



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

# **Sistema modular híbrido de recarga para baterías**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Mecatrónico**

**P R E S E N T A**

Carlos Rodolfo Patiño Meneses

**ASESOR DE INFORME**

Dr. Adrián Espinosa Bautista



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

## AGRADECIMIENTOS.

*"Nunca digas nunca. Porque los límites, como el miedo, a menudo son sólo una ilusión".*

*"Para aprender a triunfar primero tienes que aprender a fallar".*

-Michael Jordan.

No existen imposibles solo mentes con sus propias limitaciones, si las cosas fueran fáciles cualquiera las haría cualquiera; por eso los fracasados se caen una sola vez y los triunfadores lo harán muchas veces porque **nunca se dan por vencidos.**

Durante esta vida como universitario debo conocimiento, sabiduría y consejos a muchas personas que me ayudaron a realizar mi formación:

A mis padres; **Norma Lilia y Carlos Rodolfo** por siempre confiar en mí, a ayudarme a encontrar mi camino y demostrarme que siempre se puede salir adelante si te esfuerzas y crees en ti, y sobre todo por enseñarme que lo más importante es la familia.

A mis abuelitos paternos y maternos por darle vida a las dos personas más inteligentes e increíbles del mundo: **mis padres.** A mi abuelita paterna, que es la única que está presencialmente conmigo; mis dos abuelitos y abuelita materna que están conmigo en espíritu.

A mi hermano; **Omar.** Mi amigo; Alfonso Núñez, y a mi primo; Carlos Colín, por ser un gran apoyo en situaciones estresantes. Todos han sido como un **hermano** a lo largo de mi vida y son de las personas más importantes al ser un apoyo en mi vida.

A mi primo; **M.I. Isaac Barrón** por compartir sus logros, principios y valores conmigo y volverlos una motivación, por ser un constante recuerdo de **quien soy.** Por el apoyo y consideración que me has brindado y tenido en mí.

A mis tíos; **Carmela y Luís**, por preocuparse, brindarme palabras y consejos que fueron y serán de gran inspiración, así como reflexiones para todo lo que me proponga en la vida.

A mi tío; **Juan Manuel**, por convivir las mejores etapas de mi vida y que hoy puedo compartir con él este logro.

A un gran amigo y confidente; **CD. Felipe Téllez (papá Felipe)(†)** por las palabras de reflexión y motivación que me brindó para poder creer en mí **y terminar mi carrera.**

Mis Amigos y compañeros: Lalito, Omar Jommy, Nacho, Chuchín, Pame Duarte, Tín, Daniel Rincón, Dul, Warrior y Curi.

A mi asesor; **Dr. Adrián Espinosa Bautista**, le agradezco los comentarios, la paciencia y su participación con este trabajo.

A mis sinodales, por demostrarme que sé y no sé –así puedo continuar en aprendizaje y crecimiento constante– por dejar en mí una huella de conocimiento y criterio.

A mi amada **Facultad de Ingeniería** y mi **Universidad Nacional Autónoma de México**, por la formación que me dieron, sus principios, valores y **colores** que siempre tengo presente. Nunca dejaré de llevar en alto sus nombres y ser **orgullosamente el ingeniero universitario que soy.**

# Índice.

ABREVIATURAS .....	5
Capítulo 1. Introducción.....	6
1.1 Planteamiento y comprensión de área de oportunidad.....	6
1.2 Sistemas de generación eléctrica.....	7
1.3 Descripción de la empresa .....	8
1.3.1 Visión y objetivos de la empresa (organigrama).....	8
1.4 Rol de puesto.....	9
1.4.1 Descripción de mi posición como Ingeniero Principiante (Jr.) .....	10
Capítulo 2. Desarrollo de actividades en el área de trabajo.....	12
2.1 Alternativa de enfoque.....	13
2.2 Problemática en esta área de diseño.....	15
Capítulo 3. Desarrollo y Solución al Problema Planteado.....	20
3.1 Etapa Área de Monitoreo.....	20
3.2. Etapa de Control.....	22
3.3. Etapa de Ajuste de Valores de Operación.....	25
3.4. Etapa de Integración de los Dispositivos.....	33
Capítulo 4. Ajuste y Calibración.....	35
4.1 Etapa de ajustes y simplificación del controlador de carga de respaldo .....	35
4.2. Etapa de circuito impreso (PCB).....	37
4.3. Implementación con sistema fotovoltaico en operación.....	41
Capítulo 5. Conclusiones.....	42
Capítulo 6. Bibliografía y Referencias.....	45

## ABREVIATURAS

CFE – Comisión Federal de Electricidad.

UPS – *Uninterruptible Power Supply* (Fuente Ininterrumpible de Energía).

GAL – *Generic Array Logic* (Matriz Lógica Genérica).

PIC – *Programmable Integrated Circuited* (Circuito Integrado Programable).

BA – Voltaje Batería en Alto.

BB – Voltaje Batería en Bajo.

---

### Unidades SI, derivadas y sus abreviaturas

---

Magnitud	Unidad	Abreviatura
Potencia	watt	W
Resistencia eléctrica	volt	V
Potencial eléctrico	ohm	$\Omega$
Corriente Eléctrica	ampere	A

## **Capítulo 1. Introducción.**

### **1.1 Planteamiento y comprensión de área de oportunidad.**

En la actualidad se ve un creciente interés por el uso de energías renovables, tanto en el sector comercial como doméstico, para tener ahorros en el consumo de energía eléctrica, y aunque en el sector comercial ha habido un crecimiento considerable por su capacidad de inversión para obtener ahorros en las diferentes industrias, el sector doméstico se ha visto rezagado por la inversión inicial, el cumplimiento de documentación y trámites ante el único proveedor en México CFE.

Por lo anterior, en busca de alternativas para simplificar la instalación y crecimiento de una planta generación fotovoltaica para el sector doméstico y pequeño comercio, se buscan alternativas de diseño, de ahí tomando las ventajas y desventajas de las alternativas de instalación y las tendencias de aplicación de control automatización, domótica y administración de la energía en otros países, se plantea la implementación de un Fuente Ininterrumpible de Energía (por sus siglas en ingles Uninterruptible Power Supply UPS/no-break) administrador de carga híbrida.

Este administrador de carga híbrida, consiste en respaldar una cierta sección de un inmueble con un UPS que permitirá la descarga de las baterías para la demanda del área seleccionada del inmueble y administrar el proceso de recarga de las baterías por parte de una energía renovable como celdas fotovoltaicas, y tendrá como respaldo al demandar energía a la red eléctrica, cuando los paneles no reciban suficiente luz del sol o la carga de las baterías reciba una demanda mayor a la esperada durante los periodos sin luz.

Si bien, soy supervisado por el área de ingeniería de proyectos de energía renovable (ER) con la asignación de actividades específicas que conformaran la implementación de un dispositivo del que entiendo que la función que se pretende implementar como esta descrita en el párrafo anterior, y el valor agregado que ofrece en el ahorro en consumo de energía de la red eléctrica.

Se me ha incentivado y orientado para documentarme e informarme más a fondo sobre el mercado de energía, la oferta y la tecnología actual, para tener una perspectiva más amplia sobre el tema, razón por la cual, adicional a las instrucciones de mis actividades de una parte a desarrollar del dispositivo que se está implementando, he recibido documentos de introducción sobre los temas relacionados en los que me he basado para investigar y preguntara a mi supervisor sobre los temas descritos de forma resumida.

Representó un reto poderme introducir en un área de aplicación de la ingeniería como es el sector energético, que es tan vasto y del cual se están desarrollando subsectores en proceso de crecimiento, por lo cual a continuación presento como introducción, un resumen de la información

y conocimiento que adquirí durante este proceso para tener un mejor entendimiento sobre el proyecto que se desarrolló y que complemento mi proceso de formación para ver la aplicación práctica de lo que se estaba trabajando.

## **1.2 Sistemas de generación eléctrica.**

La generación de energía eléctrica para ser usada tanto en el ámbito doméstico, como industrial se produce en plantas o estaciones de generación eléctrica que actúan como otra industria con la salvedad que éstas tienen como fin generar y distribuir la energía eléctrica.

Estas instalaciones comunes están configuradas de acuerdo al tipo de fuente que utilizan para la generación eléctrica por tipo de combustible:

- Planta por carbón.
- Plantas con gas natural y combustóleo.
- Planta de ciclo combinado.
- Plantas Nucleares.

Este tipo de plantas tienen sus instalaciones alejadas de centros urbanos por motivos de seguridad, debido a la necesidad de eliminación de residuos ocasionados en su actividad y al gran espacio que necesitan para su implementación, no disponible cerca de los centros urbanos de mayor consumo.

Clasificando de acuerdo a las principales formas de energía renovables, también se pueden clasificar las instalaciones:

- Hidroeléctrica.
- Geotérmica.
- Eólica.
- Etanol y Biocombustibles.
- Celdas de Combustible.
- Solar (celdas Fotovoltaicas (PV) o concentradores Solares (CSP)).

Con las nuevas tecnologías más accesible de energías renovables como eólicas y fotovoltaicos han surgido alternativas para que en las mismas ciudades se puedan instalar en edificios y viviendas micro plantas de generación eléctrica (sobre todo fotovoltaicos) que permitan producir energía que sea suministrada a la red cuando hay excedentes y consumir de la red cuando la producción

es menor, permitiendo funcionar de manera similar a como lo hacen algunas grandes empresas, pero a menor escala para la capacidad de espacio en la ciudad.

Para hacer la instalación y los cálculos del sistema, es necesario el apoyo de una consultoría para una asesoría técnica de los equipos a instalar aceptados por CFE y la documentación técnica que se debe cumplir para realizar el contacto de interconexión en alguna de las modalidades para plantas de generación de menores a 0.5 MW (Medición Neta de Energía, Facturación Neta o Venta total de Energía), que se basan en los niveles de consumo en los recibos de energía eléctrica sin analizar y atender otras áreas de oportunidad para reducir el consumo de energía eléctrica.

### **1.3 Descripción de la empresa**

#### **1.3.1 Visión y objetivos de la empresa (organigrama).**

La empresa CEERYEET tiene los siguientes puntos relacionados con Visión, misión, valores y objetivos que entre los socios involucrados están revisando en su proceso de inicio de actividades.

#### **Visión**

- Ser una referencia en el desarrollo de proyectos de energías renovables y eficiencia energética para el sector doméstico y pequeños comercios, con alternativas modernas de alta calidad y de nivel internacional

#### **Objetivos**

- Implementación de proyectos de energía renovable y eficiencia energética con tecnologías y metodologías de nueva generación, aplicadas en países líderes en estos desarrollos como Europa y Japón.
- Ofrecer alternativas accesibles de energía renovable y eficiencia energética para el mercado doméstico y pequeño comercio.
- Desarrollar e implementar metodologías, procedimientos y dispositivos de control para el uso de energías renovables y eficiencia energética con mayores prestaciones para el usuario final.
- Modernizar los servicios y desarrollo de proyectos de energías renovables y eficiencia energética, por medio de sistemas y dispositivos modulares que simplifiquen la implementación e instalación, a un costo más accesible adaptable al presupuesto de los clientes.

## Misión

- Ofrecer mayores opciones de alta calidad y de nivel internacional en el desarrollo de proyectos de energías renovables y eficiencia energética.

## Valores

- Con el compromiso de ofrecer el mejor servicio en el desarrollo de proyectos y asesoría proporcionadas a los clientes actuales y potenciales clientes, a través de un trabajo equipo organizado en un ambiente de respeto y cooperación, manteniendo altos estándares de calidad con integridad y honestidad para ofrecer la mejor alternativa para nuestros clientes acorde a sus necesidades y presupuesto.

### 1.4 Rol de puesto.

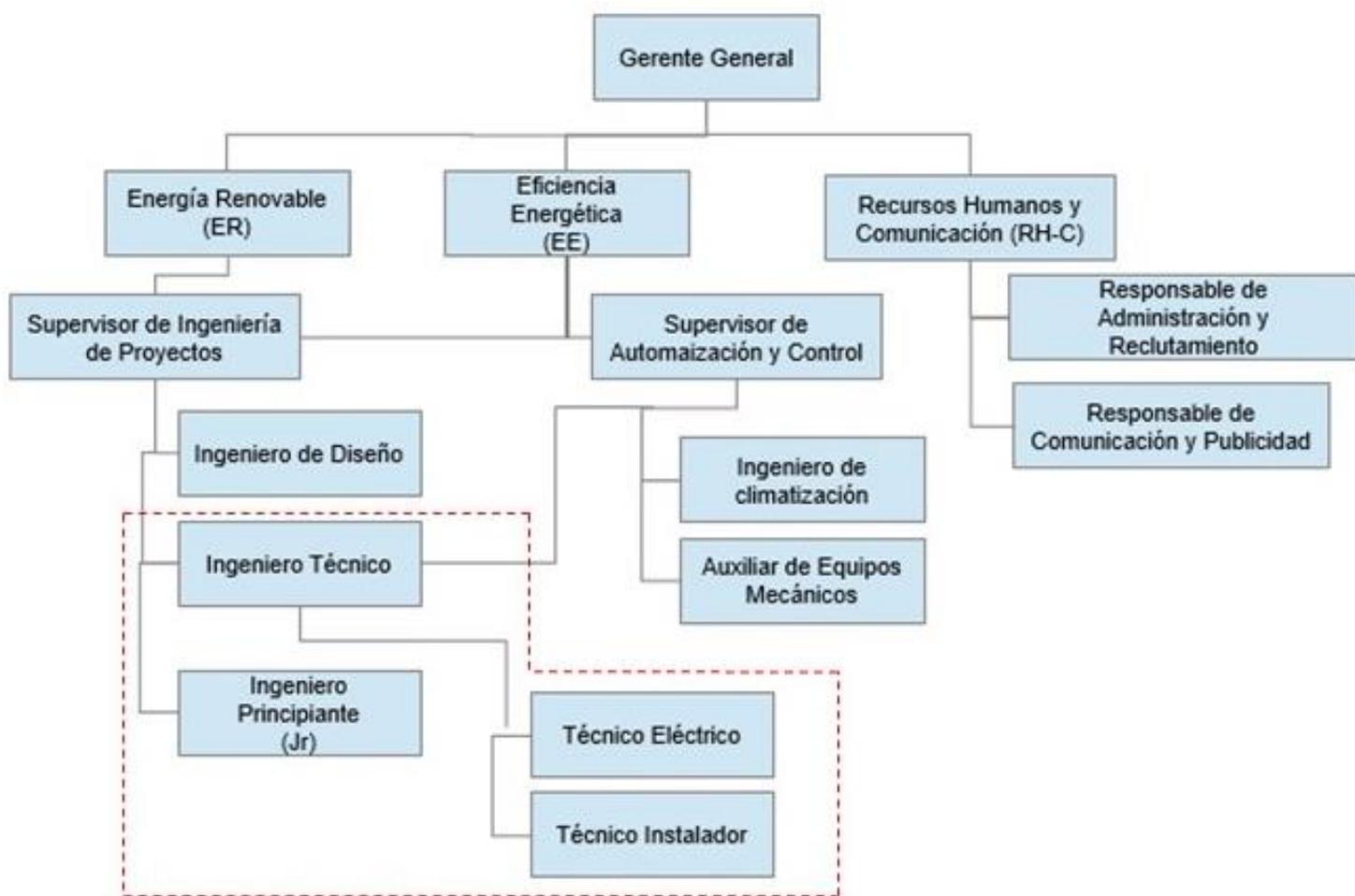
#### Descripción de Puestos y Áreas

Esta sección se describen las actividades y responsabilidades de los puestos y áreas de la empresa CEERYEET de acuerdo al organigrama del archivo “20190306 Organigrama CEERYEET”.

Las áreas de operación son las siguientes y son identificadas por sus respectivos acrónimos:

- **Energía Renovable (ER)** Atender en primera línea el diseño u adecuación de las instalaciones de los clientes para la implementación de sistemas basados en energías renovables, comparte el supervisor de ingeniería de proyectos con el área de eficiencia Energética
- **Eficiencia Energética (EE).** Atender la implementación de mejoras en las instalaciones de los clientes como diseños o adecuaciones, los cuales pueden requerir eficiente el uso de dispositivos, instalación o modernización de instalaciones e incluso instalación de otras fuentes de generación de energía como calorífica para satisfacer los requerimientos de los clientes, comparte el supervisor de ingeniería de proyectos para la implementación de los desarrollos.
- **Recursos Humanos y Comunicación (RH-C).** Encargados de la búsqueda de talentos, reclutamiento, personal temporal y externos para cumplir con los proyectos de los clientes y mantener los niveles de comunicación para canalizar al área correspondiente, difusión de servicios y seguimiento con los clientes.

Los puestos se muestran en el siguiente organigrama.



Organigrama CEERYEET

#### 1.4.1 Descripción de mi posición como Ingeniero Principiante (Jr.)

Superior inmediato Ingeniero de Diseño e Ingeniero Técnico en ese orden de importancia.

##### Perfil.

- Ingeniero Eléctrico Electrónico, Mecatrónico, en Energía, Control y Automatización.
- Conocimientos micro electrónica y/o electrónica de potencia
- Deseables conocimientos de sistemas eléctricos de potencia
- Deseables conocimientos de equipos mecánicos, actuadores y/o sistemas termo hidráulicos.
- Con conocimiento o interés para aprender a programar computadoras, microcontroladores, componentes y dispositivos electrónicos para control y monitoreo.

- Manejo de idioma inglés básico a intermedio.
- Creativo
- Autodidacta.
- Organizado
- Disciplinado
- Proactivo.
- Comunicativo

### **Actividades**

- Dar soporte al ingeniero de diseño del área de ingeniería de proyectos.
- Implementar y realizar simulación y pruebas de los diseños y prototipos implementados por el ingeniero de diseño.
- Investigación de alternativas y componentes comerciales equivalentes para la implementación y/o ensamble de los dispositivos especificados para los proyectos y prototipos desarrollados.
- Dar soporte al ingeniero técnico en la supervisión e implementación de los proyectos desarrollados.

### **Responsabilidad**

- Desarrollar las actividades indicadas por su superior inmediato.
- Llenar bitácora básica de actividades con horas de acuerdo a las actividades asignadas.
- Presentar reporte verbal y/o escrito de acuerdo a las instrucciones del superior inmediato.
- Presentar resultados de los avances y pruebas ya sea con tablas de mediciones, diagramas y conclusiones, o formato de revisión cuando sea proporcionado, según sea el caso.
- Preparar reporte escrito con las etapas definidas del proyecto, para integrar los datos generados y obtenidos.
- Acordar fechas de entregas con el superior inmediato de acuerdo a los avances o replanteamientos que se hagan de las asignaciones.
- Generar documentos de revisión de acuerdo a las indicaciones del superior inmediato.

## Capítulo 2. Desarrollo de actividades en el área de trabajo.

Actualmente las consultorías y empresas especializadas en la energía renovable solar y principalmente en relación a las celdas fotovoltaicas ofrecen dos modalidades de plantas de generación eléctrica fotovoltaica siendo las siguientes:

- A. Modo Isla.** Totalmente aislado sin conexión a la red, con baterías de almacenamiento para inmuebles sin conexión a la red y con una instalación con mayor capacidad de almacenamiento, para satisfacer la demanda del inmueble en los periodos sin luz solar o viento en caso de instalar generadores eólicos.
- B. Interconexión a la red.** Instalación de paneles fotovoltaicos con inversores que entregan la energía a la red eléctrica, de modo que es un flujo de corriente bidireccional hacia la red o hacia el inmueble dependiendo de las necesidades de consumo del inmueble.

### Ventajas de ambos sistemas.

- Aprovechamiento de las fuentes de energía renovables para reducir la dependencia de un generador de combustible en el caso del sistema aislado (modo isla), o la reducción de la factura de consumo de energía interconectado a la red eléctrica.

### Desventajas en ambos.

- Altos costos de instalación y diseño (bajo los modelos actuales).
- Costo de recuperación a largo plazo.
- El aprovechamiento de la vida útil de los dispositivos instalados puede verse reducido de acuerdo a las condiciones climáticas del lugar.
- En ocasiones no resulta atractivo para la mayoría de los consumidores ya que solo representa un beneficio por el que deben invertir grandes cantidades de dinero.
- En modo isla, sin un sistema de respaldo de baterías o generador de emergencia se pueden quedar sin energía, por lo que requiere una inversión adicional para tener respaldo.
- En modo de interconexión, si la conexión a la red eléctrica se ve interrumpida el sistema deja de funcionar, y si se presenta una variación (transitorios) en la red eléctrica puede afectar a largo plazo los inversores o micro inversores del sistema fotovoltaico conectados a la red eléctrica del proveedor.

## 2.1 Alternativa de enfoque.

Una alternativa que se está explorando, es implementar un sistema híbrido (entre modo isla y modo interconexión) modular que reduzca los costos de diseño, para una instalación rápida que reduzca el cálculo y diseño de sistemas que permita al usuario ir haciendo crecer su sistema fotovoltaico (o de otra energía renovable) de acuerdo a su capacidad de inversión, el cual preliminarmente se ha definido como UPS(No-break) administrador de carga híbrida, se le denomina así por los siguientes puntos:

- **UPS(No-break)** Al ser un sistema de respaldo de energía permanente instalado en una sección específica de un inmueble, con la diferencia de que siempre estará suministrando energía por medio de sus baterías internas a las cargas eléctricas (equipos electrónicos e iluminación entre otros) que se encuentren conectados dentro del área del inmueble donde se le implemente.
- **Administrador** porque a diferencia de los UPS (no break) tradicionales que utilizan sus baterías cuando hay corte de energía, este dispositivo estará usando siempre el sistema de baterías de respaldo para suministrar permanente energía regulada administrando la carga y descarga de baterías, lo cual le permite alargar la vida útil de las baterías por sus procesos de carga y descarga permanente de acuerdo a la demanda y al nivel de carga.
- **De carga híbrido** debido a que su principal fuente de recarga de baterías es la fuente de energía renovable utilizada, que en la mayoría de los casos sería un sistema de paneles fotovoltaicos; y en caso de baja de generación, alta demanda o en los horarios sin luz solar, el respaldo para la recarga del sistema de baterías sería con la red eléctrica.

Este tipo de implementaciones es la tendencia en Europa, para los sistemas fotovoltaicos denominados de segunda Generación para viviendas, ofreciendo los beneficios adicionales mencionados, como lo es contar con respaldo de energía eléctrica ante fallas de la red y al estar aislados tienen protegida la red interna de la casa ante variaciones de la red eléctrica, adicionalmente estos sistemas ofrecen descargar los excedentes de generación fotovoltaica, cuando las baterías están totalmente cargadas y la demanda de energía es inferior a la producción del sistema fotovoltaico, pero el dispositivo implementado en una primera etapa, se limita a suministro de energía con los paneles fotovoltaicos y almacenamiento de energía en las baterías con el respaldo de la red eléctrica como ya describió anteriormente.

## **Desventajas.**

- De reciente implementación: En Europa lleva cerca de 2 años que se comenzó a implementar esta modalidad como se ha dicho sistema solar de segunda generación.
- No se conoce en México: Se comienzan a traer dispositivos del mercado americano.
- Mayor costo para los niveles y tecnología de implementación en Europa: Por el concepto de sistemas inteligentes con mayor control y monitoreo de administración de energía con conexión para monitoreo remoto, y otros sistemas de domótica.
- No existen distribuidores locales en México: Existen vendedores que traen sistemas equivalentes de china sin que ofrezcan servicio de post venta o asesoría mayor.

## **Ventajas**

- Menor costo de inversión inicial (20% de lo que usualmente se presentan los proyectos tradicionales de las consultorías locales).
- Modular para crecer como se requiera, los módulos adicionales serían más económicos porque son complementos a la inicial que es el principal.
- Adaptable a las necesidades del consumidor sin implementación inicial de grandes proyectos de inversión.
- Respaldo del suministro de energía en ciertas áreas del inmueble ante fallas en la red eléctrica.
- Respaldo por parte de la red eléctrica en períodos con baja producción de energía renovable o con equipos de mayor consumo como refrigeradores, bombas, centros de lavado entre otros.
- Sistema estable aislado de las variaciones de la red eléctrica, eliminando el uso de los reguladores de voltaje.
- Los actuales sistemas fotovoltaicos interconectados ya instalados se pueden modificar con cambios menores dependiendo de las condiciones originales de diseño.
- Opción de actualización o modernización de la red eléctrica interna del inmueble durante el proceso de implementación.

## **2.2 Problemática en esta área de diseño.**

Debido a los componentes disponibles en México con los que se va a integrar el controlador se tomó la decisión de los valores de referencia que se van a utilizar por ejemplo un sistema de baterías de 24V para definir los niveles a monitorear y un controlador fotovoltaico con fuente fija de 5V para alimentar el circuito controlador y como señal de referencia.

Al comenzar el proceso de diseño para resolver esta alternativa de tener un sistema híbrido en una instalación fotovoltaica, se propuso tener una instalación controlada y monitoreada para ser integrada con otros equipos que existen comercialmente y que serán controlados como: el cargador de batería y el monitoreo de las baterías que trabaja independiente a la red eléctrica doméstica, debido a que el sistema maneja señales analógicas y digitales.

Se propone de primera instancia el monitoreo en el voltaje de un conjunto de baterías, de modo que cuando esté por debajo de cierto valor se mande una señal para iniciar la carga y cuando alcance un valor de carga mínima suficiente, se mande otra señal para suspender el proceso de carga, inicialmente se definieron los valores 22V como valor inferior y 23V como valor superior con la finalidad de probar y verificar la sensibilidad de los componentes para el monitoreo de los niveles de voltaje, los puntos de traslape de las señales y las variaciones con respecto a los cálculos y las simulaciones realizadas para posteriormente realizar los ajustes para los valores a utilizar.

Por lo descrito anteriormente, se definió emitir una señal digital cuando el circuito detecte que el voltaje ha caído por debajo de cierto valor o ha superado cierto voltaje (22 y 23V para cuestiones de pruebas). Lo que se complementa utilizando un valor de referencia fijo, en este caso la referencia son los 5V de la fuente de voltaje fija, o evaluar la opción de utilizar los 5V de regulación de voltaje de un diodo Zener.

El diodo Zener en esta primera etapa se utiliza con el objetivo de tener un circuito de protección, para evitar los sobre voltajes a la entrada y detectar los cambios de voltaje, para obtener una señal digital que permita utilizarse en la lógica de control que se pretende implementar, por eso se tenían varias alternativas iniciando con análisis de componentes resistentes como diodos y transistores.

De ahí que se plantearon inicialmente opciones para realizar cálculos y pruebas para la implementación del circuito de monitoreo, para verificar el comportamiento de los componentes eléctricos a utilizar, para ir agregando y modificando el circuito implementado.

Sabiendo que el diodo Zener mantiene el voltaje constante mientras el voltaje sea superior a su voltaje de regulación (5 ), y para cuestiones de análisis cuando el valor es inferior el valor del voltaje se considera cero al no poder mantener la regulación de voltaje.

Se evalúa este comportamiento físico real (Imagen 01), con la finalidad de utilizar esta característica como testigo para apagarse cuando el voltaje sea inferior al valor deseado y permanecer encendido mientras el voltaje este por encima del valor deseado, de esta forma tenemos una señal digital regulada (5V alto, 0V bajo) en la terminal del diodo Zener, la cual se puede manipular con compuertas, controladores o transistores para aumentar la protección de la etapa digital de la parte analógica de potencia. Lo que se probó en este punto fue el comportamiento del diodo Zener para una aplicación que no es común que se utilice para estos elementos, es decir fuera de sus valores inferiores de regulación en combinación con otros componentes básicos como los divisores de voltaje con resistencias.

**Dónde:**

VM = Voltaje a medir

RS = Resistencia de drenaje

RL = Resistencia de carga de medición

RA = Resistencia de acoplamiento en caso de utilizar un transistor.

En este punto se evalúa si el rango de operación del diodo Zener acepta medir el voltaje VM directamente en las terminales de las baterías, sin dañarse, para calcular los valores de las resistencias RS y RL, o si es necesario utilizar un divisor de voltaje adicional para medir un valor VM inferior, que permita operar al diodo Zener sin dañarse cuando el voltaje máximo que alcanzan las terminales de

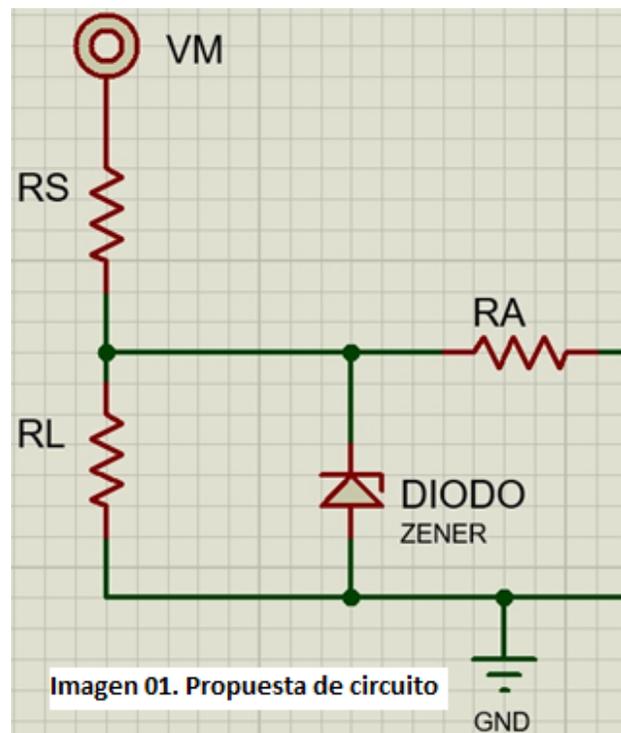


Imagen 01. Propuesta de circuito

de las baterías supera proporcionalmente el voltaje máximo del diodo Zener, de acuerdo a su potencia y corriente soportadas.

Como parte del proceso de diseño existen dispositivos y circuitos básicos que pueden realizar las funciones de medición de voltaje y en general funciones de control y operación, por ejemplo, el Arduino cuenta con entradas analógicas y digitales, sin embargo al ser un dispositivo que estará en operación continua como un controlador, el diseño del Arduino está sobrado y es susceptible de fallas en operación continua a largo plazo por lo que requiere complementos para protegerlo con las señales de comunicación, y es deseable un control de encendido independiente para evitar la operación continua en periodos tiempo largos durante el día que no se requiere control.

Por otra parte existen circuitos genéricos ya implementados para ciertas aplicaciones básicas, que pueden ser ajustados para las funciones que se pretende realizar, pero debido a las funciones que van a cumplir y los ajustes personalizados en su operación y su utilización para algunas condiciones que usualmente no se utilizan y las protecciones de circuitos que se buscan, es conveniente definir escenarios diferentes que se pueden presentar, para comprobar el comportamiento que tendrán los circuitos y los componentes para funciones que usualmente no son utilizados; por ejemplo el diodo Zener para protección de la etapa digital y para monitorear un cambio de estado específico, que se busca como el paso por los voltajes definidos para las pruebas. Por lo anterior recibí las siguientes opciones y alternativas para revisar el comportamiento de los circuitos con la finalidad de decidir la implementación de las siguientes etapas.

**Opción 1.** Utilizar el voltaje directamente en las terminales en la batería considerando que el voltaje mínimo sería 22V y el máximo que se puede alcanzar durante un proceso de carga sería 25 a 26V dependiendo las condiciones de operación.

Por lo anterior se tiene dos alternativas para definir las resistencias:

- Alternativa 1, para calcular las resistencias, basarse en un divisor de voltaje para definir la resistencia de carga, que estaría en paralelo con el diodo Zener, el cual sería un múltiplo de 5 o el más cercano de resistencias comerciales (4.7 o 5.2 $\Omega$ ), lo suficiente grande para reducir el consumo de energía, pero lo suficiente pequeña para demandar la corriente de excitación del diodo Zener.
- Alternativa 2, para calcular la resistencia, y más adecuada por parámetros de diseño, utilizar la corriente o potencia mínima de excitación del diodo Zener más el 10 %, para calcular la resistencia de carga  $R_S$  más simplificado para reducir el consumo de energía posteriormente seleccionar el valor fijo comercial más próximo de la resistencia. Y verificar que cumpla con la corriente o potencia mínima de excitación para el diodo Zener.

**Opción 1 (continuación)** Posteriormente se calcularía la resistencia de drenado  $R_S$  para el voltaje que se desea detectar (22 y 23V por ser ajustados), y se calcularían los niveles máximos y mínimos de operación  $V_M$  para el diodo Zener, se va obtener el valor inferior  $V_M$  mínimo (de apagado) y límite máximo  $V_M$  máximo (antes de dañarse), con esta opción 1 ya no se requiere divisor de voltaje porque el propio divisor de voltaje está integrado en el diseño.

**Opción 2.** En caso de que los rangos de operación  $V_M$  tenga limitantes, como por ejemplo rangos muy inferiores o muy bajos para evitar dañar el diodo Zener, se puede optar por definir un voltaje  $V_M$  más conservador, por ejemplo 9 o 12V para calcular las resistencias utilizando las alternativas de la opción 1, pero para el voltaje fijo, si se aplica esta opción, ya se tendrá resultados de referencia sobre las limitantes de diseño para definir los voltajes.

En la opción 2 el voltaje de operación sería fijo y se utilizaría un divisor de voltaje para conectar el detector. Y se tendrían que definir en qué valor se monitorearían las caídas de voltaje que se pretenden identificar.

Cuando se tenga resuelto la señal del diodo Zener, se debe verificar el rango de operación para confirmar el rango de encendido y apagado, por la diferencia de voltaje de excitación de 0.7V que tienen los semiconductores para operar, y suele afectar los puntos de operación ya que el voltaje de encendido y apagado pueden variar por las características del componente.

El voltaje regulado de los diodos Zener se puede utilizar directamente como señal digital de nivel bajo y alto para los controladores que utilizaran la señal, se puede acoplar con un optoacoplador o transistor para proteger la etapa de electrónica digital de la electrónica analógica que utiliza potencia.

Para mayor protección se puede utilizar un transistor en la configuración para circuitos de conmutación y se puede manipular la señal para transmitir la señal replicada o invertida según lo requieran los controladores digitales.

A continuación, el diagrama de conexión del circuito detector del diodo Zener con el transistor para replicar o invertir la señal.

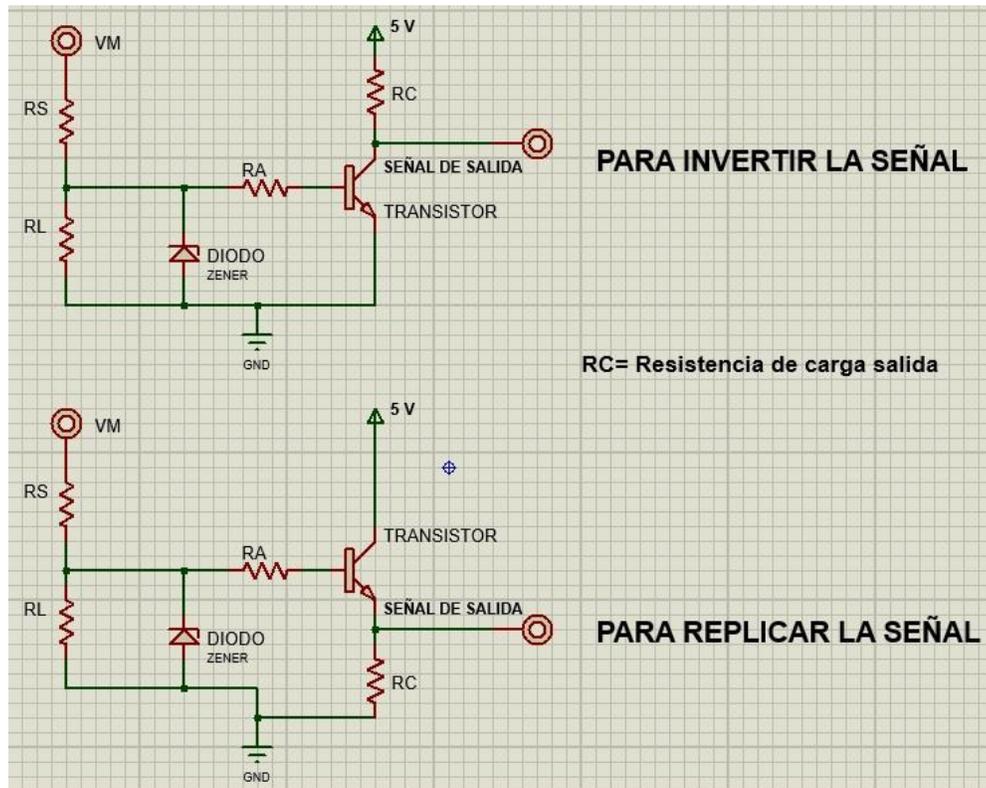


Imagen 02. Propuesta Circuito 2

La opción 1 con la alternativa 2, para calcular las resistencias fue la mejor solución desde el punto de vista de ingeniería de diseño, basado en los valores de operación, justificables en las especificaciones de los dispositivos (diodo Zener y fuentes de energía), y los valores de voltaje que se van a utilizar. Al desarrollar los cálculos necesarios para el circuito se observó, que tenía una caída de voltaje radical, por lo que se propuso un nuevo divisor de voltaje acoplado dos diodos Zener y tener un amplificador operacional ya que este nos proporcionara los cambios de amplitud del voltaje (recordando que es un circuito de instrumentación que puede ser DC o AC) y a su vez el amplificador operacional por su configuración hace el cambio de señal analógica a digital.

### Capítulo 3. Desarrollo y Solución al Problema Planteado.

Con las opciones planteadas en el anterior capítulo, se dio pauta para hacer una separación de cómo ir conformando el sistema, esto gracias a la parte del proceso de diseño que se está realizando, y con ello poder dividir estas etapas:

#### 3.1 Etapa Área de Monitoreo.

Retomando las alternativas propuestas y con las observaciones que se obtuvieron al realizar los cálculos y las pruebas físicas del modelo inicial, se planteó utilizar un Amplificador Operacional como un elemento de medición, el cual proporciona con detalle la señal de entrada de voltaje a la salida, ya que este la amplifica realizando la función de un detector de voltaje; para nuestra configuración optamos por utilizar un amplificador de bajo consumo de potencia, que compensará la frecuencia internamente y tendrá una alta ganancia. Con esto se propuso un nuevo circuito, acoplado un transistor, sustentado con la hoja de datos correspondiente, se optó por utilizarlo como interruptor, ya que por la configuración su función principal es entregar una señal de salida en respuesta a la señal de entrada.

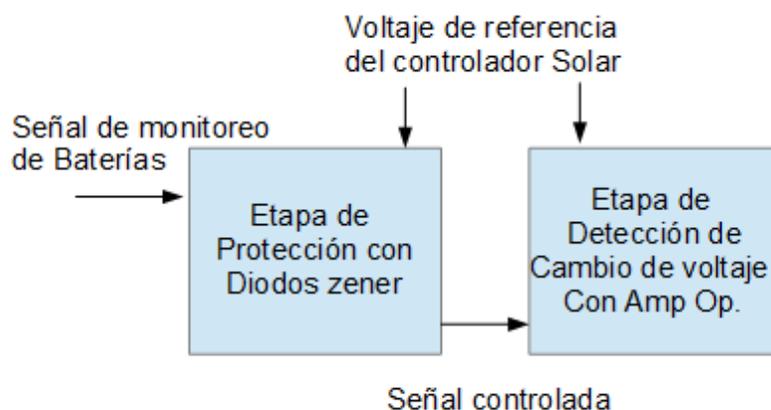
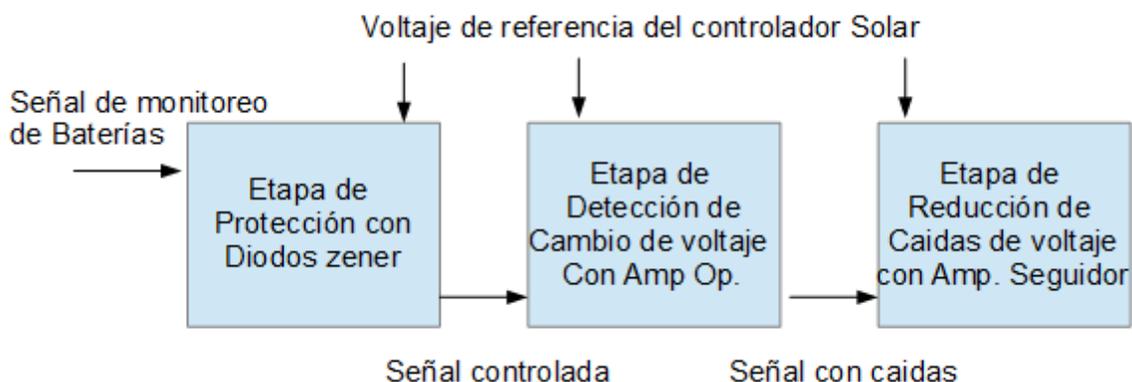


Imagen 03. Etapa de monitoreo

Teniendo la implementación el circuito anterior, se pasó a la realización de simulación física y con ayuda de un software de simulación de circuitos electrónicos, para corroborar las señales de salida y que funcionará como se requiere, pero no fue así, se encontró que tenía caídas de voltaje antes de entrar la señal al transistor, y recordando el tema de amplificadores operacionales, se identificó que tenía caídas de voltaje cuando acoplábamos muchos circuitos integrados, al percatarse este comportamiento se aplicó las correcciones para evitar caídas de voltaje, utilizando un amplificador operacional en configuración de Amplificador seguidor de voltaje, para mantener el voltaje de salida sin pérdidas mayores que afecten la operación de las siguientes etapas.

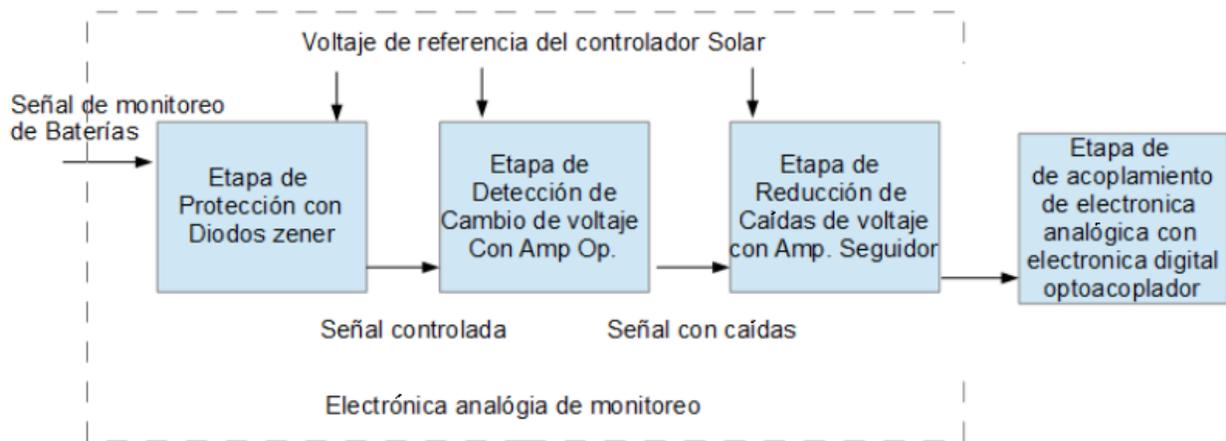
Integrando el Amplificador Seguidor a la salida de nuestro Amplificador Operacional principal y que recibirá la señal de entrada del transistor.



**Imagen 04. Adición de etapa de reducción de caídas de voltaje**

Realizando las pruebas correspondientes, se logró mantener el voltaje calculado para su comportamiento, sin embargo, se presentó un detalle a corregir; el transistor no realizaba su función correspondiente como interruptor.

Analizando el transistor, comprendí que una de las fallas que se puede encontrar en él es, que tiene perturbaciones eléctricas aunadas a los circuitos que utilizamos. Esto dio pauta para analizar con detalle este punto, porque es aquí donde se da inicio a la etapa de control y por ello se optó por un nuevo componente para implementarlo, el cual fue un optoacoplador, que es un circuito electrónico que funciona como un interruptor aislado ópticamente. Es decir, que permite una conexión eléctricamente aislada entre dos circuitos que operan a distintos voltajes. Esta construido por un led y un circuito de control activado por luz infrarroja. Una de las ventajas principales de los optoacopladores, es su separación física de comunicación eléctrica entre la etapa de monitoreo analógico y la etapa digital de electrónica de control.



**Imagen 05. Acoplamiento entre electrónica digital y analógica**

Realizando este cambio de componente y efectuando las pruebas correspondientes (físicas y simuladas), se logró la operación correcta requerida de esta primera etapa, dando pie a abordar la siguiente etapa.

### **3.2. Etapa de Control.**

Concluida la etapa de monitoreo con el acoplamiento entre electrónica digital y analógica usando el optoacoplador, que como se mencionó, está aislado eléctricamente entre la carga y la electrónica de control. Como en un principio fue mencionado, se tenía en mente usar en esta etapa una tarjeta controladora, basada en el sistema Arduino que sirviera de control, si se comenzó una etapa de control para este, por lo que al analizar detalladamente se identificó que en este control se pueden realizar las operaciones requeridas a la salida de nuestro optoacoplador y poder tener una operación continua en el sistema, aun teniendo periodos muertos.

Por lo que se requirió un análisis de varias opciones sobre las características de los componentes que podrían ser utilizados, lo cual requeriría tiempo para la comprensión de las diferentes formas en que podría implementarse y la secuencia de la operación de control, para abordar el tema de cómo aplicarlo y sobre todo de cómo integrarlo. Por lo que, después de desarrollar un análisis de alternativas de implementación y desarrollo, se optó por una simplificación utilizando compuertas lógicas para el desarrollo de una máquina de estados que se busca aplicar.

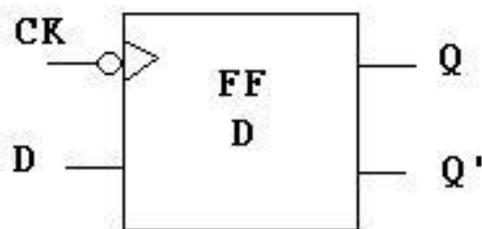
Para lo cual, se analizaron las entradas que se tendrían en las compuertas, siendo de interés los voltajes de las baterías teniendo una señal de entrada cuando el voltaje estuviera en el nivel definido alto y bajo, como se sugirió al principio para analizar el problema e implementar. Con ello se realizó los diagramas de estado y las tablas de verdad para facilitar su comprensión. En una primera solución, utilizando compuertas NAND y OR para realizar las operaciones y que se

presentaran los estados, se buscó obtener y minimizar el uso de compuertas adicionales para invertir las señales que se requirieran.

En una primera parte se analizó el control independiente a la salida del optoacoplador, para verificar el funcionamiento correcto; con ayuda de un software, se desarrolló una simulación para corroborar su función, al hacer las pruebas físicas de acuerdo a la simulación se encontró un detalle a corregir que ya se había considerado, el cual no realizaba todos los cambios como se observó en la simulación, se volvió a analizar detalladamente y recordando que en esta etapa se usaron funciones algebraicas booleanas, se logró simplificar con ayuda de los mapas de Karnaugh, otorgando el desarrollo de los estados y simplificando la operación de control a realizar.

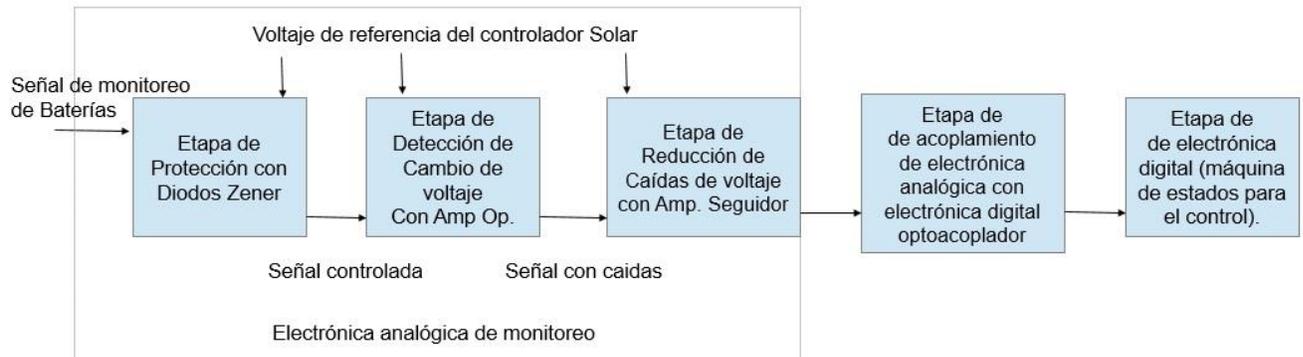
Se simplificó el circuito, propuesto en un principio, pero este seguía presentando el mismo error en el comportamiento, por lo que se tuvo que analizar a fondo, y al revisar la lógica secuencial y combinatoria se identificó que las compuertas si desarrollan su operación, pero como se había considerado y esperaba: en los estados tenemos dos estados de retardo para realizar el cambio y durante el cambio de estado, en cada compuerta con el retraso y la aplicación de las operación por las entradas recibidas, no accedía a guardar el dato (bit) de retroalimentación de información que se requiere para cambiar o mantener el estado, en tanto se completaban las operaciones en las compuertas, con lo que se comprobó que era necesario almacenar el dato digital de salida para para hacer el cambio al estado siguiente y corregir la inestabilidad por el retraso en la respuesta de las compuertas.

Para ello fue necesario utilizar un Flip-Flop tipo D como dispositivo de almacenamiento de un bit que deja pasar lo que entra (D) a su salida (Q) después de un pulso de reloj. Para el pulso de reloj se implementó un temporizador el cual proporcionara un retraso en la señal de salida, para que puedan realizar la operación las compuertas y permitir realizar los cambios de estado de acuerdo a la secuencia definida.



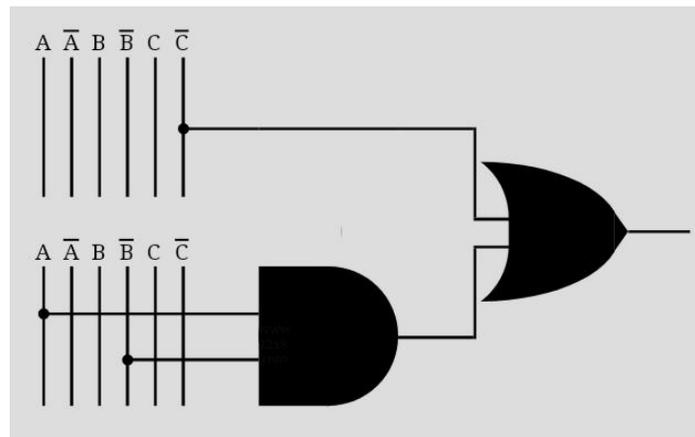
**Imagen06. Flip-Flop tipo "D" utilizado**

Implementando el Flip-Flop D y el reloj (Timer) al circuito previamente simulado con ayuda de un software de simulación de circuitos electrónicos, se obtuvo el comportamiento definido y para ser implementado físicamente para el desarrollo de las pruebas correspondientes.



**Imagen 07. Etapa de Electrónica Digital (Control)**

Continuando con la etapa de control y retomando los mapas de Karnaugh, se implementó una simplificación al circuito con las compuertas NAND y OR, utilizando compuertas AND y OR.

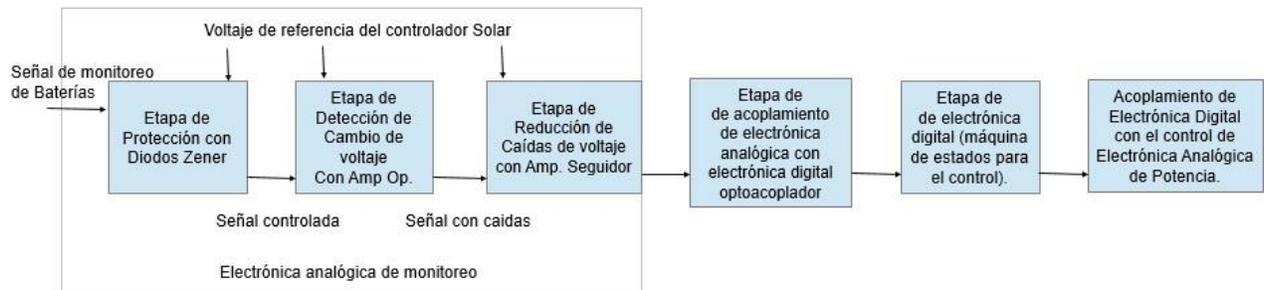


**Imagen 08. Simplificación de compuertas para máquina de estados definida**

De acuerdo a la configuración anterior, se implementó un circuito de prueba independiente al circuito general, logrando obtener los estados deseados; se prosiguió a la prueba con el circuito general haciendo una modificación en los optoacopladores configurando que fueran de tipo Pull-Up para obtener las entradas requeridas; al implementar el modo Pull-Up en la salida del optoacoplador, se encontró con un error de sobrealimentamiento. Por lo que después de hacer varias pruebas se optó por dejar la configuración anterior usando las compuertas NAND y OR.

Retomando las compuertas NAND y OR, las cuales ya realizaban la función de los estados correspondientes, el siguiente proceso a implementar fue integrar un relevador que hiciera la función de un interruptor, el cual, dependiendo del estado digital (a la salida del Flip-Flop), excitara la bobina que tiene el relevador para encender o apagar el cargador de las baterías de acuerdo a los voltajes definidos en la etapa de monitoreo.

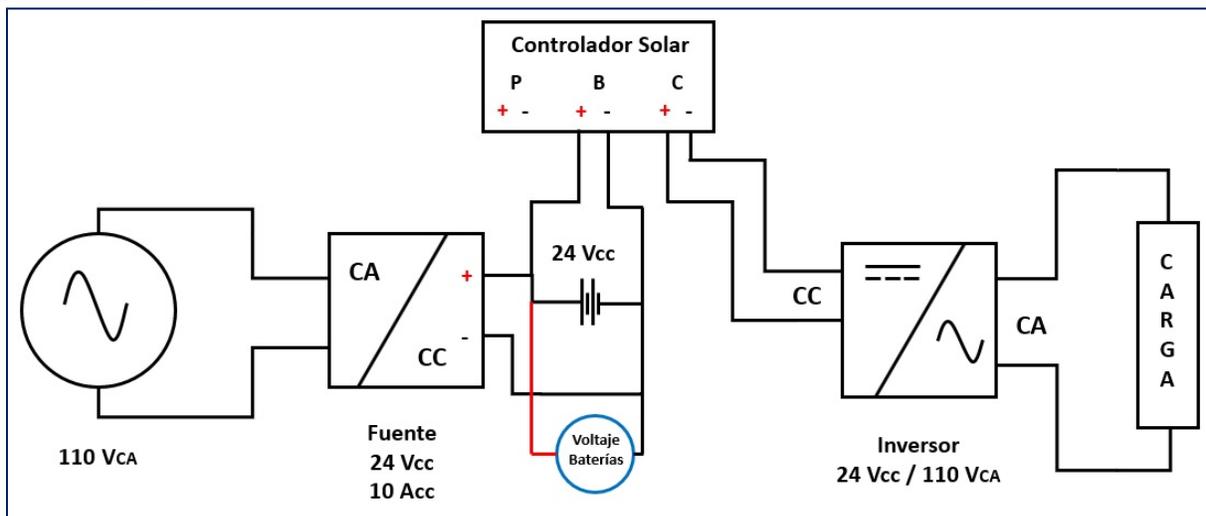
Se planteó en primera instancia colocar un optoacoplador antes de que la señal entrara al relevador que actuaría como protección e interruptor, pero el resultado de las pruebas con un circuito independiente (parte electrónica digital) y en conjunto (analógica y digital), mostraron mucha variación en cuanto a las señales de salida, por lo que se optó por quitar el optoacoplador y utilizar un Amplificador Operacional Seguidor para evitar la caída de voltaje que pudiera presentar a la entrada del relevador y con un diodo de protección, evitando un posible sobrevoltaje o cortocircuito.



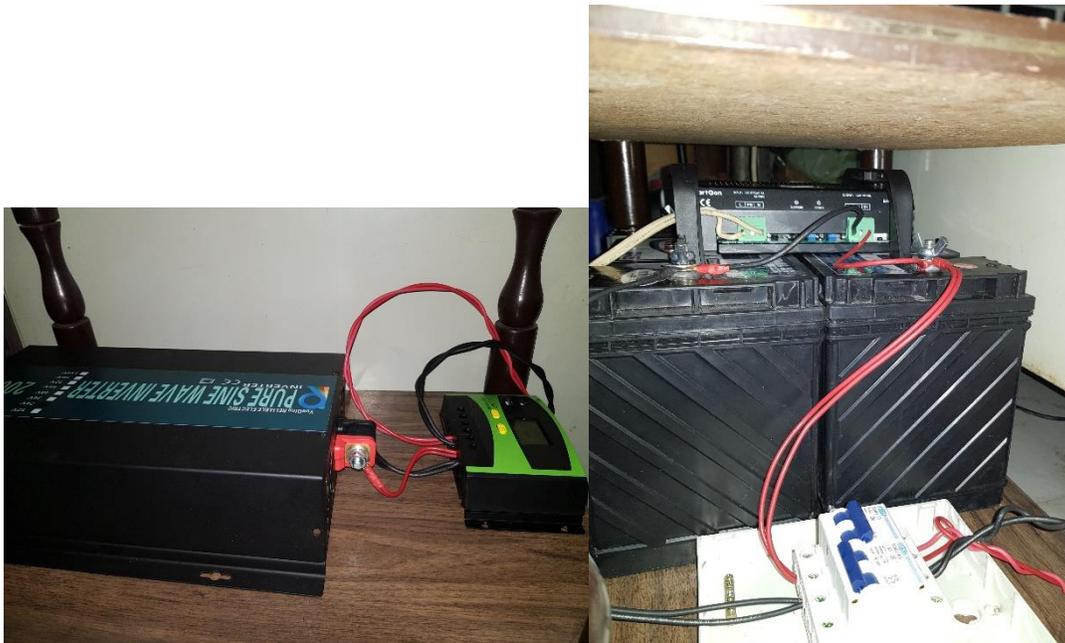
**Imagen 09. Acoplamiento de Electrónica Digital con el Control de Electrónica Analógica de Potencia**

### 3.3. Etapa de Ajuste de Valores de Operación.

En esta etapa se realizaron las curvas de histéresis correspondientes a las baterías, teniendo la curva de carga y descarga, para ello se implementó el circuito (Imagen 10); con ayuda de un controlador solar o controlador de carga solar (es un controlador comercial) de los paneles fotovoltaicos, se puede monitorear varios aspectos de nuestras baterías y paneles; teniendo del siguiente diagrama:



**Imagen 10. Diagrama de circuito implementado para pruebas de carga y descarga**



**Imagen 11. Conexión de inversor con controlador y baterías conectadas con interruptor**

Se pretende obtener las curvas de histéresis de acuerdo a los casos hipotéticos de carga, en relación a la descarga que dependerá de los dispositivos/aparatos electrónicos que se utilicen para simular una operación común, para la carga que se utilizara: Estado de la carga de baterías sin ningún dispositivo conectado, proceso de encendido y proceso de carga y descarga con dispositivos/aparatos electrónicos conectados.

De acuerdo al diagrama de conexiones (Imagen 10), se tiene una fuente de carga de 24Vcc (cargador) que es alimentada por corriente alterna tomada de la red de instalación eléctrica, la cual proveerá la carga a las baterías que tenemos en operación y que éstas a su vez están conectadas al controlador de carga solar (teniendo de seguridad un interruptor), con el que permite monitorear el voltaje, corriente y amperes hora suministrados. Siguiendo, se pasó al inversor, con el que se cambia la corriente continua a una onda rectificadas de corriente alterna en el que se utiliza un dispositivo de monitoreo de consumo eléctrico de corriente alterna para tener la medición del voltaje suministrado, la corriente, potencia y watts-hora consumidos.

Con la instalación descrita anteriormente, se tomaron los siguientes datos para sacar las curvas de carga y descarga de las baterías. Al final nos centramos directamente con la curva de carga y descarga con dispositivos/aparatos electrónicos, e implementando un ciclo para cargar dentro del ciclo definido de 22.8V que sube aproximadamente a 23.5V con la fuente de recarga encendida, y se interrumpe la recarga a 24.9V que cae aproximadamente a 24V cuando se interrumpe el suministro de energía de la fuente de recarga.

Valores registrados de corriente continua (CC):

- Nivel de voltaje de la batería según el controlador solar
- Voltaje leído en el controlador solar
- Corriente leída en el controlador
- Amperes hora suministrados
- Voltaje en el inversor
- Corriente suministrada por la fuente
- Amperes hora suministrados por la fuente
- Voltaje en las baterías medido con multímetro

Valores registrados de corriente alterna (CA):

- Voltaje en el inversor
- Voltaje a la salida medido con el killwatt
- Corriente a la salida medida con el killwatt
- Potencia a la salida medida con el killwatt
- Watts hora consumidos a la salida medidos con el killwatt

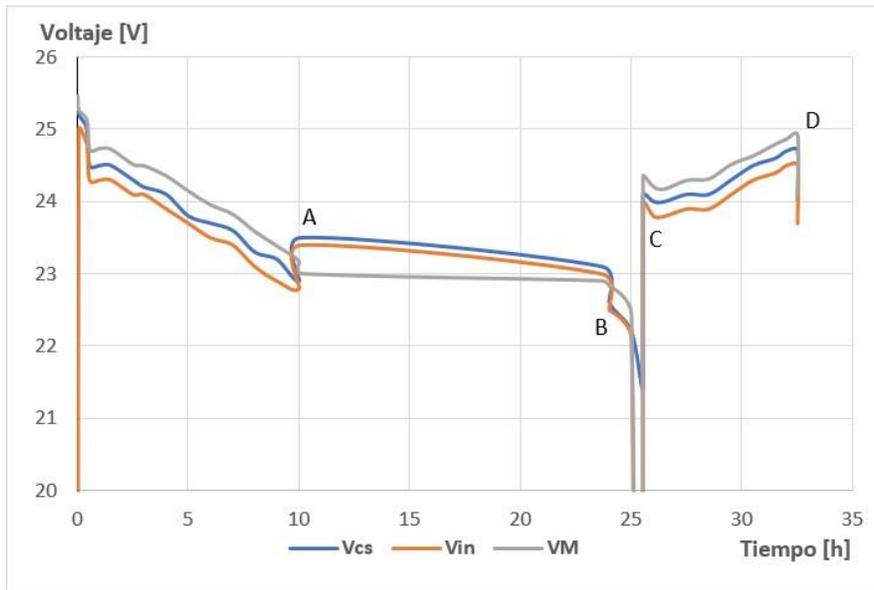
Hora de medición:

- Tiempo acumulado de operación del inversor

Las gráficas correspondientes a los datos obtenidos, fueron de acuerdo con los puntos utilizados (A-Ñ) fueron las siguientes:

La gráfica 01 muestra la curva de voltajes para la descarga y recarga de las baterías, en las primeras horas se puede observar una curva constante en el descenso del voltaje, y al llegar a las 10hrs punto A marcado en la gráfica se observa un incremento debido a que se terminaron las actividades del día y se apagaron la mayor parte de los aparatos utilizados, lo que permitió una recuperación de las baterías.

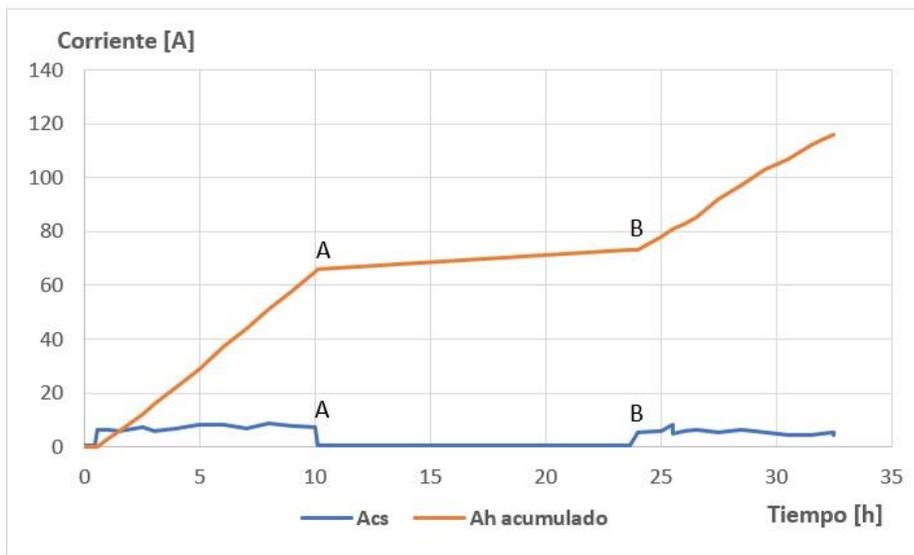
Posteriormente al día siguiente al reiniciar actividades el proceso de descarga continua en el punto B y finalmente las baterías quedaron totalmente descargadas. Y se inició el proceso de recarga de las baterías punto C con los aparatos conectados, hasta llegar al punto de carga completada en el punto D.



**Gráfica 01. Curva de voltajes de un ciclo de descarga y carga de baterías**

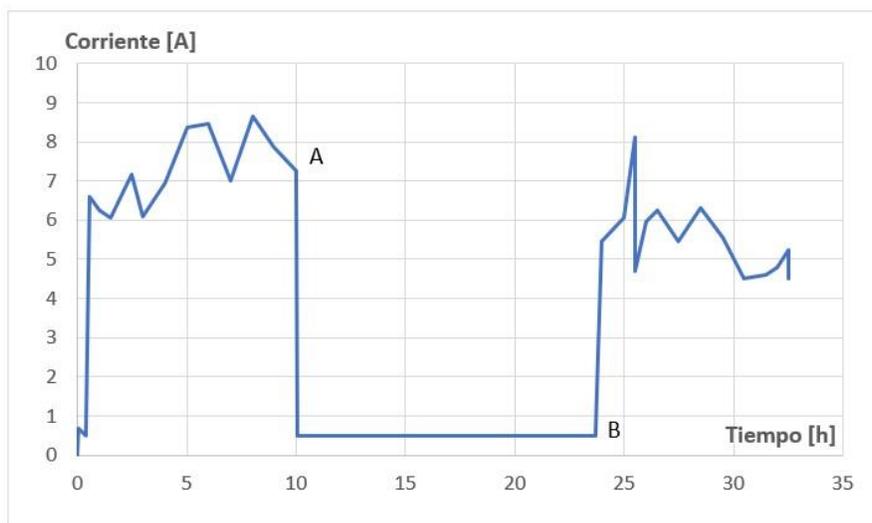
La gráfica 01, muestra que para un mismo punto de lectura se pueden tener pequeñas variaciones debido a la calibración de los aparatos involucrados.

- Gráfica 02, se puede observar la corriente consumida acumulada (Ah) va en incremento, mientras que la corriente demanda en el momento (Acs) varía dependiendo el momento del día. Se observa un descenso similar al presentado con el voltaje hasta el punto A; para ver más detalles se observa la curva de corriente demanda en el momento de la Gráfica 03.



**Gráfica 02. Corriente y Ah acumulado vs tiempo**

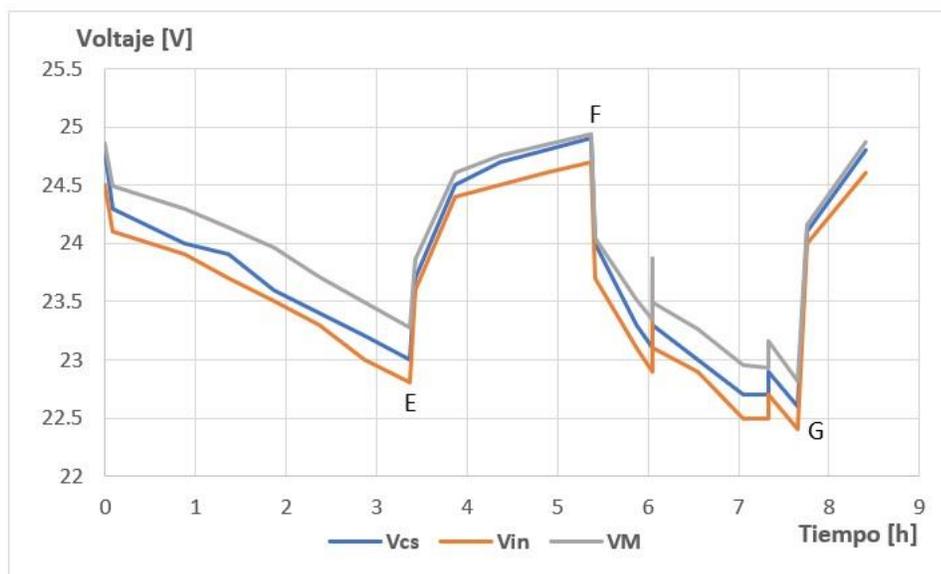
- Gráfica 03. Como se mencionó previamente se observa la curva estimada de corriente demandada por el sistema que es casi similar en comportamiento con la Gráfica 01 de voltaje y esta curva permite explicar las variaciones en el tiempo para el consumo de energía que dependió en relación al uso de los equipos y los horarios, tanto en la mañana como en la noche.



**Gráfica 03. Corriente vs Tiempo**

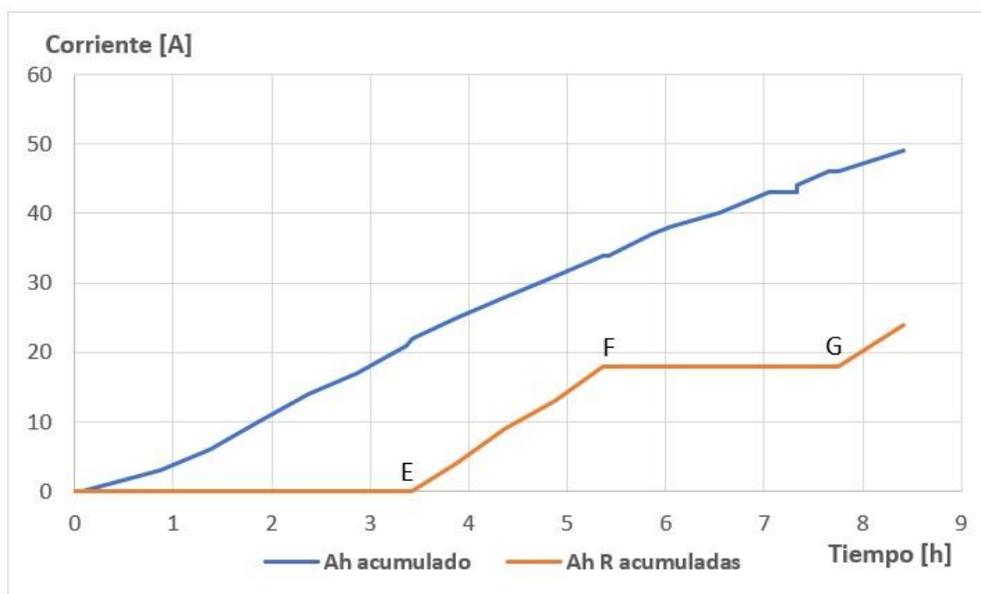
Con los rangos de operación se hizo una simulación de descarga y recarga manual de las baterías teniendo los ciclos mostrados en las gráficas 04 y 05.

- Gráfica 04. Se inició el ciclo de descarga, llegando a un punto mínimo E para iniciar el proceso de recarga, posteriormente cuando se alcanza el voltaje de carga deseado finaliza la recarga en el punto F, comienza nuevamente la descarga con algunas variaciones por la variación en el uso de los aparatos, y nuevamente inicia el proceso de recarga en el punto G.



**Gráfica 04. Variación de voltaje simulando manualmente los ciclos de descarga y recarga**

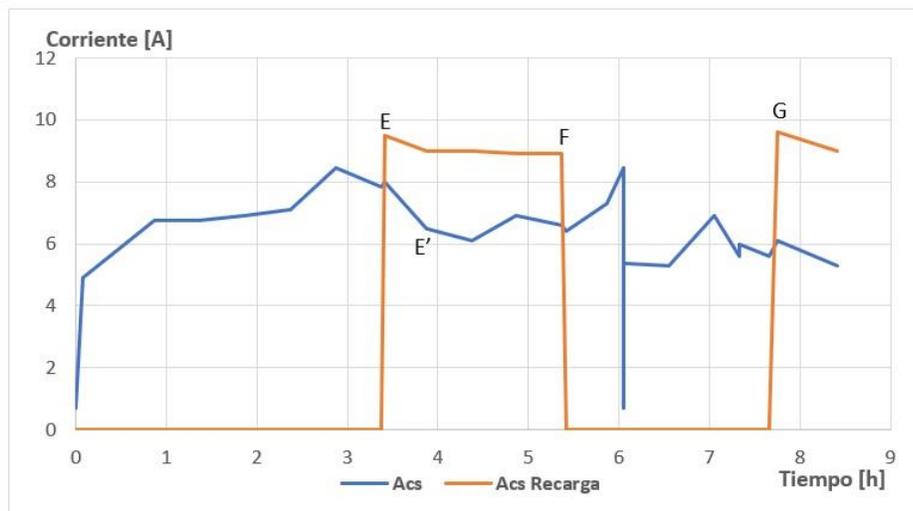
- Gráfica 05. Haciendo una comparativa, se puede notar que tiende a ser lineal creciente la curva Ah acumulada, a diferencia de Ah R acumulada (R por Recarga), ya que en esta última opera suministrando corriente para recargar las baterías entre los niveles de voltaje definidos de E a F, de F a G vuelve a iniciar el proceso de descarga por lo que no se suministra energía, y vuelve a iniciar la recarga en el punto G.



**Gráfica 05. Curva de Corriente de consumo y Recarga**

- Gráfica 06. Esta gráfica fue medida con ayuda del controlador solar, ya que con éste se logró observar dos opciones, tener la corriente consumida por el inversor que alimentaba los dispositivos electrónicos y la corriente que se suministraba con la fuente para la recarga de las baterías. La de Acs de corriente consumida por el inversor (en azul), muestra las variaciones aproximadas por la demanda y los aparatos electrónicos conectados al inversor, mientras que la curva naranja, muestra de Acs Recarga de la corriente suministrada por la fuente para recargar las baterías presenta una curva casi estable que, como se espera para fuente de recarga, disminuye conforme avanza el proceso de recarga.

Además del punto E al E' se puede apreciar como dependiendo de la demanda de corriente por parte del inversor (Acs) se ve afectado el proceso de recarga, se puede observar un descenso rápido en la corriente de recarga de (Acs Recarga) que está justificada con la reducción en la demanda de corriente consumida (Acs) para después ser más estable la corriente de recarga (Acs Recarga) a partir del punto E'.

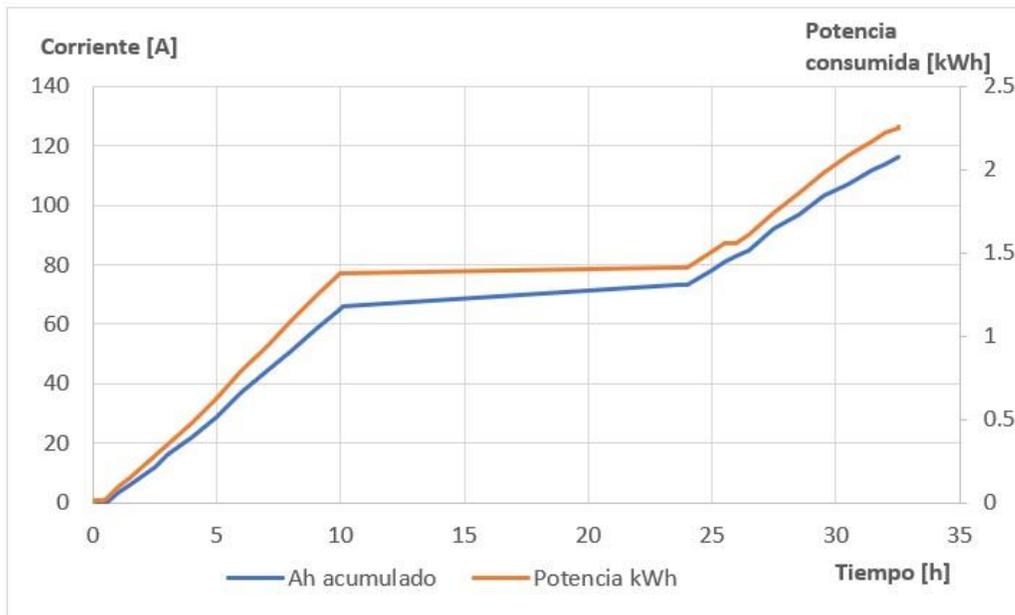


**Gráfica 06. Corriente consumida y Suministrada**

Con las curvas obtenidas de carga y descarga, se logró ajustar los puntos de operación del dispositivo implementado teniendo un voltaje alto (para la señal BA) de 24.9V, y un voltaje bajo (para la señal BB) de 22.3V.

Con las pruebas de descarga y recarga de las baterías, logré comprender por qué en un principio no se especificó totalmente el rango de operación, que estaría dependiente de los valores del banco de pruebas en el laboratorio, para identificar los valores reales que se utilizarían, y como por la variación en la calibración de los diferentes dispositivos involucrados afectan las referencias, para realizar los ajustes correspondientes para la operación del dispositivo.

Las otras lecturas registradas, como corriente alterna y potencia de corriente alterna consumida, ambas permiten llevar un registro, que sirve de testigo para corroborar que el sistema está operando adecuadamente; como se muestra en la siguiente gráfica la corriente continua consumida (Ah), es proporcional a la potencia consumida de corriente alterna (kWh), manteniendo la proporción de las curvas, por mencionar ciertos datos de análisis del comportamiento del dispositivo de forma global en sus dos etapas de corriente continua y corriente alterna.



**Gráfica 07. Corriente vs Potencia**

### 3.4. Etapa de Integración de los Dispositivos.

Una vez recabada la información y los datos obtenidos, se modificó los valores de las resistencias en el divisor de voltaje (etapa de monitoreo), comenzando con las pruebas correspondientes del controlador implementado para carga de respaldo, con el fin de verificar el funcionamiento y la correcta operación de este.

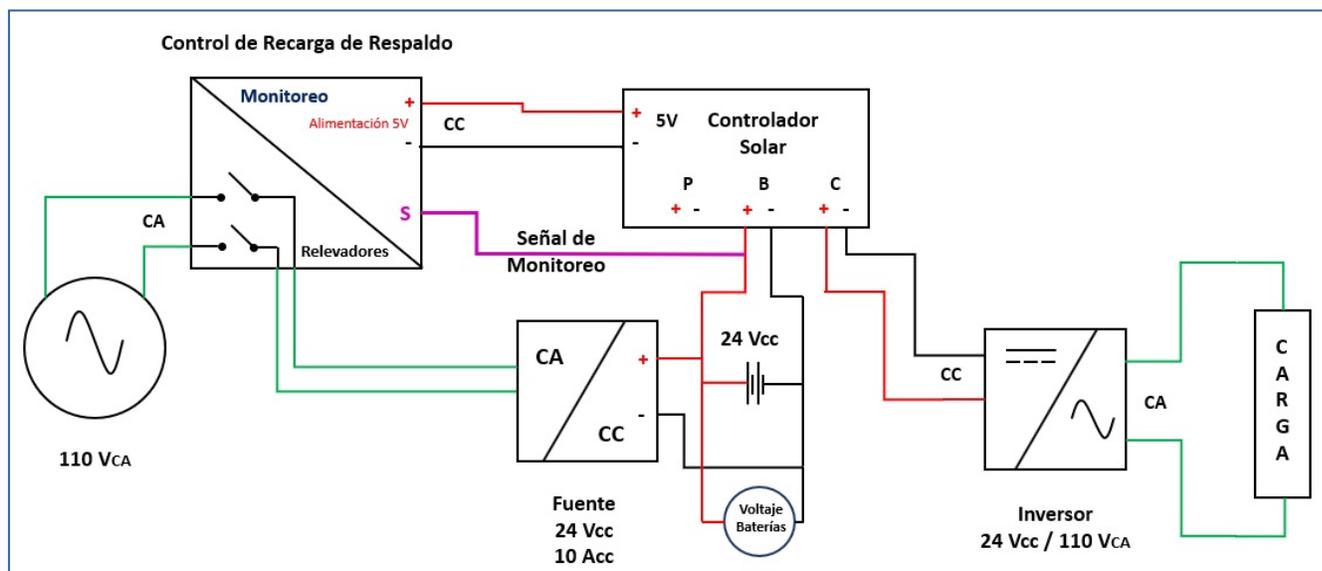
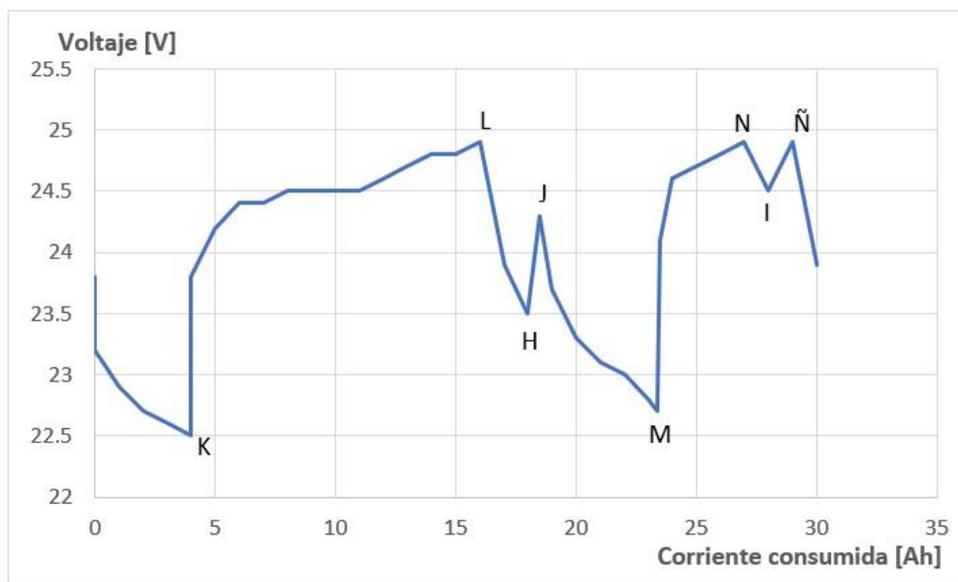


Imagen 13. Diagrama de sistema completo

Debido a que el tiempo es variable para tomar lecturas, por las perturbaciones de consumo de los aparatos que se conectaron, se consideró graficar la corriente acumulada consumida (Ah) contra variación del voltaje (V), para observar el ciclo de carga y descarga automática del controlador (Grafica 08).

El controlador detecta los niveles de voltaje y activa o desactiva la fuente de recarga, la cual hace los ciclos de encendido y apagado dependiendo de la demanda, por ejemplo hay puntos en los que si se encuentre en ciclo de descarga y se conecta otro aparato, el controlador detectara la caída de tensión e iniciara la recarga anticipada por el nuevo aparato conectado, como en los punto H e I, y a la inversa si desconectamos un dispositivo el controlador identificará un incremento en el voltaje, lo cual dará como resultado una interrupción anticipada de la recarga como en el punto J. Por la rapidez en que suceden, es difícil registrar estas fluctuaciones súbitas de subidas y descensos de voltaje comentados.

Por otra parte, se observa como alcanza de forma casi uniforme los puntos para iniciar el proceso de recarga, si no hay variaciones significativas, por ejemplo, en los puntos K y M, y de igual forma interrumpe el proceso de recarga de baterías, si no existen fluctuaciones como en los puntos L, N y Ñ.



**Gráfica 08. Curva de Voltaje con respecto a la Corriente consumida**

## **Capítulo 4. Ajuste y Calibración.**

### **4.1 Etapa de ajustes y simplificación del controlador de carga de respaldo**

Debido a que se completó la etapa de integración con resultados satisfactorios se continuó en esta etapa para trabajar en el proceso de implementar un circuito impreso, para el cual se modificará la máquina de estados de control, trabajando en simplificarlo utilizando un circuito digital lógico programable (CPLD por sus siglas en inglés) como una memoria GAL o un PIC.

resaltando en el uso de una GAL o un PIC, y analizando a fondo el uso que iba a darse y por cuestiones de la sensibilidad para el uso de estos dispositivos así como del grabado del programa desarrollado por la empresa, se identificó, que se puede simplificar ese uso y utilizar un circuito que proporcionara los estados acordes al funcionamiento requerido, siendo este circuito un Decodificador; el cuál gracias a una asesoría externa, se planteó el poder utilizarlo con facilidad y que lograra el objetivo de los estados deseados, reduciendo el primer circuito con compuertas lógicas, Flip-Flop y el Timer.

Gracias a esta asesoría, se seleccionó un decodificador que tuviera los estados que necesitábamos, y por ello, regresando a la etapa de electrónica digital en la parte de máquina de control de estados, para poder seleccionaron los pines adecuados a la entrada y el pin de salida para tener los estados correspondientes.

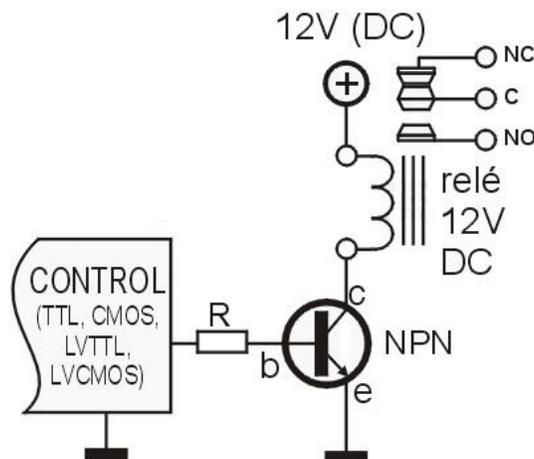
Una vez probado el circuito independiente del decodificador, se continuó a la implementación con el circuito principal, siendo la salida de los optoacopladores las entradas para el decodificador y a su vez en la salida del decodificador se usó un amplificador seguidor para evitar alguna caída de voltaje que pudiera tener.

Posteriormente, se prosiguió con el acoplamiento de electrónica digital con el control de electrónica analógica de potencia haciendo pruebas independientes con los relevadores, notando su comportamiento acoplando la salida el Amplificador Operacional Seguidor a las entradas de los embobinados de cada relevador para ver su actuación. Al tener esta prueba independiente se observó que tenía un funcionamiento correcto en la excitación de la bobina y por consiguiente abrir o cerrar el paso de la corriente eléctrica; teniendo estos datos se pasó a realizar una prueba con circuito general en la cual tuvo otro comportamiento al independiente, teniendo una caída de voltaje en la excitación de las bobinas, el cual no permitía su funcionamiento correcto y, a su vez al trabajar con los relevadores también se debía tener en cuenta la corriente suministrada al circuito.

Teniendo estas observaciones se dio a la tarea de analizar a detalle la activación de los relevadores y facilitar su análisis, trabajando directamente con el circuito general (a excepción de la última propuesta), para realizar las lecturas de los voltajes de los relevadores y poder obtener su activación. En este punto se plantearon varias propuestas para lograr su funcionamiento correcto, las cuales fueron:

1. Utilizar un puente de diodos Zener para regular y mantener un voltaje deseado y lograr la activación de los relevadores.
2. Amplificar la salida del voltaje del decodificador.
3. Amplificar la salida del voltaje del decodificador y acoplar un optoacoplador.
4. Utilizar el optoacoplador como transistor.
5. Utilizar un transistor NPN como interruptor.

Esta última propuesta fue la más factible para nuestro circuito ya que se pudo lograr una conexión (Imagen 14) teniendo la ventaja de permitir el uso de relevadores con voltajes de alimentación de la bobina diferentes respecto al voltaje de trabajo del circuito, y con la configuración del transistor permitir el flujo de corriente cuando la base este saturada y de no permitirlo cuando la base no esté saturada; como medida de seguridad y protección se colocó un diodo en las bobinas así como un led para corroborar la operación y excitación en las bobinas.



**Imagen 14. Circuito para la conexión de un transistor con relevador**

Efectuando las pruebas independientes y con el circuito general, se consiguió el funcionamiento correcto de los relevadores cumpliendo control de electrónica analógica de potencia pasando a una prueba con el sistema completo, siendo el primer prototipo funcional (Imagen 15).

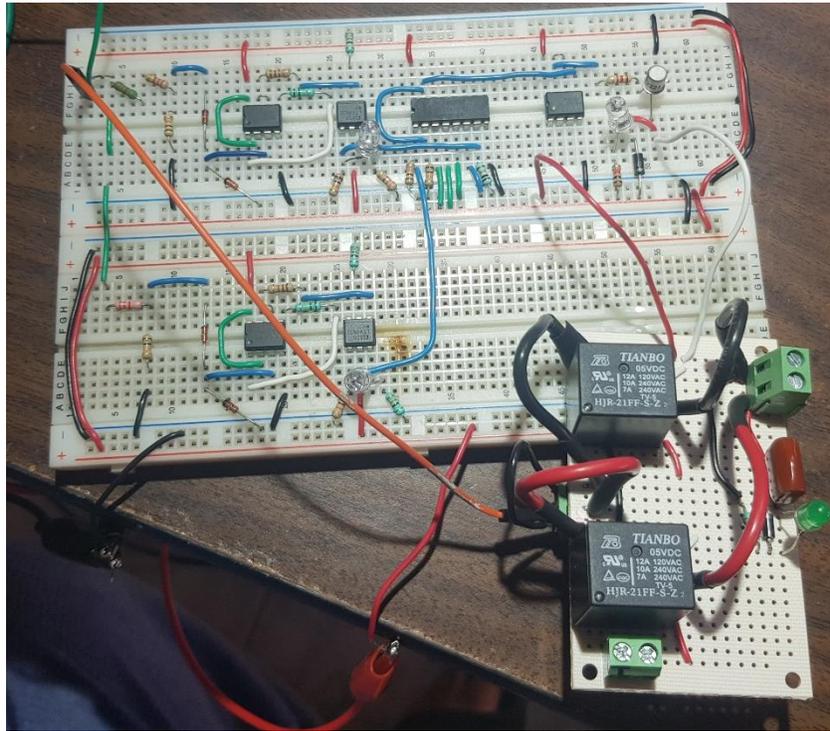


Imagen 15. Primer Prototipo Funcional

#### 4.2. Etapa de circuito impreso (PCB).

Una vez realizada la simplificación, modificaciones y pruebas a nuestro circuito se prosiguió a realizar el mismo circuito, pero ahora impreso en una tarjeta la cuál es conocida como PCB (*Printed Circuit Board*).

En el desarrollo de esta etapa, se incorporaron elementos adicionales de protección como un fusible a la salida de nuestra etapa de potencia y tierras físicas en la entrada de voltaje referido a las baterías y a la salida con relación a la Corriente Alterna. Por otra parte, para la realización de los circuitos impresos, se modificaron algunas conexiones en las baterías y en las salidas de los relevadores colocando borneras, permitiendo una mejor conexión y seguridad en el circuito.

También se anexó un switch testigo a la salida de los relevadores el cual cumple la función de ser un indicador de activación o desactivación con el led que tiene y permitir o no el suministro de energía de corriente alterna para la fuente de carga de baterías.

Cabe mencionar que este controlador desarrollado forma parte de la implementación que se hará con los otros dispositivos a los que se está conectando para controlar o monitorear su operación, con un arreglo que se está implementado para la integración del conjunto.

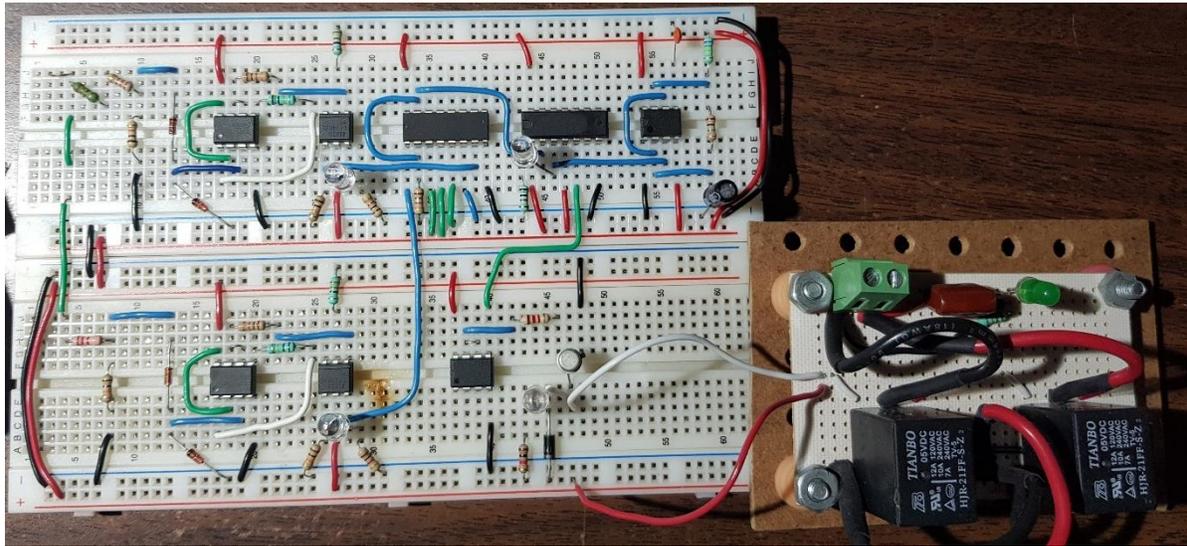


Imagen 16. Segundo Prototipo Funcional con corrección en tiempos

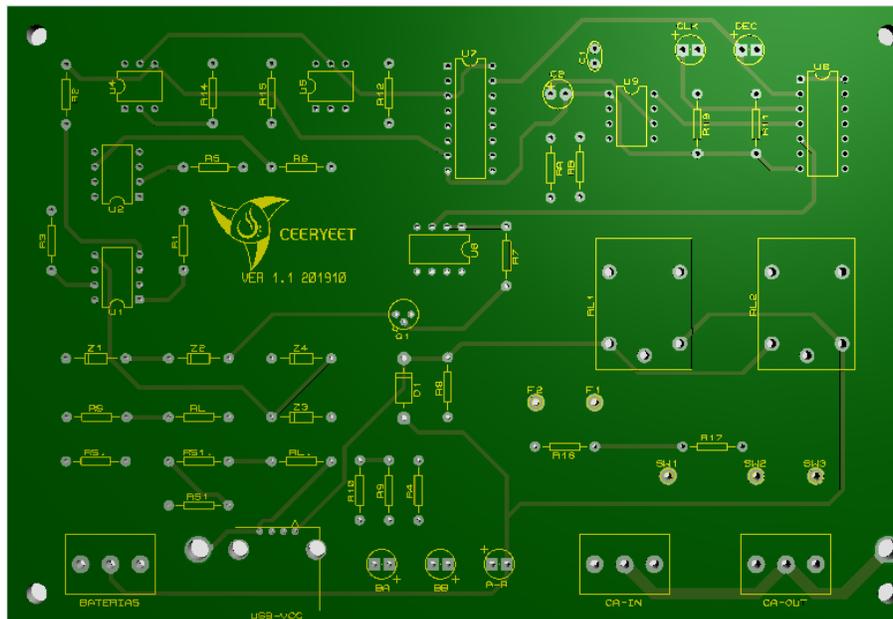
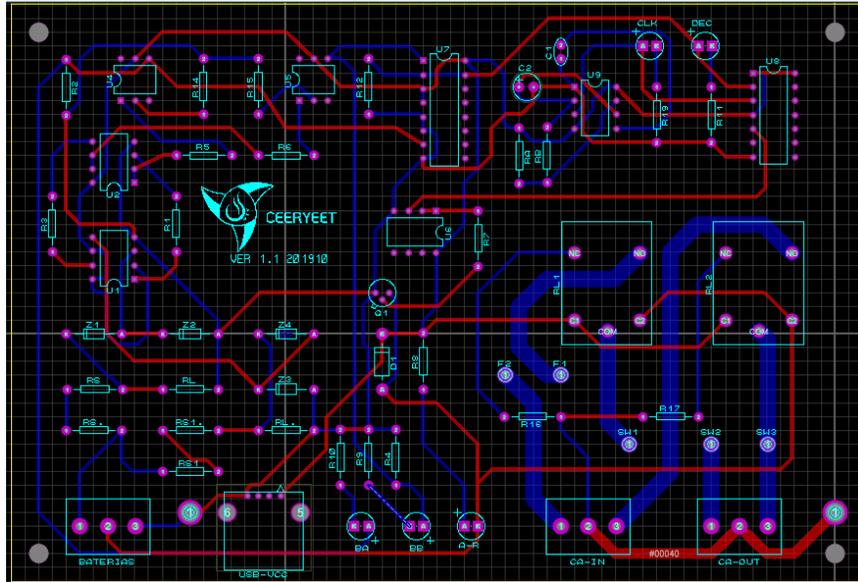
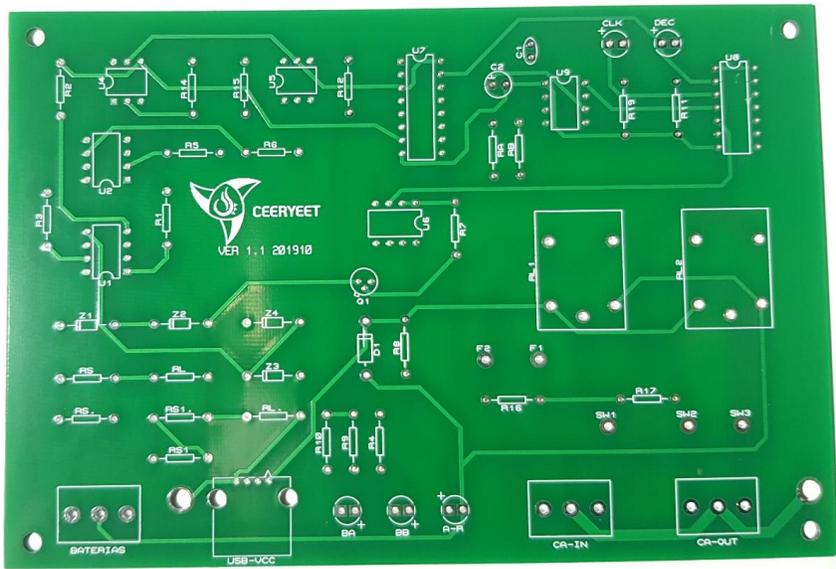


Imagen 17. Diseño de placa en 3D



**Imagen 18. Diseño de PCB**



**Imagen 19. Prototipo final de PCB en 3D**

Al realizar pruebas de simulación y pruebas físicas de nuestro circuito completo, aún se identificaron pequeños detalles que llevaron a modificarlo, tanto físicamente como simulado y sobre todo tener una mayor simplificación en componentes que se tienen, así como espacio en la simulación de PCB, para esta última parte se utilizó un software de simulación de circuitos electrónicos. Hubo cambios por el proceso de implementación de la PCB y con una de las imágenes en 3D que está en proceso de revisión, durante el tiempo en que se finalizan las pruebas del prototipo antes de realizar el circuito impreso definitivo.

Las pruebas realizadas con el prototipo se establecieron en una bitácora de operación, donde se anotó por varios días la hora y el evento que ocurrió, si se encendieron u apagaron equipos que variaran la demanda y el inició o si se interrumpió la recarga; los valores estimados del voltaje que fueron los puntos de interés, verificando que tuviera una operación dentro del rango de valores definidos. Con la calibración de los valores cuando se probó, estaba para encender a 22.5V y apagarse a 25V, que posteriormente se ajustaron los voltajes de 22.3V y 24.9V.

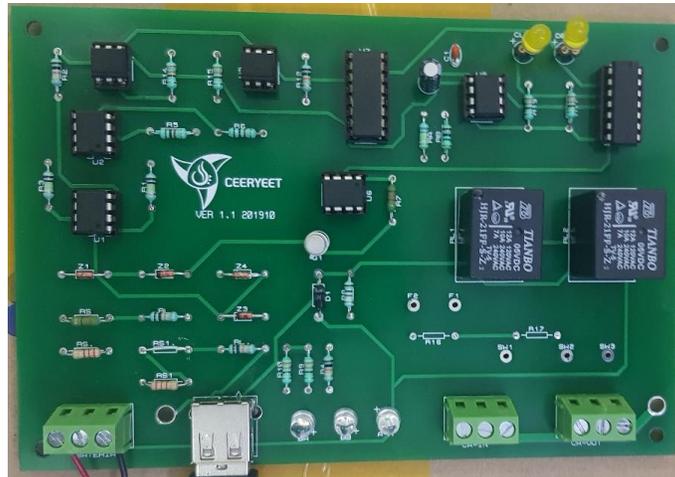


Imagen 20. Circuito impreso con componentes

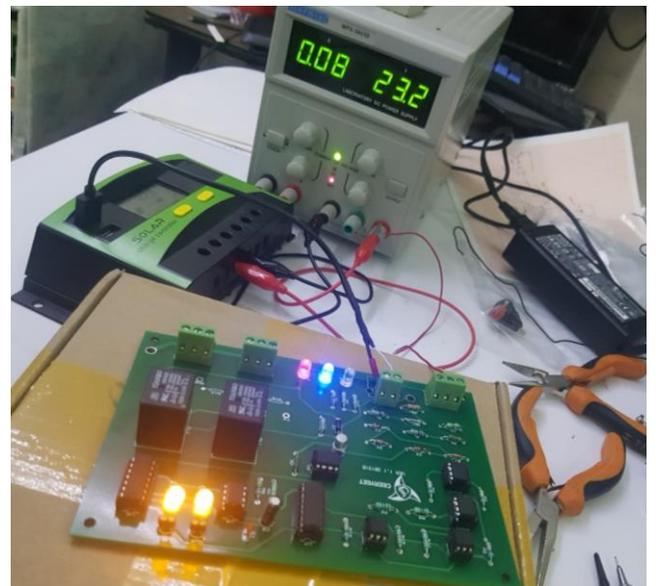
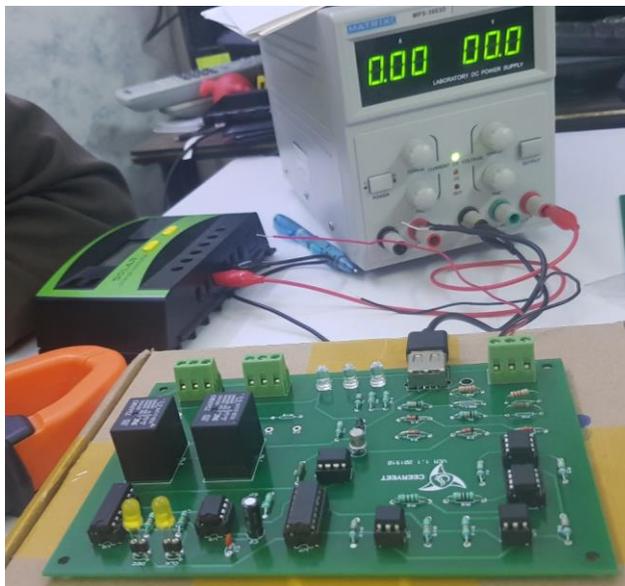


Imagen 21. Prueba de circuito impreso con controlador solar

### **4.3. Implementación con sistema fotovoltaico en operación.**

Se implemento un circuito controlador, el cual permite monitorear los niveles de voltaje de la batería para controlar la activación y desactivación el proceso de carga de las baterías de acuerdo con la demanda de consumo que se tenga además de mantener dentro del rango propuesto para el punto de carga cuando no se tiene otra fuente de suministro de energía sin llegar a máxima carga si así se desea.

El reto de esta propuesta de este controlador, fue integrar diversos dispositivos electrónicos para tener una reducción en el consumo de energía a través de una administración eficiente y menor uso de algunos dispositivos para alargar su vida útil.

A este proyecto desarrollado se le está dando seguimiento implementando el controlador desarrollado en un sistema fotovoltaico para realizar pruebas correspondientes y modificaciones que puedan mejorar el rendimiento del sistema implementado.

Se realizó una instalación de prueba en casa/hogar, realizando la modificación correspondiente a la instalación eléctrica para conectar en modo hibrido el sistema en una sección de la casa, para poder operarla de manera correcta. Se implementarán pruebas relacionadas con el tipo de funcionamiento que se puede tener con el sistema que se plantea, dividiendo así las pruebas en modo básico, intermedio y completo.

Se tendrá en operación cada uno de los modos de prueba alrededor de una semana, para tener un estimado rápido de comparación para que las condiciones de operación sean iguales o tengan unas variaciones mínimas por cambio de temporada y evitar un periodo de pruebas mayor como puede ser durante un año que también tendría una afectación en el proceso de comparación.

De esta forma se podrá presentar cifras ante el usuario final, para que decida como expandir su sistema de forma gradual de acuerdo a sus necesidades.

## Capítulo 5. Conclusiones.

El trabajo profesional desarrollado enmarca el entendimiento, la comprensión y aplicación de conocimientos de Ingeniería sobre el problema planteado.

Las alternativas y el área de oportunidad del Sistema modular híbrido de recarga para baterías son muy significativas, ya que no existe algo parecido en México, de esta manera puede ofrecer funciones diferentes a las modalidades de generación que se ofrecen en el mercado, por ejemplo existen cargadores de batería que se llegan a cargarse hasta el 100% y se desconectan en automático, o mantienen la carga cuando decae la carga de la batería a cierto nivel, posteriormente se conectan automáticamente cargándose al 100%.

Este sistema pretende tener rangos definidos para cargar el sistema de baterías, solamente con el sistema fotovoltaico o bien recurrir a cargar las baterías con respaldo de la red eléctrica (o cualquier otra fuente de corriente alterna), pero siempre sin llegar al 100%, con el fin de que el sistema fotovoltaico sea el que se encargue de la recarga principal hasta la carga máxima cuando se dé el caso, y de esta manera direccionarse en el aprovechamiento del sistema fotovoltaico.

En el desarrollo del problema planteado, se establecieron las etapas de estudio donde se analizaron las señales analógicas y digitales; generando las siguientes conclusiones:

- ✓ En la primera etapa se comprendió el funcionamiento de los diodos Zener cuando son conectados en diferentes conexiones con resistencias, lo que permitió implementarlos en los diferentes circuitos, tanto de protección, así como de divisores de voltaje.

Durante el desarrollo teórico, se establecieron parámetros para realizar diferentes cálculos, simulaciones, así como de pruebas físicas, estableciendo una gran diferencia entre ambos, ya que la simulación de los circuitos propuestos, no siempre los resultados eran comparables con los obtenidos en la práctica, debido a que las simulaciones tienden a ser ideales, debido a que los componentes propuestos tienen un valor exacto, pero la realidad es que no se cuenta con ese tipo de componentes comercialmente, usando estos en un rango de tolerancia con porcentajes de error que se consideran en las especificaciones del fabricante para estos elementos; lo mismo sucede con los circuitos integrados que se usaron, por ello se recomienda leer y entender las hojas de datos y especificaciones técnicas a detalle.

- ✓ La lógica digital requerida para el Sistema modular híbrido de recarga para baterías, fue una de las etapas que presento mayor dificultad para su desarrollo, ya que la comprensión del funcionamiento de los dispositivos, requerían de revisar y familiarizarse con tecnologías existentes tal es el caso de tarjetas de control y su programación, así como revisar alternativas como el uso de microcontroladores capaces de resolver las características solicitadas.

Se analizó la implementación de los Flip-Flop en el funcionamiento del Sistema en estudio; se desarrollaron los diagramas de estado, las tablas de verdad, los mapas de Karnaugh, que permitieron establecer la solución a la etapa de control, simplificando las operaciones de estados requeridas.

Se estableció la implementación del uso de optoacopladores en salida de Pull-Up, permitiendo relacionar los voltajes de entrada de alimentación y la variación que se tiene al conectarlo en Pull-Up o Pull-Down.

- ✓ Inicialmente se propuso programar una memoria GAL y una tarjeta PIC, sin embargo, no fue satisfactorio por la dificultad de la programación requerida. En esta parte del desarrollo del sistema propuesto se identificó lo sensible que puede ser el uso de estas tecnologías, tal es el caso de la estática, siendo un factor importante que puede dañar y afectar la programación que se graba en ellas. Por ello la decisión de utilizar una GAL fue por la simplicidad de relacionar un nuevo circuito con el que se tiene diseñado, y que no requiere grabar las modificaciones que se realicen, y de esta manera se determinó la selección del Decodificador. Así mismo se determinó el uso de un transistor como interruptor que permite realizar la activación de los relevadores.

En base a lo descrito en este documento, el área de oportunidad de desarrollar un Sistema modular híbrido de recarga para baterías, ya que, de acuerdo a la demanda de energía de cada persona, es un proyecto viable por la facilidad de instalación y adaptación.

Al participar en el desarrollo de este proyecto, fue una de las primeras experiencias y motivaciones que inician la vida como ingeniero, reflexionando y analizando los distintos temas de estudio aplicados, logrando tener la certeza de ellos. Es importante tener bases teóricas firmes en los antecedentes y temas a desarrollar en un proyecto, así como de profundizar en los mismos, ya que esto forma parte del crecimiento profesional.

Sería importante mencionar que la formación que me ofreció la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, mi alma mater, fue de gran calidad, permitiéndome desarrollarme en el ámbito laboral siendo un profesional. Sería importante que nuestra Facultad induzca al estudiante a participar en proyectos con la industria, o que permita realizar estancias profesionales que permitan incursionar en distintas áreas de la ingeniería, con el fin de denotar las necesidades requeridas en la industria Nacional.

También es necesario que se ofrezcan cursos intersemestrales del manejo de herramientas necesarias en el desempeño y desarrollo profesional de los estudiantes que vamos egresando de la Universidad.

## Capítulo 6. Bibliografía y Referencias.

- BOYLESTAD, ROBERT L. y NASHELSKY, LOUIS, “Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos”, 8ª. ed, Ed. PEARSON EDUCACIÓN, México, 2003
- BOYLESTAD, ROBERT L. y NASHELSKY, LOUIS, “Análisis introductorio de circuitos”, 3ª. ed, Ed. TRILLAS, México, 1995
- ENRIQUEZ HARPER, GILBERTO, “El ABC de las instalaciones eléctricas residenciales”, Ed. LIMUSA, México, 1975

Documentos internos de CEERYEET del área de Recursos Humanos y comunicación. Descripción de Visión, Objetivos, Misión, Valores y Puestos.

- 20190306 VOMV Puestos CEERYEET.pdf

Documento interno de CEERYEET : E:\Documentos\000 CeERyEET\Documentos de información

- 20190415 Borrador de tablas y curvas de pruebas y operacion.xlsx
- 20190301 Alternativas sistemas hibridos.pdf
- 20190306 Organigrama CEERYEET.pdf
- 20190308 Seminario de Ingenieria Diagramas.ppt
- 13.1y2 Introducción a Sistemas de Producción de Energía Electrica.pptx
- 13.3 Introducción a Sistemas Transmision y Distribucion.pptx
- Energia y desarrollo sustentable.pdf

## Referencias web.

- Córdova, L. R. (05 de Julio de 2013). “Diodo Zener (resumen)”. Consultada el 11 de Abril de 2019. <https://www.monografias.com/trabajos96/diodo-zener-resumen/diodo-zener-resumen.shtml>
- 74LS74 TTL Flip-Flop Tipo D con Disparo de Subida Dual TTL. Consultada el 23 de Abril de 2019. <https://www.carrod.mx/products/ci-ttl-flip-flop-tipo-d-con-disparo-de-subida-dual-74ls74>
- Moreno, Velasco I. “5.- Aislamiento”. Consultada el 10 de Marzo de 2019. <http://www.unet.edu.ve/~ielectro/5-Aislamiento.pdf>
- Torres, Hector Dr. (28 de Noviembre de 2017). “ Divisor de Voltaje o Tensión Formulas y Ejemplos”. Consultado el 21 de Marzo de 2019. <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/divisor-de-voltaje/>
- TEXAS INSTRUMENTS. <http://www.ti.com/general/docs/techdocs.tsp>
- Solar Light. <http://solarlightmexico.com/>
- CFE. [https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas\\_casa.asp](https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_casa.asp)