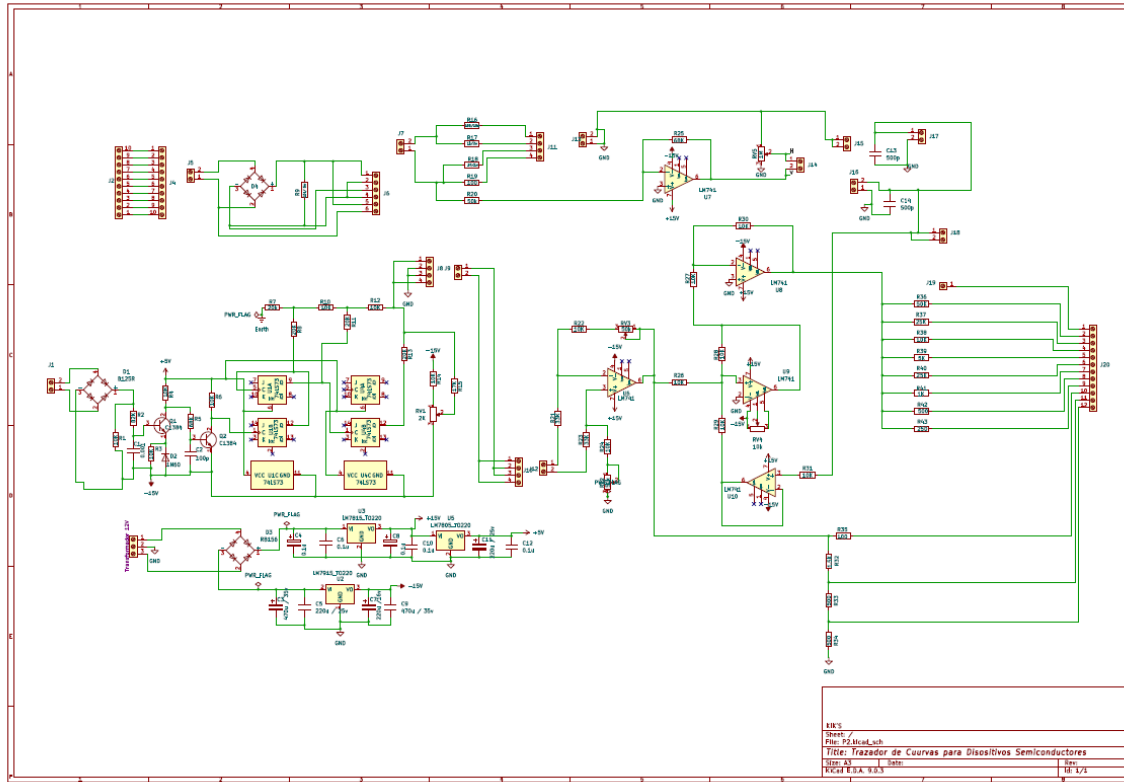


Imagen 13 Esquema final.

Dentro de la creación de la PCB se realizaron varias propuestas de diseño de la placa, se optó por el esquema de la *imagen 13*, la imagen anterior muestra la adaptación que se tuvo para un correcto funcionamiento, mantenimiento, tomando en cuenta la colocación más fácil de los switch y entradas de las fuentes de alimentación. Enfocando en la versatilidad, espacio requerido y adaptabilidad que puede tener .

-
- The PCB layout is a complex arrangement of components designed for a 100W LED driver. Key features include:
- Power Input Section (Top Left):** Features a 100V/10A terminal block (J1) and a 100V/10A terminal block (J2) for power input. A 100V/10A terminal block (J3) is also present.
 - Control and Timing Section (Bottom Left):** Includes a 100V/10A terminal block (J4) and a 100V/10A terminal block (J5) for control signals. A 100V/10A terminal block (J6) is also present.
 - Power Regulation Section (Center):** Contains a 100V/10A terminal block (J7) and a 100V/10A terminal block (J8) for power regulation. A 100V/10A terminal block (J9) is also present.
 - Output Section (Right):** Features a 100V/10A terminal block (J10) and a 100V/10A terminal block (J11) for output. A 100V/10A terminal block (J12) is also present.
 - Component Placement:** Numerous capacitors (C1-C10), resistors (R1-R10), inductors (L1-L10), and integrated circuits (IC1-IC10) are distributed across the board. A 100V/10A terminal block (J13) is also present.
 - Connectors and Terminals:** Various screw terminals (e.g., J1, J2, J3, J4, J5, J6, J7, J8, J9, J10, J11, J12, J13) and connectors (e.g., J14, J15, J16, J17, J18, J19, J20, J21, J22, J23, J24, J25, J26, J27, J28, J29, J30, J31, J32, J33, J34, J35, J36, J37, J38, J39, J40, J41, J42, J43, J44, J45, J46, J47, J48, J49, J50, J51, J52, J53, J54, J55, J56, J57, J58, J59, J60, J61, J62, J63, J64, J65, J66, J67, J68, J69, J70, J71, J72, J73, J74, J75, J76, J77, J78, J79, J80, J81, J82, J83, J84, J85, J86, J87, J88, J89, J90, J91, J92, J93, J94, J95, J96, J97, J98, J99, J100) are used for component connection.

36

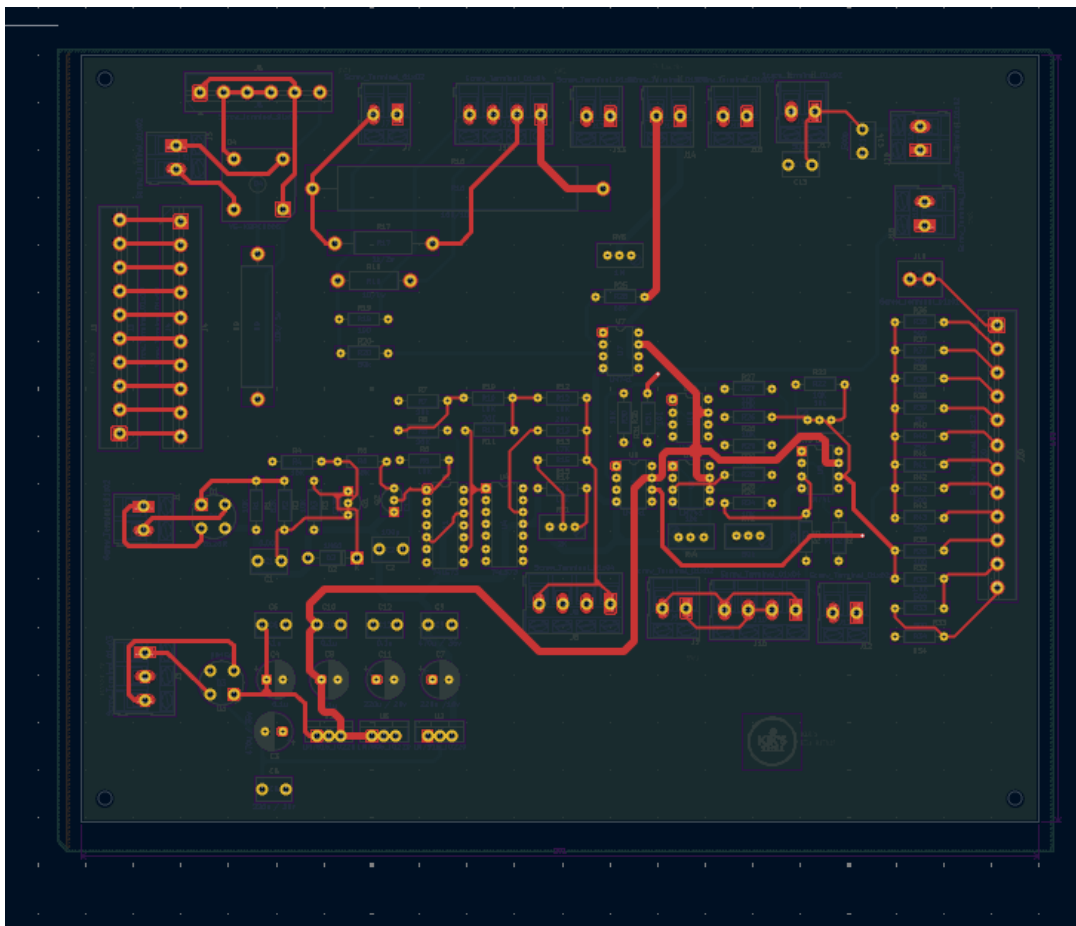


Imagen 16 Placa de PCB rediseño.

Las imágenes anteriores muestran la evolución de cómo se visualiza la forma de construcción, ensamble y colocación de piezas, tomando como guía problemas a futuro como la colocación del switch, y la entrada de alimentación de los transformadores, visualizando puntos clave y necesarios para la placa física, permitió prevenir problemas que pudieron afectar al circuito en el futuro.

En la *imagen 16* muestra la PCB final donde se colocó en las partes externas, entradas y salidas de los componentes ayudando así a una forma más accesible permitiendo un mantenimiento más fácil.

➤ Visualización en 3D de la placa.

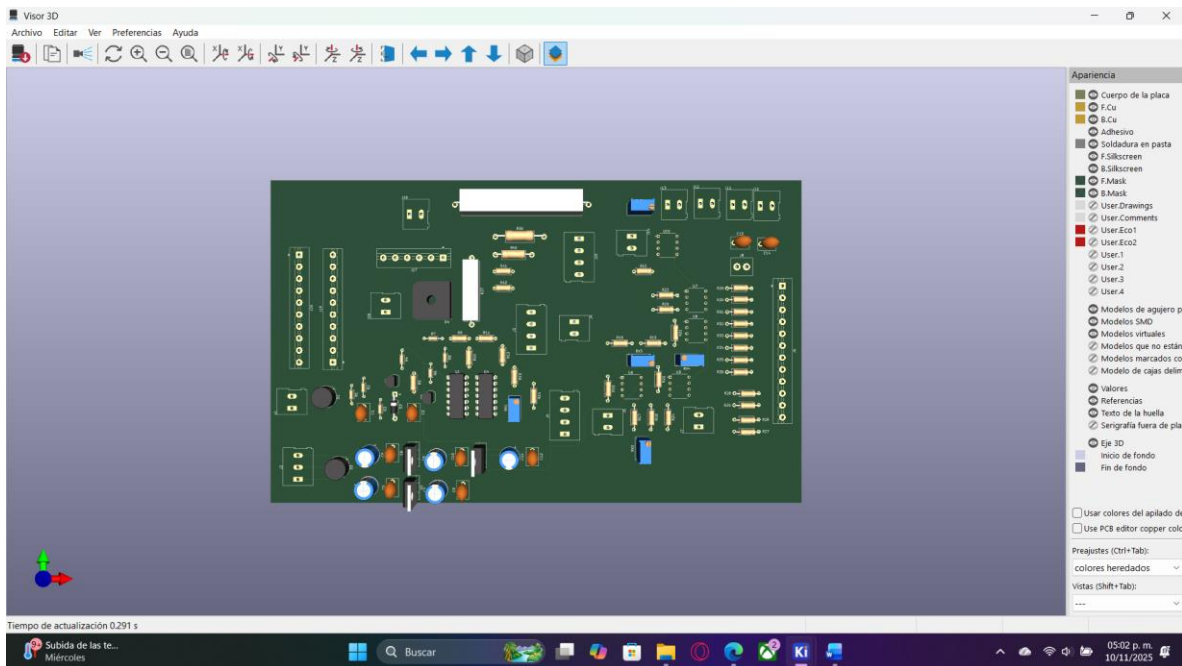


Imagen 17 Vista de la placa en 3D

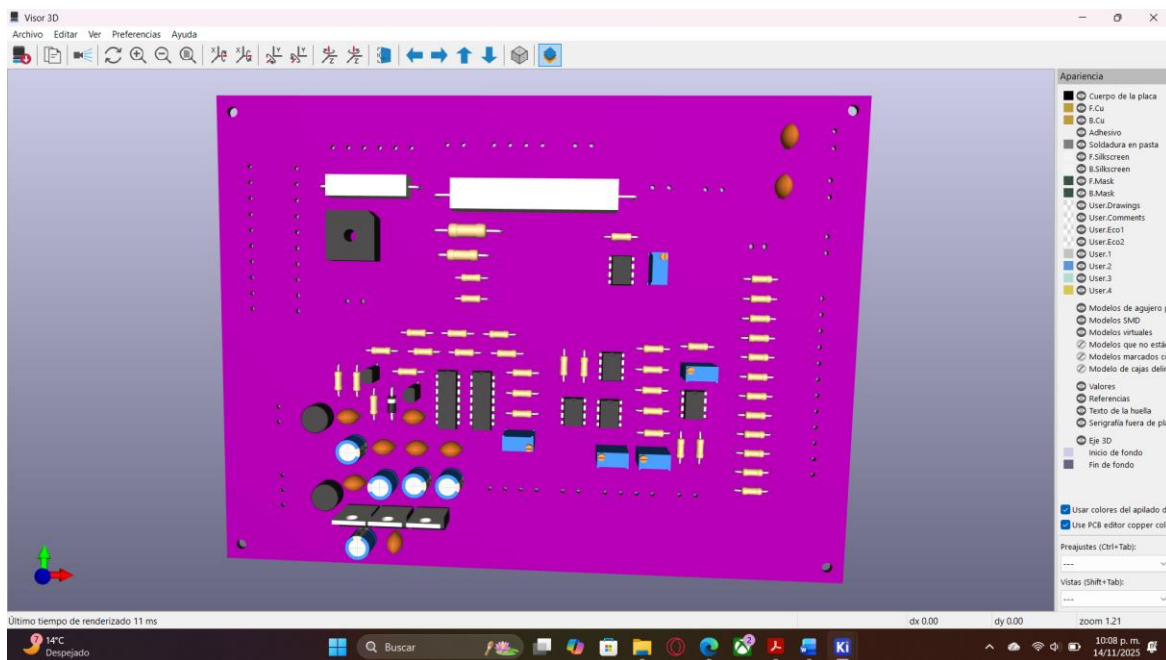


Imagen 18 Propuesta en 3D

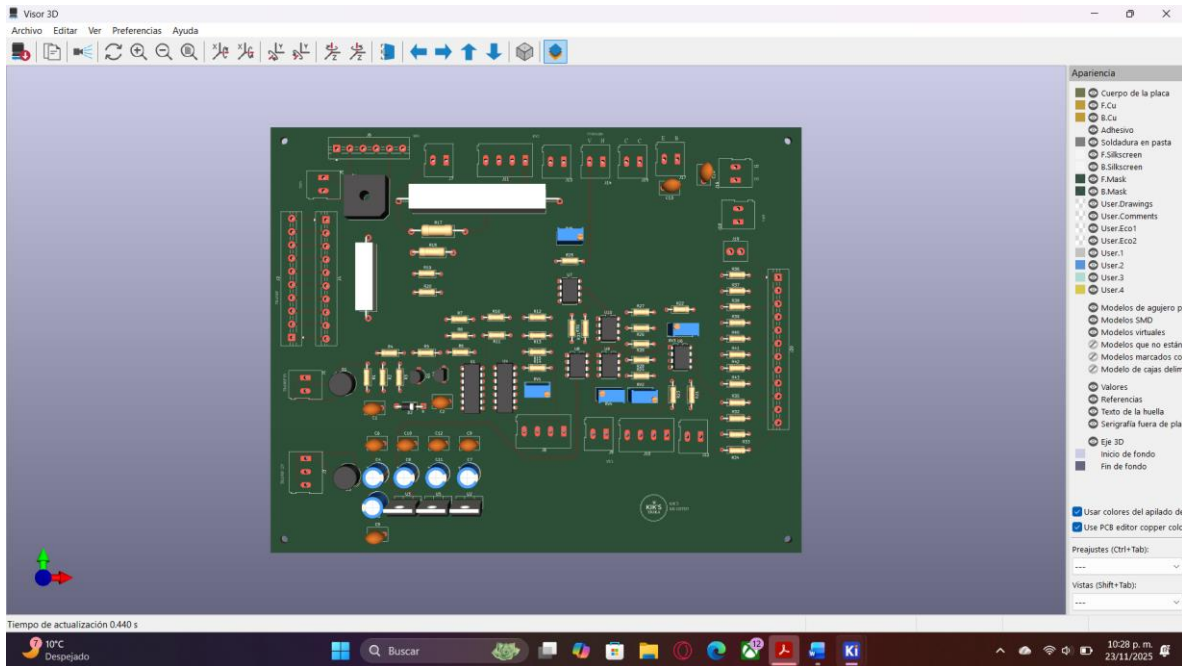


Imagen 19 Diseño final en 3D.

Finalmente, la placa ha sido terminada, permitiendo la visualización de la placa en 3D y conociendo el tamaño que tiene, la cual es de un largo de 20.5 cm por un ancho de 16.5 cm, tomando la *imagen 19* como la primera presentación de la placa PCB, visualizando como se observara en un formato físico, lo que permitió la impresión de la placa PCB y su ensamble de los componentes.

Selección de caja.

Dentro la construcción del trazador de curvas para dispositivos semiconductores, se propone dos opciones, una de ellas es construcción de una caja metálica o la obtención de un gabinete metálico.

Propuesta 1 Construcción de caja metálica.

La realización de una caja metálica para la colocación del circuito y componentes del dispositivo, se inicia con el modelado de la caja en un software de dibujo, SolidWorks tomando como un diseño previo de a una propuesta de la creación de la esta misma.

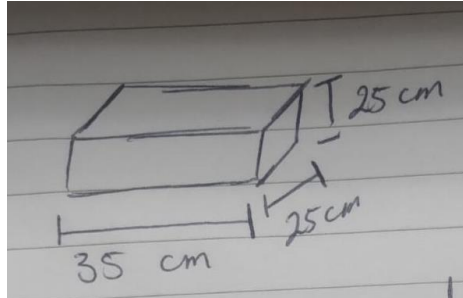


Imagen 20 Visualización de medidas.

Las medidas tomadas son de 30 centímetros de largo, 25 centímetros de ancho y 25 centímetros de alto, pero la cual le colocaremos 10 cm adicionales a cada lado por el manejo de un mejor espacio y para que no exista algún peligro futuramente.

Teniendo las medidas correspondientes para la realización de la caja, se presenta la realización de un prediseño en SolidWorks, permitiendo la visualizan del diseño a construir, tomando en cuenta un material resistente y duradero de acuerdo con las necesidades que se está requiriendo, para la utilidad del trazador de curvas.

En la imagen siguiente se muestra el modelado de la caja en SolidWorks, teniendo como referencia la salida del cable, interruptor de encendido y apagado, entradas de lectura para los dispositivos semiconductores, salidas para conexiones del osciloscopio y switch para la medición.

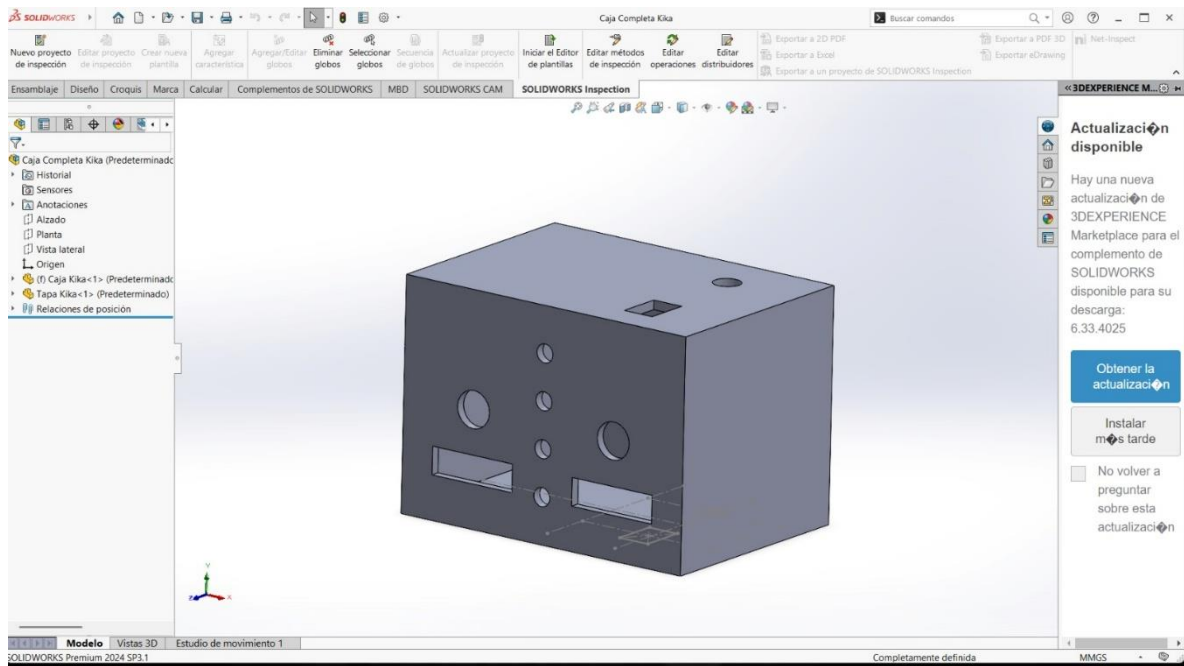


Imagen 21 Propuesta de diseño.

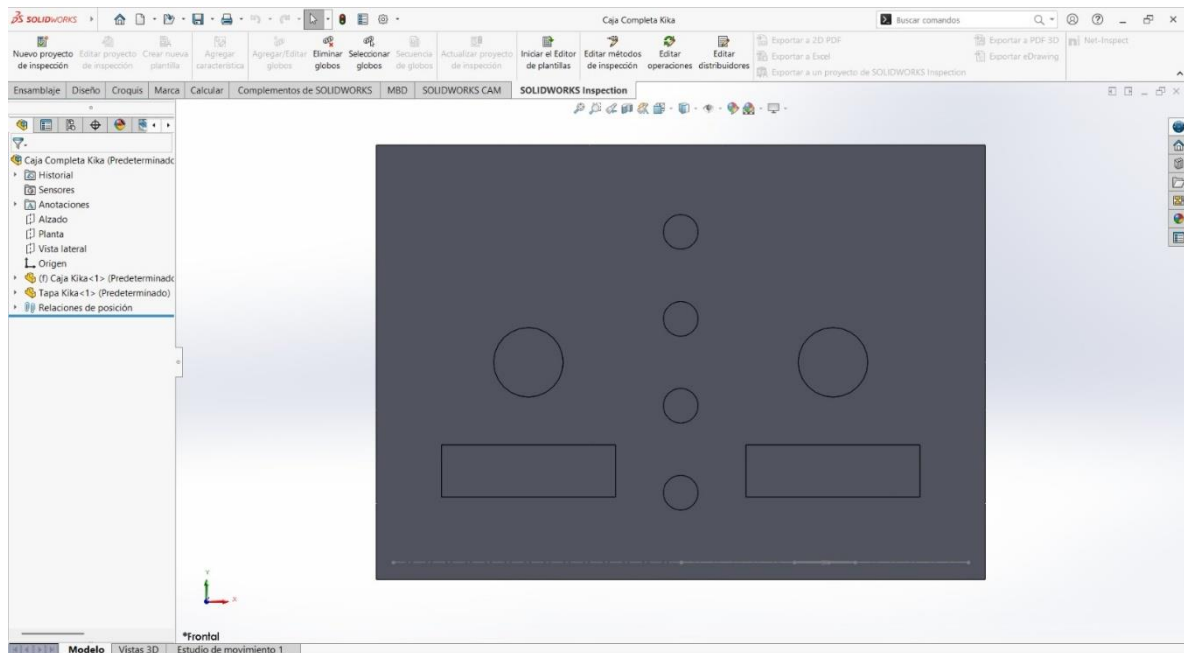


Imagen 22 Entradas del trazador de curvas.

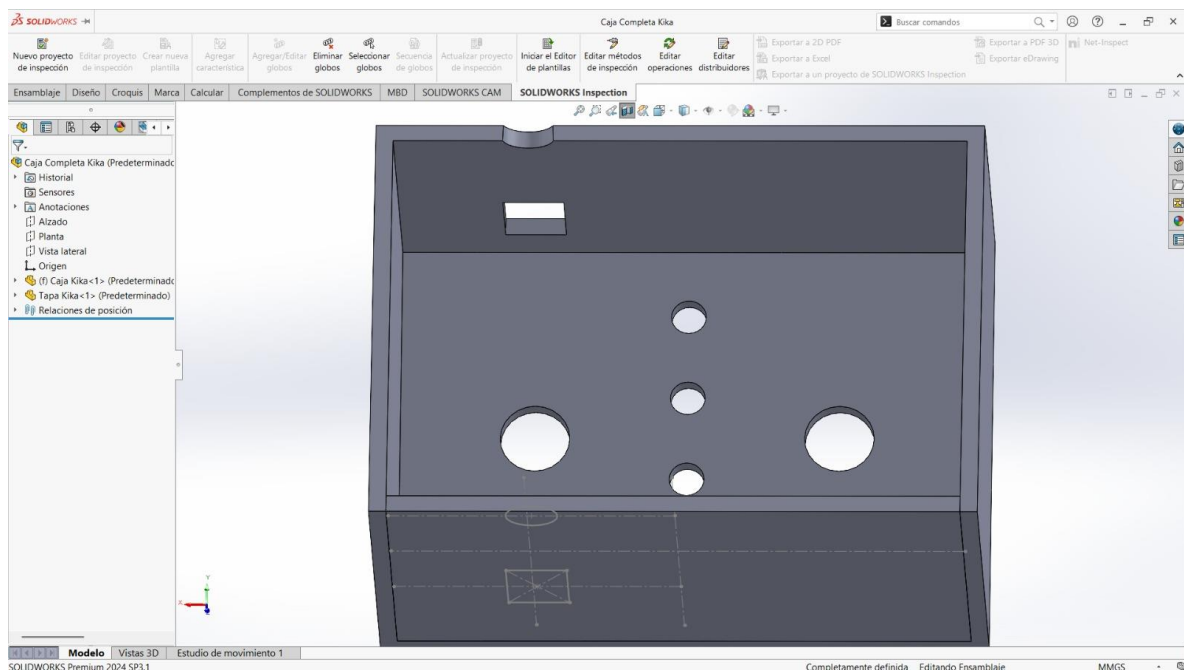


Imagen 23 Vista interior:

Los materiales a emplear están divididos en madera, plástico o de metal. Tomando en cuenta las necesidades del dispositivo, se tomó en cuenta el peso que tendrá que soportar, aproximadamente 6 kilos, se tomó en cuenta el peso, y el espacio de los componentes, se optó por usar el material de tipo metal, dando así un soporte correcto a los transformadores y a la placa que se colocará.

Si se llegara a seleccionar como opción viable a colocación del dispositivo se debería construirse de la siguiente forma.

➤ Construcción de la caja.

La construcción de la caja será realizada por medio de una estructura de metal, se utilizará un ángulo de $\frac{3}{4} \times \frac{1}{8}$ de diámetro para la realización de un esqueleto donde podrá permitir el fácil acceso, movilidad para poder conectar y montar el circuito del trazador de curvas.

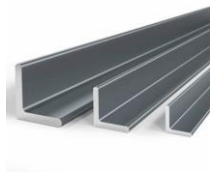


Ilustración 5 Angulo metálico.

Con el ángulo se plantea realizar un prisma rectangular el cual sería los soportes de la caja, y como tapas se colocarán láminas de metal recortadas de forma rectangular para una colocación de tapas, fijadas con tornillos, permitiendo así un fácil desmontaje y acceso a la colocación de componentes dentro de la caja.

Propuesta 2 Gabinete metálico.



Ilustración 6 Gabinete metálico.

Se plante la adquisición de un gabinete metálico con las medidas aproximadas, las cuales se mencionan paginas antes.

Permitiendo una forma más accesible y cuidadosa en la colocación del dispositivo

Permitiendo así un espacio optimo, y un material adecuado a componentes eléctricos, aislando energía correctamente, una forma más sencilla de un montaje y desmontaje para los mantenimientos futuros.

Por accesibilidad y comodidad se optó por el uso de un gabinete metálico.

Notas para la creación y mantenimiento del trazador de curvas.

Tomando notas para un desarrollo correcto debemos tomar en cuenta un transformador de distintas derivaciones, tomando en cuenta que se necesitan distintas derivaciones para la toma de voltaje que va de 0v – 160v, sabiendo esto el transformador se tomó con un distinto valor para poder acoplar con valores semejantes con uno de 4.6v – 66v, para esto debemos saber que los componentes que se medirá con el trazador de curvas serán componentes semiconductores con una construcción artesanal que esto permitiendo que necesiten un mayor voltaje que los prefabricados.

También no se siguió el esquema del modelo KI-CT3020A, se tomó la decisión de usar tres transformadores al no encontrar la fuente de energía que se necesitaban, se tomó la modificación de colocar 3 transformadores de distintos valores, el primero de 24v con derivación central, el segundo de 16v con derivación central y uno de derivación de 5 salidas.

Tomar en cuenta el amperaje que necesita el transformador para poder tener una modificación correcta para que algunos componentes puedan soportar el paso de la corriente que tiene, el transformador que se está ocupando es de 127v con derivación de 4.6v, 13v, 33v, 56v y 66v el cual generaba 10 A. Se tomó la decisión de cambiar un puente de diodos pequeño a uno que soporta 10 A.

Capitulo IV

Resultados

Resultados

Se inició con las primeras pruebas para la evaluación del funcionamiento del trazador de curvas y su comportamiento con las pequeñas modificaciones que fueron aplicando dentro del dispositivo.

Se tomaron en cuenta algunos componentes:

Los componentes que se midieron fueron Triac BT137, transistor tipo NPN (2n222), diodo rectificador y un diodo Zener.

El **transistor** se tomó medidas de valores de 4.6v y 13v, esto porque el puente de diodos no soportaba a los 33v.

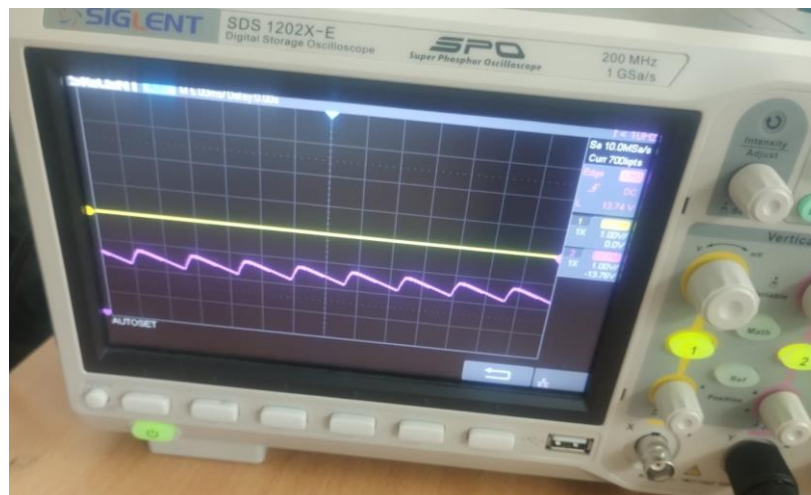


Imagen 24 Grafica de transistor con 4.6v.

En la *imagen 24* muestro cómo se comporta el transistor a un voltaje de 3v, permitiendo visualizar unas graficas con onda de tipo sierra que permite ver el comportamiento del transistor 2n222 el cual es uno de los más comunes.



Imagen 25 Grafico de transistor con 13v.

En la *imagen 25* muestra el comportamiento del transistor con un voltaje de 13v, muestro que las ondas se ven un poco más alargadas, pero sin ninguna otra modificación en la onda al momento de visualizarse en el osciloscopio.

El siguiente componente que se procedió a medir es el **Diodo Zener**, este componente se midió en un solo voltaje, el cual fue un valor de 13v.



Imagen 26 Grafico de un Diodo Zener con voltaje de 13v.

En la imagen anterior muestra que en la gráfica contiene varias ondas, pero aun teniendo variación en las ondas, podemos ver que tiene algo de ruido e interferencia en las ondas que se muestra, dentro de la gráfica muestra que contiene de dos a tres ondas en la lectura.

El siguiente componente que se realizó la lectura fue un **Diodo Rectificador**, se midió de un voltaje de 4.6v, 13v y 33v.



Imagen 27 Grafica de un diodo rectificador a 4.6v

En la imagen anterior se muestro el comportamiento de un diodo rectificador comportándose a un voltaje de 4.6v, mostrando una onda con demasiado ruido y teniendo en algunos puntos alteraciones dentro de la onda dando así mucha interferencia dentro de ella.

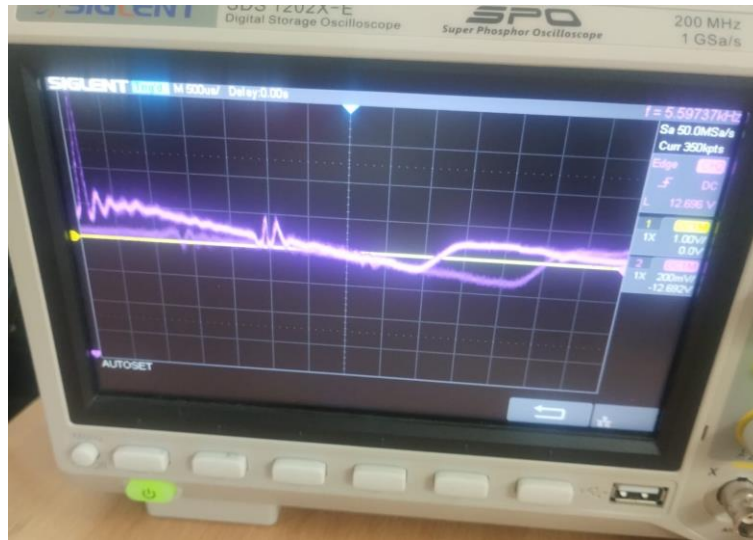


Imagen 28 Grafico de diodo rectificador con 13v.

En la imagen anterior muestra el comportamiento que tiene el diodo rectificador a un voltaje de 13v, mostrando que tiene ruido en las ondas que se presento, pero se empieza a visualizar una onda más limpia con el voltaje colocado en el diodo rectificador.



Imagen 29 Grafico de diodo rectificador con 33v.

En la imagen anterior muestra el comportamiento del diodo rectificador con un voltaje de 33v colocados, al observar la onda muestra que tiende a estabilizarse teniendo en cuenta que aun contiene algo de ruido en ciertos puntos de estabilidad donde nos muestra una curva normal, pero aun así se genera varias ondas con ruido, haciendo esto que existe algo de interferencia dentro de esta lectura.

Y por último tomamos lectura de un **Triac BT137**, en el cual solo se toma la lectura del triac con un voltaje variable de 4.6v y 13v.

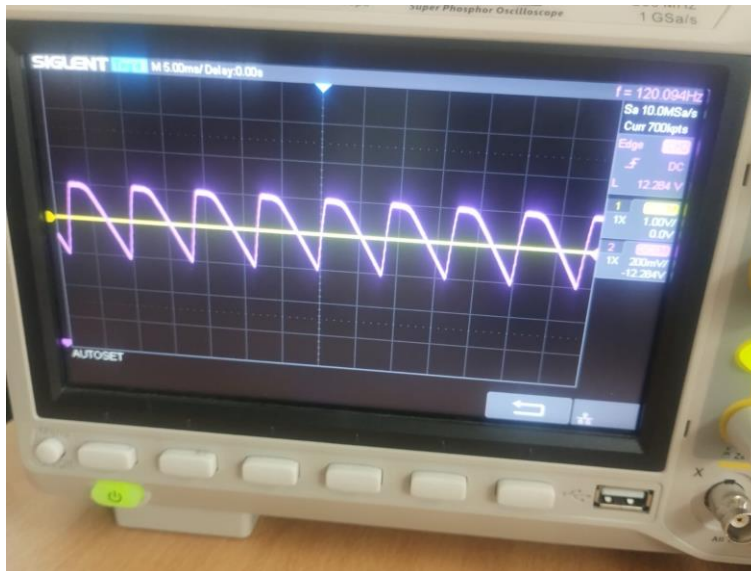


Imagen 30 Grafico de Triac con 4.6v.

En la imagen anterior se muestra el comportamiento del Triac con un voltaje de 4.6v, en el cual no se muestra un tipo de onda en cresta, pero teniendo en la parte de arriba una forma plana, no se presentó ningún tipo de ruido dentro de la onda, comprendiendo que salió una onda más limpia y sin interferencia en la lectura.

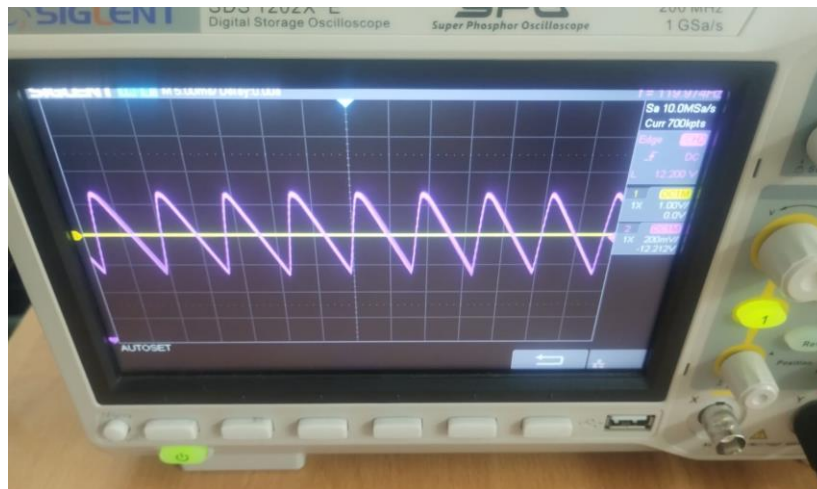


Imagen 31 Grafico de Triac con 13v.

Por último, se registró la lectura del Triac BT137 con un voltaje de 13v, el cual se muestra en la imagen anterior permitiendo observar que el tipo de onda se muestra una onda de tipo cresta, sin observar algún tipo de ruido dentro de este, se observa una onda limpia hasta donde se observó.

Capitulo V

Conclusiones

Conclusiones de Proyecto, recomendaciones.

El proyecto finalizó exitosamente cumpliendo con los objetivos de creación, diseño y pruebas. El trabajo se centró en el rediseño del dispositivo KI-CT3020A, adaptando su circuito original e implementando una nueva fuente de alimentación con tres transformadores para manejar la corriente requerida.

Los principales desafíos técnicos se encontraron en el diseño de la PCB debido a su complejidad y tamaño, mientras que el ensamblaje de la carcasa y el panel de control se resolvió con eficacia. Las pruebas de funcionamiento permitieron obtener lecturas correctas; los incidentes de componentes dañados por exceso de corriente sirvieron para documentar los límites operativos y prevenir fallas futuras.

Se recomienda dar continuidad a este desarrollo, aprovechando las oportunidades para digitalizar el sistema y optimizar su tamaño en futuras iteraciones.

Para finalizar, sobre el tema debemos recapitular todo lo que se fue realizando en este tiempo, se obtuvo resultados satisfactorios en el proceso de la creación, diseño y pruebas que se estuvo realizando.

Fuentes de Información

Fuentes de información

1. Bardeen, J., & Brattain, W. H. (1948). The Transistor, A Semiconductor Triode. *Physical Review*, 74(2), 230–231.
2. Braun, F. (1874). Ueber die Stromleitung durch Schwefelmetalle. *Annalen der Physik und Chemie*, 229(9), 556–562.
3. Keithley Instruments. (2004). *Parametric Test Handbook: A Guide to Semiconductor Parametric Test*.
4. Kilby, J. S. (1959). *Miniaturized electronic circuits*. U.S. Patent No. 3,138,743.
5. Lojek, B. (2007). *History of Semiconductor Engineering*. Springer.
6. Misión y Visión – Tecnológico Nacional de México Campus Apizaco.
<https://www.apizaco.tecnm.mx/misionvision/>.
7. Moore, G. E. (1965). Cramming More Components onto Integrated Circuits. *Electronics Magazine*, 38(8), 114–117.
8. Reseña Historica – Tecnológico Nacional de México Campus Apizaco.
<https://www.apizaco.tecnm.mx/historia/>.
9. Riordan, M., Hoddeson, L., & Conwell, E. (1999). *Crystal Fire: The Birth of the Information Age*. W. W. Norton & Company.
10. Tektronix. (1955). *Type 570 Transistor Curve Tracer Instruction Manual*.
11. Tektronix. (1975). *576 Curve Tracer Instruction Manual*.
12. Tektronix. (1980). *370A/B Curve Tracer User Manual*.
13. Tektronix. (1990). *Tektronix 370B Programmable Curve Tracer Data Sheet*.
14. Wilson, A. H. (1931). The Theory of Electronic Semi-Conductors. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 133(822), 458–491.

Anexos



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
Departamento de Ingeniería Eléctrica Electrónica

Tzompantepec, Tlaxcala, 17/Diciembre/2025
Departamento: Ingeniería Eléctrica y Electrónica
No. De oficio: IEE. /778/2025

Asunto: Carta de no inconveniencia

DRA. YESICA IMELDA SAAVEDRA BENÍTEZ
DIRECTORA DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
PRESENTE

El que suscribe, Mtro. Mario Eduardo Leal López, Jefe del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, tiene a bien hacer de su conocimiento que la **C. ERIKA TECUAPACHO SÁNCHEZ**, con numero de control **20370759**, de la carrera de **INGENIERÍA MECATRÓNICA**, ha realizado el Proyecto de Residencia Profesional dentro de las instalaciones de este departamento, con el tema **"TRAZADOR DE CURVAS PARA DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES"**, en el periodo comprendido del **03 de febrero al 03 julio 2025**, asesorado por el **Dra. Raquel Ramírez Amador**, por lo cual no tengo inconveniente alguno, para que dicha información sea utilizada para llevar a cabo su proceso de titulación.

Sin otro particular, me despido de usted.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
Pensar para Servir, Servir para Triunfar

MTRO. MARIO EDUARDO LEAL LÓPEZ
JEFE DEL DEPTO. DE INGENIERÍA
ELECTRICA Y ELECTRONICA



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA
Y ELECTRÓNICA

MELL/isa*
C.p. Archivo



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuapetec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel (241)
4172010 Ext. 145, e-mail: electronica@apizaco.tecnm.mx |
apizaco.tecnm.mx



Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Instituto Tecnológico de Apizaco.	9
Ilustración 2 Vista satelital del ITApizaco.....	12
Ilustración 3 Logo de KiCad	33
Ilustración 4 Logo de Proteus.....	33
Ilustración 5 Angulo metálico.....	42
Ilustración 6 Gabinete metálico.....	43

Índice de Diagramas

Diagrama 1 Oferta educativa del Tecnológico de Apizaco.	11
Diagrama 2 Diagrama eléctrico de KI-CT3020A.....	23
Diagrama 3 Fuente de Voltaje de +15, -15 y +5.....	28
Diagrama 4 Parte dos y tres del circuito.....	29

Índice de Imágenes

Imagen 1 Diagrama eléctrico KI-CT3020A Proteus	24
Imagen 2 Trazador de curvas con ESP.....	25
Imagen 3 Fuente de voltaje.....	28
Imagen 4 Fuente de Voltaje prueba.	29
Imagen 5 Parte dos, Trazador de Curvas.	30
Imagen 6 Componente soldado.	30
Imagen 7 Componente scon termo fil.....	30
Imagen 8 Circuito finalizado	31
Imagen 9 Circuito conectado a corriente eléctrica.	32
Imagen 10 Lectura de salida con osciloscopio.	32
Imagen 11 Esquema del trazador de curvas para dispositivos semiconductores.....	34
Imagen 12 Propuesta dos del circuito.....	34
Imagen 13 Esquema final.	35
Imagen 14 Diseño esquemático de la PCB.....	36
Imagen 15 Placa de PCB diseño 2.....	36
Imagen 16 Placa de PCB rediseño.....	37
Imagen 17 Vista de la placa en 3D	38
Imagen 18 Propuesta en 3D.....	38
Imagen 19 Diseño final en 3D.....	39
Imagen 20 Visualización de medidas.	40
Imagen 21 Propuesta de diseño.	41
Imagen 22 Entradas del trazador de curvas.	41
Imagen 23 Vista interior.	42
Imagen 24 Grafica de transistor con 4.6v.....	46
Imagen 25 Grafico de transistor con 13v.....	46
Imagen 26 Grafico de un Diodo Zener con voltaje de 13v.....	47
Imagen 27 Grafica de un diodo rectificador a 4.6v	47
Imagen 28 Grafico de diodo rectificador con 13v.	48

Imagen 29 Grafico de diodo rectificador con 33v.	48
Imagen 30 Grafico de Triac con 4.6v.	49
Imagen 31 Grafico de Triac con 13v.	49

Índice de Tabla.

Tabla 1 Componentes electrónicos.	27
--	----