

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

“DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE ENERGÍA Y CONTROL FOTOVOLTAICO PARA LA ALIMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN Y ANÁLISIS DE SISTEMAS FLUVIALES”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

CARLOS JAVIER POZO PEÑAHERRERA

carlos.pozo@epn.edu.ec

DIRECTOR: DR. FAUSTO EDUARDO ÁVALOS CASCANTE

eduardo.avalos@epn.edu.ec

Quito, octubre 2022

CERTIFICACIONES

Yo, POZO PEÑAHERRERA CARLOS JAVIER declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



CARLOS POZO

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por POZO PEÑAHERRERA CARLOS JAVIER, bajo mi supervisión.



Dr. EDUARDO ÁVALOS
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

CARLOS JAVIER POZO PEÑAHERRERA

FAUSTO EDUARDO ÁVALOS CASCANTE

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Mary Peñaherrera y Willer Pozo, quienes siempre han sido un soporte fundamental a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mis padres por su apoyo, paciencia, comprensión y confianza que me han tenido, gracias a su trabajo y esfuerzo durante estos años he conseguido llegar hasta aquí y convertirme en la persona que soy.

También quiero agradecer a todas las personas que formaron parte en mi formación durante mi carrera universitaria, amigos y profesores que me brindaron su apoyo y conocimientos para desarrollarme profesionalmente y culminar con éxito una de mis metas propuestas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Energía Solar.....	3
1.4.2 Sistemas Fotovoltaicos.....	3
1.4.3 Celdas Fotovoltaicas.....	4
1.4.4 Controladores de Carga.....	7
1.4.5 Seguidor Punto Máximo De Potencia (MPPT).....	8
1.4.6 Conversor DC-DC.....	9
1.4.7 Baterías.....	10
2. METODOLOGÍA.....	12
2.1 Diagrama de Bloques.....	12
2.1.1 Panel Solar.....	12
2.1.2 Batería.....	13
2.1.3 Regulador de Carga.....	13
2.1.4 Inversor.....	13
2.1.5 Control y Medición.....	14
2.2 Energía Solar en el Ecuador.....	14
2.2.1 Balance Nacional de Energía Eléctrica.....	15
2.3 Recurso Solar Disponible.....	15
2.3.1 Irradiancia.....	16
2.3.2 Horas Pico Solares (HSP).....	16
2.4 Cálculo de Consumo de Energía.....	16

2.4.1	Energía que puede generar el panel.....	17
2.4.2	Número de paneles solares.....	17
2.5	Cálculo Capacidad de la Batería	18
2.5.1	Número de baterías.....	18
2.6	Sistema de Regulación de Voltaje.....	19
2.6.1	Convertor Reductor (Buck).....	19
2.6.2	Convertor Elevador (Boost)	20
2.6.3	Convertor Reductor-Elevador (Buck-Boost).....	21
2.6.4	Convertor Reductor-Elevador (SEPIC)	22
2.6.5	Análisis en régimen permanente del convertidor BUCK.	23
2.6.6	Dimensionamiento de los elementos	25
2.6.7	Diseño Regulador de 5 V.....	29
2.7	Diseño Inversor Monofásico Medio Puente	30
2.8	Diseño del controlador	32
2.8.1	Controlador MPPT	32
2.8.2	Diseño sistema de medición	33
2.8.3	Control de carga de la batería.....	36
2.8.4	Dispositivo de control	37
3.	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
3.1	Resultados	39
3.1.1	Simulación Convertor DC-DC reductor	39
3.1.2	Circuito esquemático regulador de carga MPPT	40
3.1.3	Circuito impreso PCB	40
3.1.4	Carcasa y Prototipo	41
3.1.5	Obtención de la curva característica del panel.....	42
3.1.6	Prueba de carga batería 12V	45
3.1.7	Formas de onda del sistema.....	46
3.2	Conclusiones	48
3.3	Recomendaciones	49
4.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
5.	ANEXOS	51

RESUMEN

En este trabajo se muestra el desarrollo e implementación de un controlador (MPPT) y su aplicación en un sistema fotovoltaico autónomo con batería para el suministro de energía a un sistema de análisis fluviales. Significa que una batería que opera como un elemento para almacenar energía funciona como fuente de energía cuando la energía fotovoltaica sea insuficiente. El sistema se compone de una batería de plomo ácido de 12V, un panel fotovoltaico de 50W policristalino, un circuito convertidor reductor DC-DC de potencia y un inversor monofásico DC-AC. El proyecto consta en el diseño del software y hardware.

El convertidor reductor DC-DC rastrea el punto máximo de potencia (MPP) del panel FV controlando el ciclo de trabajo que generará el pulso de disparo de la compuerta del conversor reductor. La función de la batería es alimentar con un voltaje constante en la salida del sistema de 12V DC y 5V DC obtenidos por medio de un regulador lineal de voltaje, además de una salida de 110 VAC de 60Hz utilizando un transformador de 12 a 110VAC.

El método de perturbar y observar (P&O) se utiliza como algoritmo de control MPPT, se utiliza MATLAB SIMULINK para crear un modelo del sistema autónomo y verificar su salida según los parámetros deseados.

Un microcontrolador Atmega 328P se encarga de la ejecución del algoritmo MPPT para las diferentes etapas que le toma a una batería para cargarse completamente, para lo que es necesario conocer los valores de corriente y voltaje del panel a través de sensores, también se encarga de generar la señal PWM de control para el inversor monofásico y de mantener comunicación con un sistema de adquisición y procesamiento de datos.

PALABRAS CLAVE: Fotovoltaico, MPPT, Regulador, Batería, Convertidor.

ABSTRACT

In this work a controller (MPPT) is developed and implemented for an autonomous photovoltaic system with a battery, to supply energy to a river analysis system. It means that a battery which is an energy storage element functions as an energy source when the photovoltaic power is insufficient. The system consists of a 12V lead acid battery, a 50W polycrystalline photovoltaic panel, a DC-DC step-down power converter circuit and a single-phase DC-AC inverter. This system consists of software and hardware design.

The DC-DC step-down converter will track the maximum power point (MPP) of the PV panel by regulating the duty cycle that will generate the gate trigger pulse of the step-down converter. The function of the battery is to supply a constant voltage at the system output of 12V DC and 5V DC obtained through a linear voltage regulator, in addition a 60Hz 110 VAC output it is obtained from a 12/110VAC transformer.

The perturb and observe (P&O) method is implemented as the MPPT control algorithm, MATLAB SIMULINK is used to generate a model of the autonomous system and verify its output according to the desired parameters.

An Atmega 328P microcontroller is responsible of running the MPPT algorithm for the different stages of battery charging, which requires to know the current and voltage values of the panel through sensors, it is also in charge of generating the control signal for the single-phase inverter and maintaining communication with a data acquisition system for monitoring the complete system.

KEYWORDS: Photovoltaic, MPPT, Regulator, Battery, Converter.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el sistema de energía que se basa en el carbón, petróleo, gas natural y otros combustibles no renovables han permitido el desarrollo de la sociedad humana. La demanda actual y creciente de energía barata y limpia, motiva a usar tecnologías nuevas para aprovechar la energía proveniente de la naturaleza, hoy en día el 92% de la energía del país proviene de centrales de generación hidroeléctricas, el 7% proviene de la energía térmica y solamente el 1% proviene de fuentes de energía renovables (fotovoltaica, eólica, biomasa, biogás, geotérmica) etc. [1].

Los sistemas fotovoltaicos autónomos se utilizan generalmente para cargas aisladas o fines domésticos, Las fuentes de energía convencionales tienen una duración limitada, pero las fuentes renovables como la energía solar son infinitas y respetuosas con el medio ambiente. Con el aumento de la eficiencia de los dispositivos de electrónica de potencia se puede aprovechar al máximo la energía solar.

La potencia de generación de un sistema fotovoltaico depende de algunos factores, como la temperatura e irradiancia del ambiente en donde se encuentre, lo que provoca que existan fluctuaciones, por lo tanto, es importante tener un control adecuado que permita que la generación de nuestro panel sea totalmente independiente de las condiciones meteorológicas. Actualmente existen algunos métodos para el control MPPT como inductancia incremental, perturbar y observar, lógica difusa, voltaje y corriente constante etc.

En este trabajo nos centramos en el algoritmo de perturbar y observar, este algoritmo controla el ciclo de trabajo del convertidor reductor generando pulsos de compuerta al convertidor. La batería es utilizada como un elemento de almacenamiento de energía para mantener constante el voltaje en su salida incluso bajo condiciones meteorológicas no adecuadas, es decir cuando la energía fotovoltaica no puede generar la potencia requerida por la carga.

Las fuentes de energía renovables son una necesidad tanto en el presente como en el futuro. Entre los diversos sistemas de energía renovable, el papel más importante lo desempeñan los sistemas fotovoltaicos como fuente de energía limpia para hacer frente a la demanda de electricidad en el futuro [2]. Los sistemas fotovoltaicos se utilizan ampliamente para producir energía eléctrica a partir de la energía solar. De todos los sistemas renovables, los sistemas fotovoltaicos son la solución energética más ecológica para generar energía.

1.1 Objetivo general

Diseñar y desarrollar un sistema de energía y control fotovoltaico para la alimentación del sistema de captación y análisis de sistemas fluviales.

1.2 Objetivos específicos.

1. Realizar el diseño de un sistema de energía y control fotovoltaico aislado.
2. Implementar un algoritmo de control para el sistema de almacenamiento y máximo aprovechamiento de energía.
3. Realizar diferentes pruebas para la validación del prototipo implementado con el sistema de análisis fluviales.

1.3 Alcance

Se llevará a cabo una revisión bibliográfica acerca de la aplicación de energías renovables.

Se llevará a cabo una revisión bibliográfica sobre las especificaciones de un sistema de energía fotovoltaica, con la finalidad de determinar las características técnicas, operacionales y de control de un sistema fotovoltaico.

Se seleccionará un algoritmo de control adecuado para el máximo aprovechamiento de energía de un panel fotovoltaico.

Se realizará el diseño de los circuitos electrónicos necesarios para el accionamiento del sistema de control de energía fotovoltaico.

Se seleccionará los diferentes elementos electrónicos de la tarjeta electrónica de control.

Se realizará el diseño del sistema de energía y control fotovoltaico aislado para su uso en el equipo de análisis fluviales.

Se desarrollará la programación e interpretación de los datos adquiridos del panel solar, para aprovechar la máxima generación de energía.

Se implementará el prototipo para la regulación de energía del panel fotovoltaico y su respectivo algoritmo de control.

Se montará el equipo diseñado que incluirá el circuito de control y potencia con sus diferentes entradas y salidas con un display en donde se mostrará información del estado de la batería y el panel fotovoltaico.

Se realizará pruebas alimentando el sistema de captación y análisis de sistemas fluviales.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Energía Solar

El sol nos proporciona su energía en dos formas principales: calor y luz. Por esto existen los sistemas solares térmicos que atrapan el calor para calentar el agua y los sistemas solares fotovoltaicos que transforman la luz solar en energía eléctrica.

La palabra fotovoltaica viene de "foto", que quiere decir luz, y "voltaico", que significa producir electricidad. Y eso es exactamente lo que hacen los sistemas fotovoltaicos convertir la luz del sol en energía eléctrica [3].

La luz directa o difusa que incide sobre las celdas solares producen el efecto fotovoltaico, generando corriente eléctrica de tipo continua. Esta energía continua puede utilizarse, almacenarse en baterías o alimentar un inversor para transformar la corriente continua en corriente alterna [3].

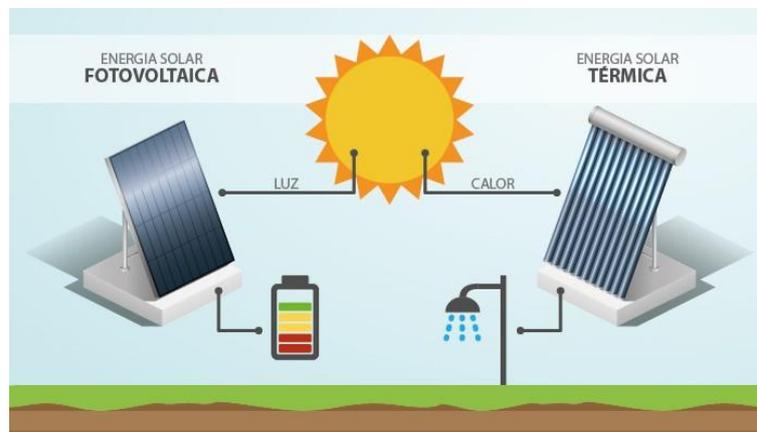


Figura 1.1. Diferencia entre energía solar térmica y fotovoltaica [4].

1.4.2 Sistemas Fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos transforman la luz proveniente del sol en electricidad mediante el uso de semiconductores. Un sistema fotovoltaico no necesariamente utiliza la luz solar brillante para operar. Puede generar energía en días nublados y lluviosos a partir de la luz solar que es reflejada [3].

Los sistemas fotovoltaicos pueden diseñarse como sistemas autónomos o conectados a la red.

Un sistema autónomo o sin conexión a la red significa que son la única fuente de energía. Los sistemas autónomos pueden diseñarse para funcionar con o sin batería de respaldo, el sistema de respaldo de baterías almacena la energía generada durante el día en un

banco de baterías para su uso por la noche, como se observa en la Figura 1.2. Los sistemas autónomos suelen ser rentables en comparación con otras alternativas como es la ampliación de las líneas de suministro [5].

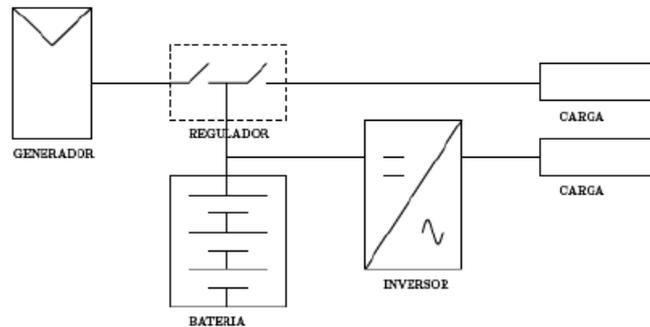


Figura 1.2. Esquema Sistema fotovoltaico autónomo [5].

En cambio, un sistema fotovoltaico acoplado a la red funciona para complementar el servicio eléctrico existente de una compañía eléctrica, Figura 1.3. Cuando la cantidad de energía que genera el sistema fotovoltaico conectado a la red supera la carga del cliente, este exceso de energía se exporta a la red eléctrica, haciendo retroceder el contador eléctrico del cliente [5].

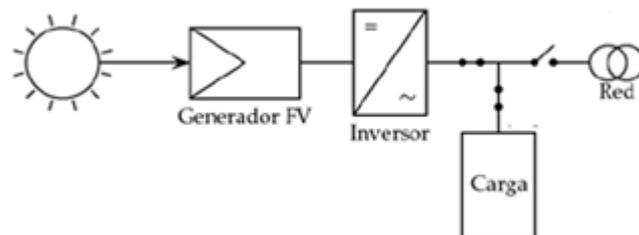


Figura 1.3. Esquema Sistema fotovoltaico acoplado hacia la red [5].

1.4.3 Celdas Fotovoltaicas

La unidad básica de un sistema fotovoltaico es la celda fotovoltaica. Las celdas fotovoltaicas están formadas por al menos dos capas de material semiconductor, normalmente silicio, dopado con aditivos especiales [6].

Una capa tiene carga positiva y la otra negativa. La luz que incide sobre la celda crea un campo eléctrico a través de las capas, lo que permite que se produzca electricidad. La cantidad de luz determina la cantidad de energía eléctrica que genera cada celda [7]. Así, una celda fotovoltaica no es más que un diodo con una gran superficie y área de unión p-n. Una configuración de una celda fotovoltaica se puede observar en la Figura 1.4.

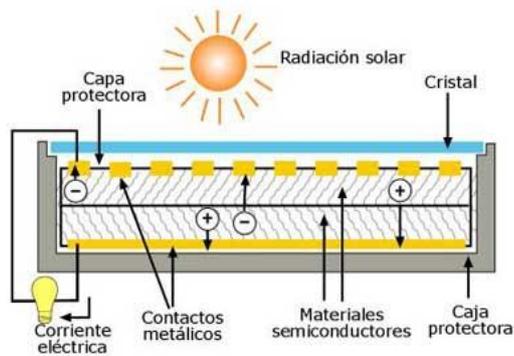


Figura 1.4. Esquema fundamental del funcionamiento de una celda fotovoltaica [7].

La carga se conecta a la celda a través de contactos metálicos, para mejorar la absorción de la radiación y reducir la reflexión, se aplica un revestimiento de SiO_2 en la superficie superior. Para su protección mecánica la celda se coloca bajo una cubierta de vidrio y se la fija con un adhesivo transparente [7].

Una celda fotovoltaica simple de silicio tiene una eficiencia entre 15 % - 18 % que desarrollan una tensión a circuito abierto en el orden de 0.65V, generan una densidad de corriente máxima entre 35 y 40 mA/cm^2 [7]. En un sistema fotovoltaico, las celdas fotovoltaicas se combinan en serie y en paralelo para formar módulos fotovoltaicos.

Principio de Funcionamiento

La celda fotovoltaica funciona según el principio del efecto fotoeléctrico, que se define como un fenómeno en el que la luz del sol con una determinada longitud de onda es absorbida por un material que provoca la expulsión de un electrón de su banda de conducción [8]. En la celda fotovoltaica, cuando la luz es absorbida por la unión p-n, la energía del fotón absorbido se transfiere al sistema de electrones del material. Esto da lugar a la generación de portadores de carga que se separan en la unión. Estos portadores en la zona de la unión son pares de electrones-huecos, que crean un gradiente de potencial, se aceleran bajo el efecto del campo eléctrico y circulan como corriente a través de un circuito externo [7].

Circuito Equivalente

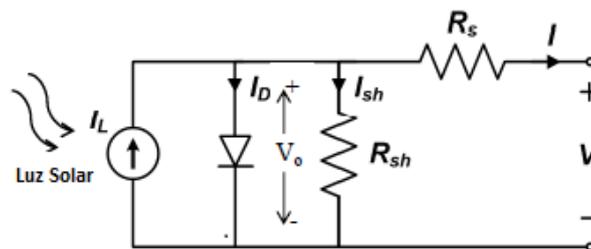


Figura 1.5. Circuito correspondiente a una celda fotovoltaica [7].

La Figura 1.5 es la representación del circuito equivalente de una celda solar, el comportamiento de este circuito determina las características de salida de la celda fotovoltaica. La corriente de salida está dada por [9]:

$$I = I_L - I_D - I_{sh} \quad (1.1)$$

$$I = I_L - I_o * \left[\exp\left(\frac{qV_o}{KT}\right) - 1 \right] - \frac{V_o}{R_{sh}} \quad (1.2)$$

Donde:

V_o : Voltaje en el diodo.

I_L : Corriente generada.

R_s : Resistencia Interna.

R_{sh} : Resistencia Shunt.

I_o : Corriente de reversa en el diodo.

T: Temperatura grados Kelvin.

K: Constante de Boltzmann ($1.38 * 10^{-23} \text{ J / K}$)

q: Constante carga eléctrica ($1.6 * 10^{-19} \text{ C}$)

La cantidad de corriente y voltaje que genera una celda fotovoltaica depende principalmente de la cantidad de irradiancia en su superficie y de la temperatura del ambiente. Un aumento del nivel de irradiancia conduce a un aumento de la corriente de salida, mientras que una temperatura más alta provoca una disminución en el voltaje de salida [9].

Curvas de comportamiento de una celda fotovoltaica simple

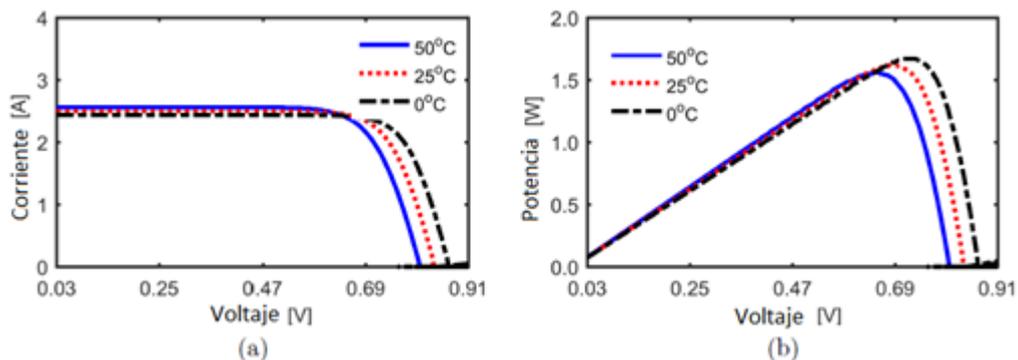


Figura 1.6. (a) Curva I-V, (b) Curva P-V; (Irradiancia constante) [9] .

En la Figura 1.6 el voltaje de salida y la potencia máxima de la celda fotovoltaica aumentan cuando la temperatura disminuye.

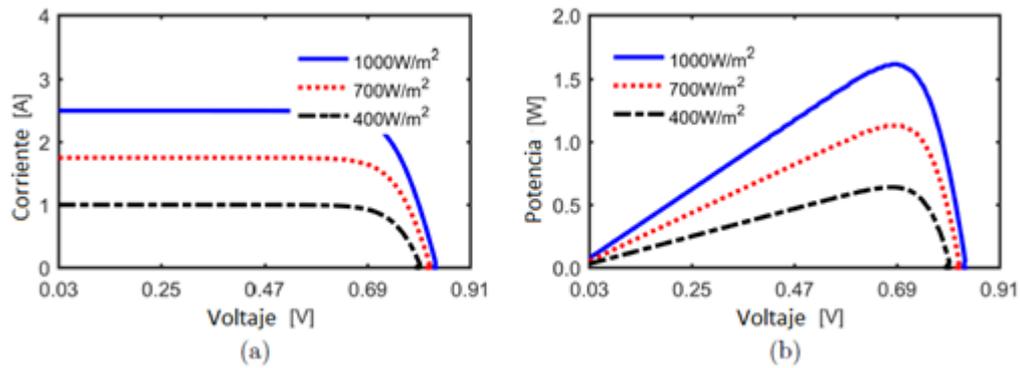


Figura 1.7. (a) Curva I-V, (b) Curva P-V; (Temperatura constante) [9].

En la Figura 1.7 el voltaje de salida y la potencia máxima de la celda fotovoltaica aumenta cuando la irradiancia crece.

1.4.4 Controladores de Carga

Un controlador de carga, a veces denominado controlador fotovoltaico o cargador de baterías, sólo es necesario en los sistemas autónomos que cuentan con una batería de respaldo [3]. El trabajo principal de un controlador es evitar la sobrecarga de las baterías o limitar la descarga excesiva. La sobrecarga puede hacer hervir el electrolito de la batería y provocar fallo. Permitir que la batería se descargue demasiado causará un fallo prematuro de la misma y posibles daños en la carga [10]. El controlador es un componente crítico en el sistema fotovoltaico. La función del controlador es controlar el sistema en función del "estado de carga" (SOC) de la batería [11].

La mayoría de los controladores utilizan una medición de la tensión de la batería para estimar el estado de su carga. El cálculo de la temperatura en una batería mejora la estimación del SOC y muchos controladores tienen una sonda de temperatura para este fin [12].

Algunos controladores regulan el flujo de energía hacia la batería conectando o desconectando totalmente la corriente. Esto se llama "control de encendido/apagado". Otros reducen la corriente gradualmente estos se denominan "modulación de anchura de pulso" (PWM). Ambos métodos funcionan bien cuando se ajustan adecuadamente a su tipo de batería [12].

Existen también controladores de carga modernos que incorporan el rastreo del punto de máxima potencia (MPPT), y optimiza la salida del sistema fotovoltaico, aumentando la energía que produce. El principio fundamental del MPPT es obtener la máxima potencia disponible del sistema fotovoltaico [10].

1.4.5 Seguidor Punto Máximo De Potencia (MPPT)

Existe una correspondencia entre el funcionamiento de una celda fotovoltaica y sus condiciones ambientales. En cualquier condición ambiental de funcionamiento, existe un punto en el que los valores de corriente y tensión dan lugar a la máxima potencia de salida, que normalmente se encuentra en el punto de la curva de corriente y tensión de la celda fotovoltaica. El MPPT se utiliza para garantizar que la energía fotovoltaica proporcione la máxima potencia de salida para cada condición atmosférica [7].

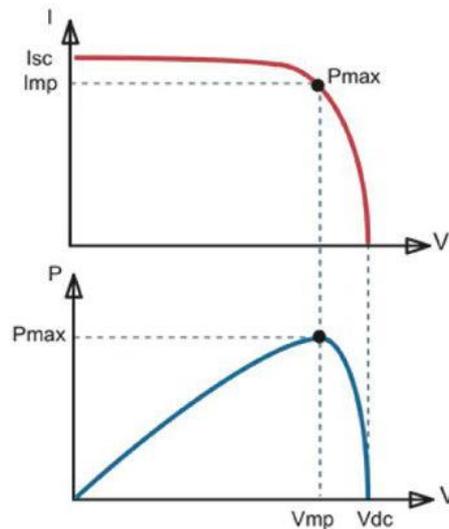


Figura 1.8. Seguimiento del punto máximo de potencia MPPT [7].

Una ventaja al utilizar este tipo de controladores es que no es necesario que el panel a utilizar tenga el mismo valor de tensión que la batería, pero si se debe considerar que la tensión proporcionada por el panel sea de igual o mayor valor que la tensión de la batería.

1.4.5.1 Técnicas MPPT

El punto de máxima potencia se puede encontrar mediante diferentes técnicas. Precisión, simplicidad, adaptabilidad a la temperatura, adaptabilidad a la variación de la irradiación, costo relativo de implementación y la complejidad del circuito de control son algunos de los factores que determinan sus méritos y limitaciones [7]. A continuación, se explican algunas técnicas:

1.4.5.2 Método de Voltaje Constante [7] [13]

La técnica Voltaje constante es el método MPPT menos difícil. Se basa en la percepción de que el punto en donde se genera la máxima potencia (MPP) se encuentra en las proximidades del 72-78% del voltaje a circuito abierto (V_{oc}), para las condiciones climáticas estándar. Este método pasa por alto los impactos de la insolación y la temperatura y acepta que la tensión de referencia constante es una estimación adecuada del MPP real. En este

método sólo se necesita un sensor de tensión para medir la tensión del arreglo fotovoltaico (V_{pv}) y establecer el ciclo de trabajo conveniente para el convertidor DC-DC.

1.4.5.3 Método de Perturbar y Observar [7] [13]

La técnica MPPT más utilizada es el método de Perturbación y Observación por su facilidad de implementación. En este método, el voltaje se incrementa siempre que obtengamos más potencia, es decir, la tensión de funcionamiento se incrementa hasta que el diferencial de potencia sobre el diferencial de voltaje ($\frac{dP}{dV}$) sea positivo. La tensión de funcionamiento se reduce cuando ($\frac{dP}{dV}$) es negativo. La tensión se mantiene constante si ($\frac{dP}{dV}$) está cerca de cero dentro de un límite. Este algoritmo tiene una complejidad de tiempo muy baja. No se detiene al llegar muy cerca del el MPP, y sigue perturbando.

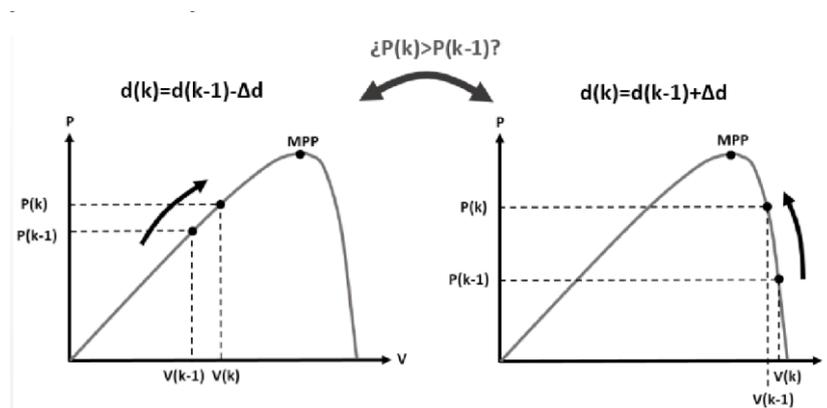


Figura 1.9. Representación del algoritmo Perturbar y Observar MPPT [13].

1.4.6 Conversor DC-DC

Los convertidores DC-DC son circuitos de potencia que transforman una tensión de corriente continua a una tensión diferente. Su principio de operación se basa en almacenar energía temporalmente y transferirla en un periodo de tiempo [14]. Existen diferentes métodos de regulación como son reguladores lineales o conmutados.

1.4.6.1 Regulador Lineal

Los reguladores de tensión lineales proporcionan una tensión de salida estable a partir de una fuente de tensión de entrada más o menos estable. En funcionamiento normal, aunque voltaje en su entrada fluctúe rápidamente, el voltaje en la salida permanece estable [15].

1.4.6.2 Regulador de conmutación

A diferencia de los reguladores lineales que disipan el excedente de energía en calor para limitar la tensión de su salida, los reguladores por conmutación aprovechan las ventajas de almacenar energía en el campo magnético de un inductor o el campo eléctrico de un

capacitor [16]. El controlador por conmutación garantiza que se transfiera la energía que realmente necesita la carga, por lo que este tipo de reguladores son muy eficientes.

1.4.7 Baterías

Una batería recargable es un elemento para almacenar energía eléctrica, puede transformar la energía química en energía eléctrica o de manera contraria. Debido a la necesidad de almacenamiento de energía en los sistemas fotovoltaicos autónomos, es importante conocer las diferentes tecnologías de baterías y seleccionar una en particular [2].

Los dispositivos que almacenan energía pueden clasificarse en mecánicos, químicos, electroquímicos, eléctricos y térmicos. Entre estos dispositivos de almacenamiento, los electroquímicos en forma de baterías son los más utilizados por su capacidad para satisfacer casi todos los tipos de demanda de energía [9].

1.4.7.1 Tipos de Baterías

Las baterías de los sistemas fotovoltaicos están sometidas a frecuentes procesos de carga y descarga. La batería de plomo-ácido y pilas alcalinas se utilizan habitualmente para las aplicaciones fotovoltaicas [10]. El tipo de gel de plomo se utilizan para aplicaciones remotas en las que se requiere un funcionamiento sin mantenimiento. Para aplicaciones portátiles se utilizan baterías de Ni-Cd (Níquel-Cadmio). La vida útil de las baterías varía de 3 a 5 años. El tiempo de vida depende del número de cargas y descargas, la temperatura y otros parámetros [3].

Baterías de plomo-ácido [3]

Las baterías de plomo ácido son las más utilizadas en los sistemas fotovoltaicos, ya que son baratas, fiables y tienen relativamente buena densidad de almacenamiento de energía. Las celdas de las baterías de plomo consisten en dos láminas de plomo inmersas en H₂SO₄ (ácido sulfúrico) diluido creando una tensión de unos 2V entre las láminas. Las celdas se conectan conectadas en serie para obtener baterías de 12V.

Las baterías de plomo-antimonio [3][9]

Son un tipo de batería de plomo-ácido que utiliza el antimonio (Sb) como elemento principal de aleación con el plomo en las rejillas de las placas. El uso de aleaciones de plomo-antimonio tienen tanto ventajas como desventajas.

Las ventajas incluyen una mayor resistencia mecánica que las rejillas de plomo puro, y un excelente y un excelente rendimiento de descarga profunda y alta velocidad de descarga. Las desventajas de las baterías de plomo-antimonio son una alta tasa de autodescarga y, como resultado de sobrecarga necesaria.

1.4.7.2 Capacidad de las Baterías

Es la cantidad de energía que puede almacenar una batería y suele estar clasificada en amperios-hora (Ah) a una tensión determinada. Por ejemplo, una batería de 1.000Ah puede suministrar 100Ah durante 10 horas, o 10Ah durante 100 horas, o 1Ah durante 1.000 horas, etc. [3].

Interacción con los módulos solares

El conjunto solar debe tener una tensión superior a la del banco de baterías para poder cargar completamente las baterías. En los sistemas con respaldo de batería, preste atención a la tensión nominal del módulo, también llamado punto de máxima potencia (VMPP) en las especificaciones eléctricas. Es importante que la tensión sea lo suficientemente alta en relación con la tensión de una batería completamente cargada. Por ejemplo, las tensiones nominales entre 16,5 V y 17,5 V son típicas para un sistema de 12 V que utiliza baterías de plomo líquido.

2. METODOLOGÍA

Un sistema fotovoltaico autónomo está diseñado para operar independientemente de la red eléctrica, generalmente son diseñados para alimentar cargas AC o DC específicas.

En esta sección se desarrolla el diseño e implementación del prototipo del sistema fotovoltaico autónomo propuesto para la alimentación de un sistema de análisis fluviales, considerando aprovechar la máxima generación de energía fotovoltaica para cargar una batería, como se muestra en el diagrama de la Figura 2.1.

2.1 Diagrama de Bloques

El prototipo propuesto para la generación, control y almacenamiento de energía para la alimentación del sistema de análisis fluviales se encuentra constituido por los siguientes componentes:

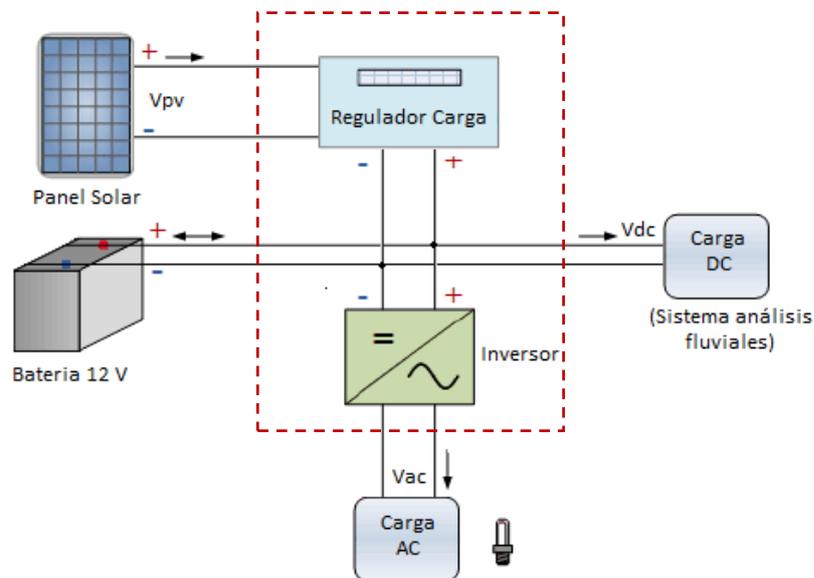


Figura 2.1. Diagrama básico del sistema fotovoltaico autónomo propuesto.

2.1.1 Panel Solar

Es un dispositivo eléctrico que convierte los rayos de luz incidentes en electricidad, se basa en el efecto fotoeléctrico.

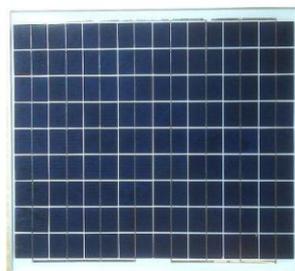


Figura 2.2. Panel Fotovoltaico EXMORK 50P [17].

2.1.5 Control y Medición

Se encarga de manipular las diferentes variables del sistema de acuerdo con los parámetros de diseño establecidos y generar las señales de control para los diferentes semiconductores de potencia, Implementando algoritmos de control.

2.2 Energía Solar en el Ecuador

De acuerdo con el Atlas Solar Ecuatoriano presentado por la Comisión Nacional de Electricidad – CONELEC, la localización geográfica del Ecuador permite que nuestro país pueda aprovechar los recursos de energía solar a lo largo del año, teniendo niveles promedios de radiación aproximadamente de 4500 Wh/m²/día, tal y como se muestra en la Figura 2.4.

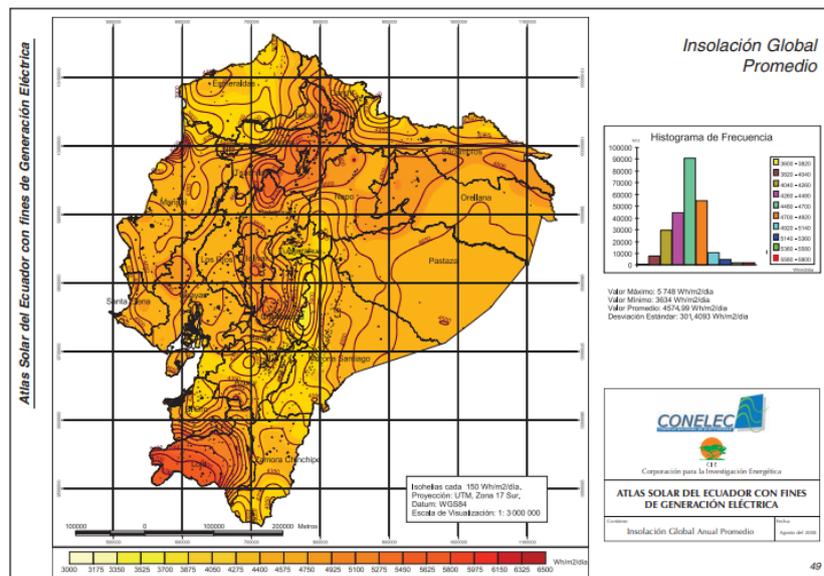


Figura 2.4. Atlas solar del Ecuador – Insulación Promedio [18].

La información que se encuentra en el Atlas Solar identifica como la zona central del país como las zonas más expuestas a niveles de radiación, como son la provincia de Loja y Azuay con niveles de radiación promedio que sobrepasan los 5000 Wh/m²/día. Además, no hay que ignorar la zona oriental del país que tienen niveles de radiación por encima del promedio [18].

2.2.1 Balance Nacional de Energía Eléctrica

Energía Eléctrica	Potencia Instalada en Generación			
	Potencia Nominal		Potencia Efectiva	
	MW	%	MW	%
Nacional (Renovable + No Renovable)	8.734,41	100,00%	8.100,68	100,00%
Renovable	5.308,27	60,77%	5.263,78	64,98%
Hidráulica	5.106,85	58,47%	5.072,26	62,62%
Eólica	21,15	0,24%	21,15	0,26%
Fotovoltaica	27,65	0,32%	26,76	0,33%
Biomasa	144,30	1,65%	136,40	1,68%
Biogás	8,32	0,10%	7,20	0,09%
No Renovable	3.426,14	39,23%	2.836,90	35,02%
MCI	2.020,67	23,13%	1.614,85	19,93%
Turbogás	943,85	10,81%	790,55	9,76%
Turbovapor	461,63	5,29%	431,50	5,33%

Figura 2.5. Balance Nacional energía eléctrica diciembre 2021 [19].

Según la Figura 2.5 el 60.77% de la energía generada en el Ecuador proviene de fuentes renovables, siendo su principal fuente la generación hidroeléctrica con 58.47% seguido de la generación Biomasa con el 1.65% mientras que la generación Eólica, Fotovoltaica y de Biogás no cubren ni el 1% siendo las de menos relevancia.

2.3 Recurso Solar Disponible

Identificar la ubicación de los paneles es la fase más importante para el diseño de un sistema fotovoltaico, ya que las fases posteriores se adaptarán a esto.

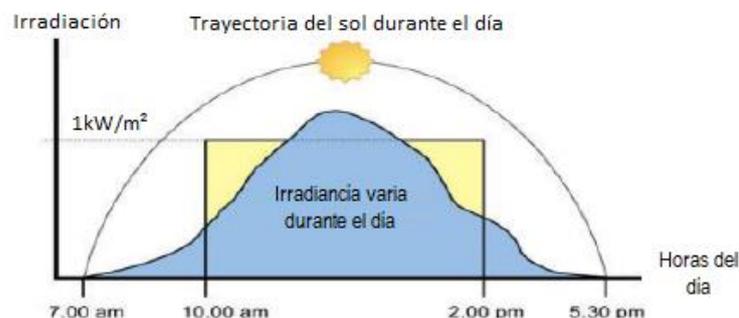


Figura 2.6. Trayectoria del sol durante el día [3].

La cantidad de horas de sol disponibles son de suma importancia y de esta manera conocer cuánta irradiación se necesita para generar la potencia necesaria para la carga. En la Tabla 2.1 según la NASA Surface Meteorological and Solar Energy (SSE) la irradiación promedio en la ciudad de Quito mensual y anual son:

Tabla 2.1. Irradiancia promedio anual ciudad de Quito año 2020-2021 [20].

Mes	2020 [KWh/m ² /día]	2021 [KWh/m ² /día]	Horas Pico Solares
Enero	4.43	3.79	4.11
Febrero	4.2	3.82	4.01
Marzo	3.98	3.64	3.81
Abril	3.79	3.72	3.76
Mayo	3.74	3.8	3.77
Junio	3.81	3.75	3.78
Julio	3.7	4.1	3.9
Agosto	4.63	3.89	4.26
Septiembre	4.28	4.18	4.23
Octubre	4.51	4.18	4.2
Noviembre	4.72	4.11	4.42
Diciembre	3.58	3.78	3.68
Anual	4.11	3.9	4.1

2.3.1 Irradiancia

Es la cantidad de energía que recae sobre una superficie por unidad de tiempo, de todo tipo de radiación electromagnética, sus unidades son: [Wh/m²/día] [20].

2.3.2 Horas Pico Solares (HSP)

Es la cantidad de irradiación que se recibe en horas para un sitio determinado.

$$HSP = \frac{\text{Irradiación Promedio}}{1 \text{ kW/m}^2} \quad (2.1)$$

2.4 Cálculo de Consumo de Energía

La primera tarea de cualquier diseño de un sistema fotovoltaico es determinar la carga del sistema.

La carga se determina haciendo una lista de todos los equipos con sus potencias, horas de funcionamiento y sumándolas para obtener la demanda media total de energía en vatios-hora. El consumo energético de cada carga se puede observar en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Cálculo de la demanda de la carga.

Equipos	Operación [Horas/día]	Potencia [W]	Consumo [Wh/día]
Controlador Carga	24	1	24
Mgsystem Módulo Esp32	4	1	4
STM32F103	4	1	4
NVIDIA Jetson Nano Developer	4	10	40
Total, Wh/Dia			72

El sistema fotovoltaico estará encargado de suministrar energía a un sistema de análisis fluviales que cuenta con diferentes módulos para medición y análisis de datos que son: un Módulo Esp32, una placa de desarrollo STM32F103 y un ordenador NVIDIA Jetson Nano Developer, además de alimentar al controlador de carga.

2.4.1 Energía que puede generar el panel

Una vez que se calcula la carga total que se va a energizar con el sistema fotovoltaico, debemos averiguar qué superficie de paneles solares se necesita para generar esa cantidad de energía.

Se cuenta con un panel fotovoltaico EXMORK 50P y considerando las horas de sol pico en la ciudad de Quito, se obtiene la potencia que puede generar el panel utilizando la ecuación (2.2) [21].

$$E_{pt} = P_{max} * HSP \left(\frac{V_{pmax}}{V_p} \right) \quad (2.2)$$

$$E_{pt} = 50 \text{ W} * 4 \frac{\text{h}}{\text{dia}} \left(\frac{21.94\text{V}}{17.21\text{V}} \right)$$

$$E_{pt} = 254.97 \text{ Wh}$$

2.4.2 Número de paneles solares

Tras la evaluación de las necesidades eléctricas y del campo solar, es posible dimensionar el campo fotovoltaico. Esta operación consiste en dimensionar el número de módulos que se utilizaran en la instalación, a través de la ecuación (2.3) [3].

$$N_{pv} = \frac{E_{demanda}}{E_{pt}} \quad (2.3)$$

$$N_{pv} = \frac{72 \text{ Wh}}{254.97 \text{ Wh}}$$

$$N_{pv} = 0.3 \approx 1$$

2.5 Cálculo Capacidad de la Batería

Las baterías de los sistemas autónomos están dimensionadas para poder almacenar la energía que genera el panel solar, para su uso en las cargas del sistema según sea necesario. La capacidad nominal de la batería depende de lo siguiente: [21].

- Días de autonomía del sistema.
- Profundidad de descarga máxima permitida.
- Eficiencia del sistema.

$$C_{bat} \text{ (Ah)} = \frac{E_{demanda} * N}{V_{bat} * P_D * F_{ct}} \quad (2.4)$$

Donde

C_{bat} : Capacidad de la batería.

$E_{demanda}$: Energía de la carga.

N : Días de autonomía.

V_{bat} : Voltaje nominal de la batería.

P_D : Porcentaje máximo de descarga = 0.8 plomo ácido.

F_{ct} : Factor de compensación = 1.2 plomo ácido.

$$C_{bat} \text{ (Ah)} = \frac{72 * 1}{12 * 0.8 * 1.2} = 6.25 \text{ Ah}$$

2.5.1 Número de baterías

Cuando dimensionamos la capacidad de las baterías, podemos calcular el número de baterías que hay que poner de acuerdo con la ecuación (2.5) [3].

Se dispone de una batería de plomo ácido de 12 V y 5 Ah por lo que es necesario conocer cuantas baterías se necesitan para abastecer al sistema según los parámetros de potencia y autonomía que se requiere.

$$N_{bat} = \frac{C_{bat} \text{ (Ah)}}{\text{Capacidad Batería Disponible}} \quad (2.5)$$

$$N_{bat} = \frac{6.25 \text{ Ah}}{5 \text{ Ah}} \approx 1$$

2.6 Sistema de Regulación de Voltaje

El sistema de regulación es el encargado de suministrar voltaje constante de acuerdo con los requerimientos del banco de baterías, para esto se hace uso de convertidores DC – DC, algunas de las topologías más utilizadas en este tipo de sistemas se detallan a continuación.

2.6.1 Conversor Reductor (Buck)

El conversor reductor como su nombre lo dice transforma una tensión de entrada alta en una tensión de salida inferior estabilizada. El circuito simplificado se muestra en la Figura 2.7.

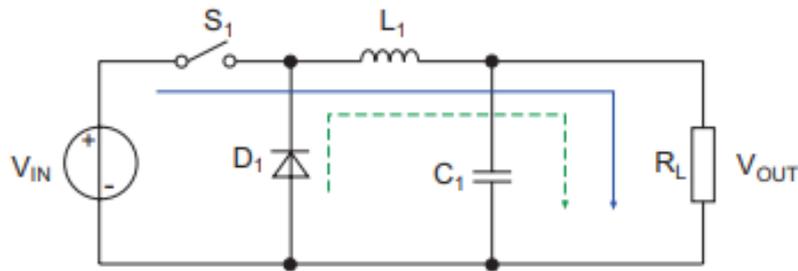


Figura 2.7. Circuito simplificado conversor reductor [15].

La manera más sencilla de entender el circuito es pensar en L_1 y C_1 como un filtro pasa bajo, cuando el interruptor S_1 se encuentra cerrado la tensión a través de la carga aumenta lentamente a medida que el capacitor C_1 se carga por medio de L_1 .

Si S_1 se abre la energía que se encuentra almacenada en el campo magnético del inductor se descarga en el capacitor y en la carga, haciendo que la tensión en la salida baje lentamente.

La tensión media en la salida es la relación:

$$V_{out} = \frac{1}{T} * V_{in} = \delta \text{ si } V_{in} > V_{out} \quad (2.6)$$

Condición de encendido:

$$\text{Energia}_{in} = (V_{in} - V_{out}) * t_{on} \quad (2.7)$$

Condición de apagado:

$$\text{Energia}_{out} = V_{out} * t_{off} \quad (2.8)$$

Donde $t_{off} = (T - t_{on})$ y $\delta = \frac{t_{on}}{T}$,

Igualando la ecuación (2.6) y (2.8) se obtiene,

$$\text{Energia}_{in} = \text{Energia}_{out}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \delta \quad (2.9)$$

2.6.2 Conversor Elevador (Boost)

Como su nombre lo indica el convertidor elevador o boost convierte la tensión en la entrada que es inferior a una tensión superior en su salida. La Figura 2.8 muestra el diagrama simplificado.

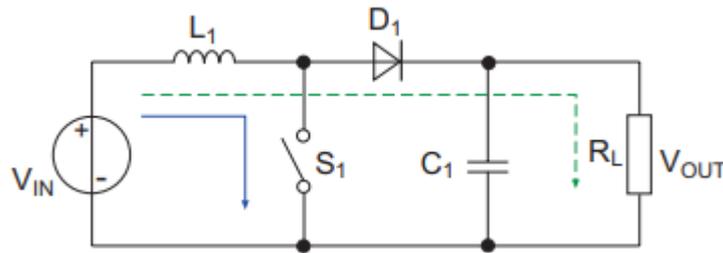


Figura 2.8. Circuito simplificado conversor elevador [15].

Cuando S1 se encuentra cerrado la corriente fluye a través del inductor L1 que va aumentando linealmente con relación $\frac{V_{in}}{L_1}$. Durante este periodo la carga se alimenta de la energía almacenada en el capacitor C1.

Cuando S1 se abre de nuevo la energía que se almaceno en el inductor L1 provoca una tensión alta en su salida superpuesta a la tensión de entrada. La corriente nuevamente circula a través del diodo D1 para recargar C1 y alimentar a su respectiva carga.

La tensión media en la salida es la relación:

$$V_{out} = \frac{1}{1-\delta} * V_{in} \text{ si } V_{in} < V_{out} \quad (2.10)$$

Condición de encendido:

$$\text{Energia}_{in} = V_{in} * t_{on} \quad (2.11)$$

Condición de apagado:

$$\text{Energia}_{out} = (V_{out} - v_{in}) * t_{off} \quad (2.12)$$

Igualando la ecuación (2.11) y (2.12) se obtiene,

$$\text{Energia}_{in} = \text{Energia}_{out}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 - \delta} \quad (2.13)$$

2.6.3 Conversor Reductor-Elevador (Buck-Boost)

El convertidor reductor elevador, transforma la tensión de entrada a una tensión de salida inversa regulada, esta puede ser mayor o menor que el valor absoluto de la tensión a la entrada. El circuito simplificado se muestra en la Figura 2.9.

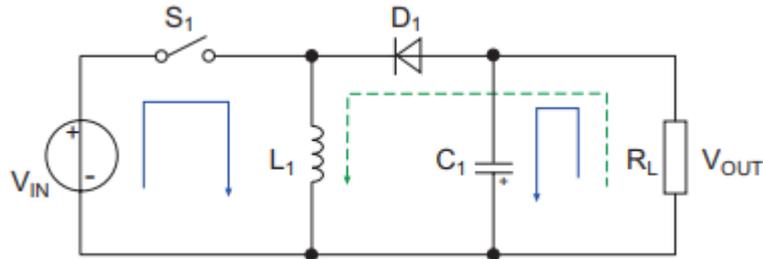


Figura 2.9. Circuito simplificado conversor reductor – elevador [15].

Cuando S1 se encuentra cerrado una corriente I_{L1} que aumenta en relación $\frac{V_{in}}{L_1}$ circula a través de L1. El diodo D1 bloquea cualquier circulación de corriente hacia la carga. Durante este tiempo la carga se alimenta de la energía almacenada en C1.

Cuando S1 se abre la energía almacenada en L1 convierte el extremo del interruptor en negativo, la corriente invertida circula hacia el condensador C1 y la carga a través del diodo D1. Debido a la dirección de la corriente la tensión en la salida es negativa.

La tensión media en la salida es la relación:

$$V_{out} = \frac{-\delta}{1-\delta} * V_{in} \text{ si } V_{in} < V_{out} \text{ o } V_{in} > V_{out} \quad (2.14)$$

Condición de encendido:

$$\text{Energia}_{in} = V_{in} * t_{on} \quad (2.15)$$

Condición de apagado:

$$\text{Energia}_{out} = -V_{out} * t_{off} * V_{out} \quad (2.16)$$

Reemplazando

$$\text{Energia}_{in} = \text{Energia}_{out}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-\delta}{1-\delta} \quad (2.17)$$

2.6.4 Conversor Reductor-Elevador (SEPIC)

Una desventaja de los convertidores buck-boost es la polaridad invertida en su salida, esto se soluciona mediante un diseño de dos etapas denominado convertidor de inductor primario (SEPIC) [15].

En este tipo de topología y la ubicación de los diferentes elementos permite mantener la misma polaridad en su salida.

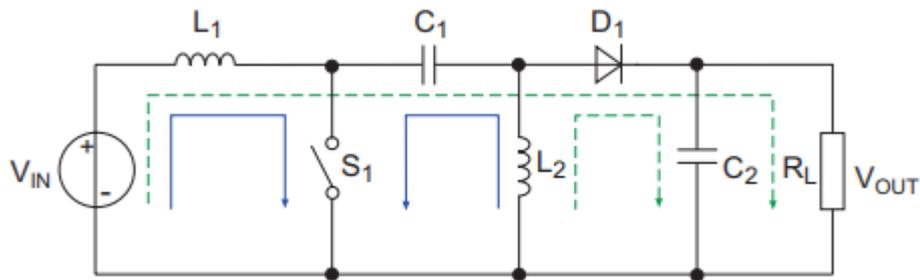


Figura 2.10. Circuito simplificado conversor SEPIC [15].

El hecho que la polaridad en la tensión en la salida sea igual a la tensión de su entrada hace que el convertidor SEPIC sea muy útil en aplicaciones alimentados por paneles fotovoltaicos o aplicaciones que utilicen pilas recargables.

La tensión media en la salida es la relación:

$$V_{out} = \frac{\delta}{1-\delta} * V_{in} \quad (2.18)$$

$$V_{in} < V_{out} \text{ cuando } \delta > 0.5$$

$$V_{in} > V_{out} \text{ cuando } \delta < 0.5$$

2.4 Diseño del convertidor DC - DC

De acuerdo con los requerimientos del prototipo propuesto, el subsistema regulación de carga requiere de un convertidor DC-DC con control MPPT para el aprovechamiento máximo de potencia del panel fotovoltaico, el convertidor trabaja con un panel policristalino de 50 W, y poder cargar la batería de plomo acido de 12 V.

Tabla 2.3. Especificaciones técnicas del Panel Fotovoltaico.

Potencia máxima	50 [W]
Voltaje (V _{mpp})	17.21 [V]
Corriente eléctrica (I _{mpp})	2.91 [A]
Voltaje circuito abierto (V _{oc})	21.94 [V]
Corriente cortocircuito (I _{sc})	3.12 [A]

Por medio de pruebas con el panel fotovoltaico, el horario en donde se genera más energía es entre las 10:00 am a 2:00 pm entregando voltajes variables entre 17 V y 24 V, teniendo aproximadamente 4 horas de sol pico diariamente, se utilizará la topología BUCK para el convertor DC-DC que me permite reducir el voltaje en su salida manteniendo su polaridad, generalmente usados en fuentes de alimentación conmutadas. El convertidor se controla mediante la modulación del ancho del pulso (PWM), en la que el ciclo de trabajo de conmutación es la variable de entrada de control.

2.6.5 Análisis en régimen permanente del convertidor BUCK.

El convertidor solo necesita de un transistor de potencia, tiene una topología sencilla, pero con una alta eficiencia aproximadamente de 90%, el diferencial de corriente en la carga $\frac{di}{dt}$ se encuentra limitado por la corriente que circula en el inductor L y la corriente y voltaje en su salida son unidireccionales [22].

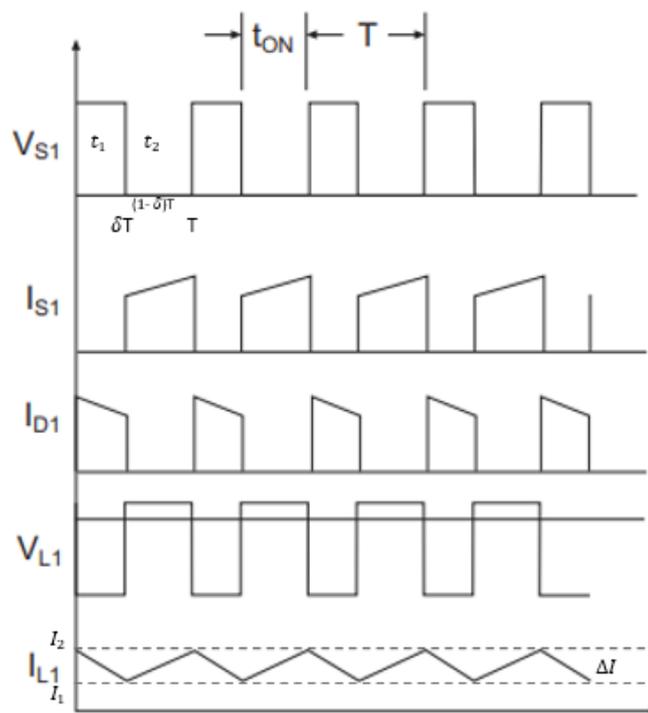


Figura 2.11. Formas del convertidor en estado estable.

El voltaje en el inductor se expresa de la siguiente manera:

$$V_L = L * \frac{di}{dt} \quad (2.19)$$

Si suponemos que la corriente que circula en la bobina incrementa linealmente en un determinado tiempo t_1 ,

$$V_{in} - V_{out} = L * \frac{I_2 - I_1}{t_1} = L * \frac{\Delta I}{t_1} \quad (2.20)$$

es decir,

$$t_1 = \frac{\Delta I * L}{V_{in} - V_{out}} \quad (2.21)$$

Y que la corriente del inductor disminuye linealmente en un determinado tiempo t_2

$$t_2 = \frac{\Delta I * L}{V_{out}} \quad (2.22)$$

Igualando ΔI de las ecuaciones (2.20) y (2.22) se obtiene,

$$\Delta I = \frac{(V_{in} - V_{out}) * t_1}{L} = \frac{V_{out} * t_2}{L}$$

Sustituyendo $t_1 = \delta * T$ y $t_2 = (1 - \delta) * T$ se obtiene el voltaje promedio en la salida de la siguiente forma,

$$V_{out} = V_{in} * \frac{t_1}{T} = \delta * V_{in} \quad (2.23)$$

Dónde V_{in} y V_{out} representan la tensión en la entrada y la salida respectivamente, mientras que δ es el ciclo de trabajo del sistema.

El periodo de conmutación se expresa,

$$T = \frac{1}{f} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I * L * V_{in}}{V_{out} * (V_{in} - V_{out})} \quad (2.24)$$

Obteniendo,

$$\Delta I = \frac{V_{in} * \delta * (1 - \delta)}{f_{sw} * L} \quad (2.25)$$

Si se aplica la ley de Kirchoff de corriente en el inductor obtenemos,

$$i_L = i_C + i_{out} \quad (2.26)$$

El voltaje en el capacitor se expresa,

$$V_C = \frac{1}{C} \int i_C * dt + V_{C_{t=0}} \quad (2.27)$$

$$\Delta V_C = \frac{1}{C} \int_0^T \frac{\Delta I}{4} * dt = \frac{\Delta I * T}{8 * C} = \frac{\Delta I}{8 * f_{sw} * C} \quad (2.28)$$

Obteniendo,

$$C = \frac{\Delta I}{8 * \Delta V_C * f_{sw}} \quad (2.29)$$

2.6.6 Dimensionamiento de los elementos

Los elementos que conforman el convertidor reductor Figura 2.7, son un interruptor de potencia S1, un capacitor C1, un diodo D1 y el inductor L1. Para su diseño se considera las peores condiciones que pueden presentarse, y de esta manera el convertidor pueda soportar los diferentes valores de voltajes y corrientes con los que trabajará el sistema.

Consideraciones de diseño.

- ΔI : Rizado de corriente entre el 20 - 40 % de la corriente en su entrada
- ΔV : Rizado de voltaje mínimo posible en los capacitores.
- f_{sw} : Frecuencia de conmutación alrededor a 30Khz.

Tabla 2.4. Parámetros de diseño

Voltaje de entrada (V_{in})	17 [V] – 24 [V]
Voltaje de salida (V_{out})	12 [V]
Corriente de salida (I_{out})	2.91 [A]
Potencia Panel nominal (W)	50 [W]
Frecuencia de conmutación (f_{sw})	30 [kHz]
Rizado de Voltaje (ΔV)	1 %
Rizado de corriente (ΔI)	40 %
Ciclo de trabajo (δ)	0.5

2.6.6.1 Inductor

Según la ecuación (2.25) obtenemos el valor de la inductancia L1:

$$L = \frac{V_{in} * \delta * (1 - \delta)}{f_{sw} * \Delta I}$$

Se tiene que considerar la tensión de entrada al sistema el máximo posible, es decir el voltaje máximo de generación del panel fotovoltaico.

$$L1 = \frac{24 * 0.5 * (1 - 0.5)}{30000 * 0.4}$$

$$L = 500 \mu H$$

Se utilizará un inductor toroidal de 560uH, sus características técnicas se encuentran en el Anexo 3.



Figura 2.12. Inductor 560 uH

2.6.6.2 Capacitor

El valor de la capacitancia C1, obtenemos utilizando la Ecuación (2.29) y los datos de la Tabla 2.4.

$$C = \frac{\Delta I}{8 * f * \Delta V_C}$$

$$C = \frac{0.4}{8 * 30000 * 0.1}$$

$$C = 16.67 \text{ uf}$$

Se utilizará un capacitor electrolítico de 470 uf, 50 V en el diseño, ya que al tener mayor capacitancia el rizado en la salida del conversor disminuye.

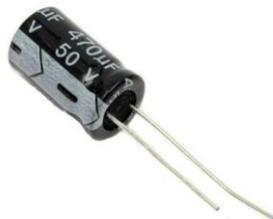


Figura 2.13. Capacitor electrolítico 470 uf 50 V.

2.6.6.3 Diodo

Para el dimensionamiento del diodo D1 se tiene que considerar el voltaje máximo que va circular además de la corriente máxima que puede soportar, en este caso se dimensiona a partir de la potencia nominal del panel fotovoltaico, para eso utilizamos las ecuaciones (2.30) y (2.31).

$$i_L = i_o = \frac{P_o}{V_o} = \frac{50 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 4.16 \text{ A} \quad (2.30)$$

$$I_D = \frac{1}{T} \int_0^T I_D(t) * dt = \frac{1}{T} * i_L(1 - D) * T \quad (2.31)$$

$$I_D = I_L(1 - \delta) = 4.16 * (1 - 0.5) = 2.08 \text{ A}$$

Se deberá un utilizar un diodo capaz de resistir una corriente máxima de 2.08A y un voltaje mayor a 24V.



Figura 2.14. Diodo rectificador de barrera Schottky MBR340.

Por lo tanto, se selecciona un diodo de barrera Schottky MBR340 que soporta voltajes de 40 V y corrientes de 3 A, son ideales en rectificadores, inversores de baja tensión y alta frecuencia, las características técnicas del diodo se muestran en el Anexo 4.

2.6.6.4 Semiconductor de potencia

Se debe elegir cual semiconductor de potencia es adecuado para el control del conversor DC-DC reductor. Existen los MOSFET's y los IGBT's. para este tipo de aplicaciones,

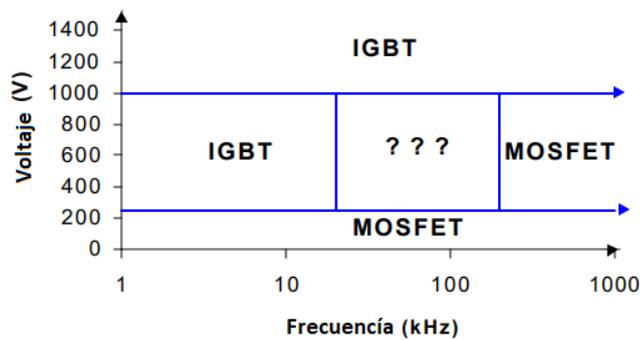


Figura 2.15. Diferencia entre un MOSFET's y un IGBT's [23] .

El MOSFET es un elemento que se controla por voltaje y no por corriente, también tiene un diodo de antiparalelo de drenaje, que es útil para tratar con corrientes libres limitadas [23].

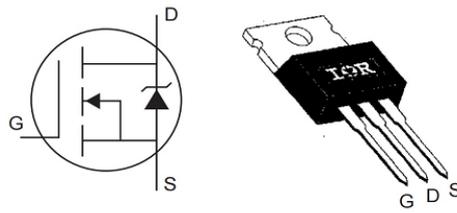


Figura 2.16. Simbología de un MOSFET [23].

El IGBT tiene las características de conmutación y conducción de salida de un transistor bipolar, pero está controlado por medio de voltaje al igual que un MOSFET. Sin embargo, el IGBT sigue teniendo las desventajas de una cola de corriente en el apagado y la ausencia de un diodo de drenaje [23].

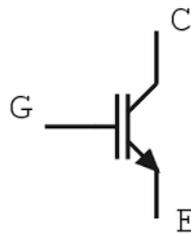


Figura 2.17. Simbología IGBT [23].

En este caso se utilizará un MOSFET ya que presenta una resistencia interna baja y al ser controlado por voltaje las pérdidas por conmutación son bajas, además que pueden trabajar con frecuencias de conmutación altas de acuerdo con la Figura 2.15. Para calcular la corriente máxima que circulará a través del MOSFET se utiliza la ecuación (2.32).

$$I_{MOS} = \frac{1}{T} \int_0^T I_{MOS}(t) * dt = \frac{1}{T} * I_L * D * T \quad (2.32)$$

$$I_{MOS} = I_L * \delta = 4.16 * 0.5 = 2.08 \text{ A}$$

El MOSFET deberá ser capaz de soportar una corriente de 2.08 A y un voltaje de alimentación de 24 V.

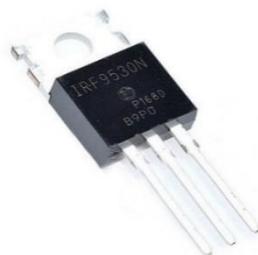


Figura 2.18. MOSFET IRFZ9530N

El MOSFET seleccionado es el IRZ9530N, tiene un voltaje gate-source $V_{GS} = 20 V$ y corriente de drenaje $I_D = 14 A$, utilizado principalmente en aplicaciones de conmutación de alta velocidad como convertidores o circuitos inversores. Las características técnicas del MOSFET seleccionado se muestran en el Anexo 5.

2.6.6.5 Gate drive

En aplicaciones que utilizan alta potencia, la compuerta del semiconductor (MOSFET) no puede ser accionada por la salida de un microcontrolador. Debido a la baja capacidad de corriente de estas salidas lógicas. Por lo tanto, se deben utilizar controladores dedicados para aplicar una tensión y proporcionar corriente de accionamiento a la compuerta del MOSFET.

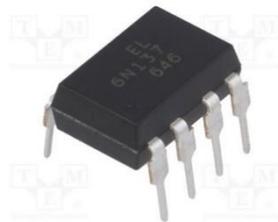


Figura 2.19. Optoacoplador 6n137.

Para que pueda conmutar un MOSFET la tensión de disparo suele ser de 12 V. Estos niveles de voltaje necesarios no pueden ser extraídos del controlador ya que el controlador emite señales de 3.3 V o 5 V. El optoacoplador utilizado es el 6N137 que consiste en un LED acoplado ópticamente a una puerta fotodetector de muy alta velocidad Figura (2.20), las características técnicas del optoacoplador 6n137 se encuentran en el Anexo 6.

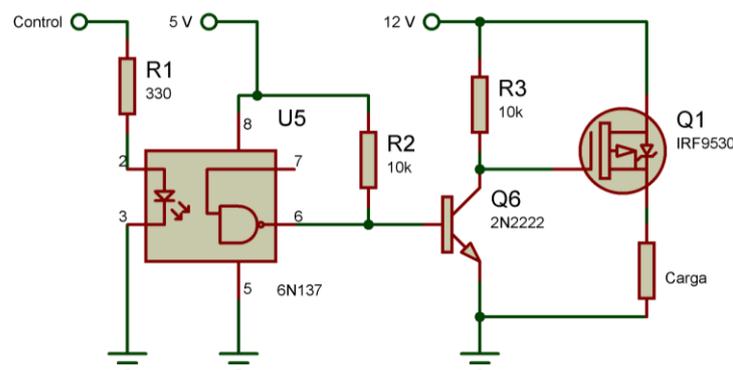


Figura 2.20. Circuito Gate Drive [24].

2.6.7 Diseño Regulador de 5 V

Se necesita una fuente de 5 V en el sistema para alimentar el microcontrolador y los diferentes dispositivos utilizados como sensores, display y el sistema de análisis fluviales,

A partir de la batería de 12 V y utilizando un regulador lineal LM7805 se puede obtener en su salida 5 V constantes, los capacitores C1 y C2 permiten mantener un buen filtrado de la tensión en su entrada y salida.

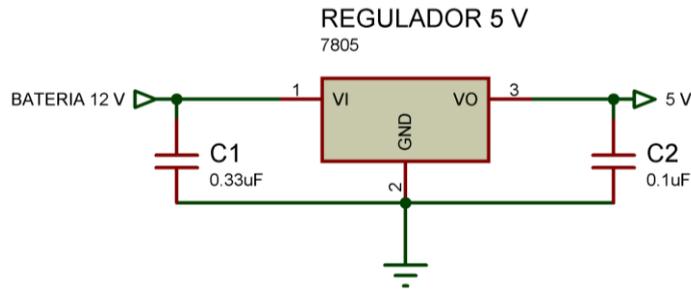


Figura 2.21. Regulador de voltaje 5V.

2.7 Diseño Inversor Monofásico Medio Punte

El prototipo cuenta con una salida alterna de 110V a 60HZ, por lo que se propuso utilizar un inversor DC- AC monofásico medio puente. El circuito implementado se muestra en la Figura 2.22.

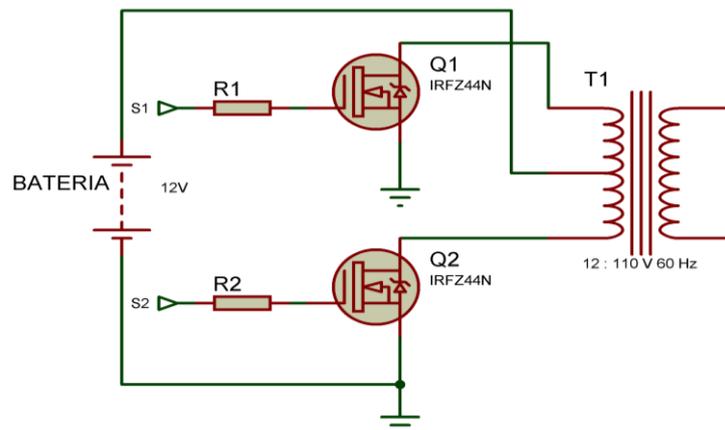


Figura 2.22. Inversor monofásico medio puente.

El principio de operación del inversor medio puente se basa en que, durante la mitad del período, el MOSFET (Q1) conduce, mientras que durante la otra mitad del período el otro MOSFET (Q2) conducirá de acuerdo como se muestra en la Figura 2.23. La frecuencia de salida en este tipo de inversores se controla mediante el control del tiempo de conexión y desconexión de los semiconductores [25].

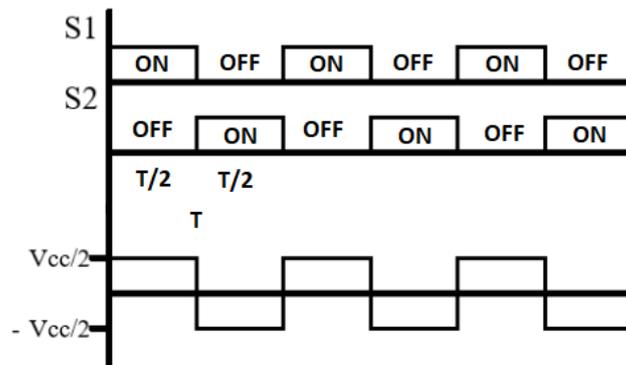


Figura 2.23. Formas de onda inversor medio puente [25].

Esta fuente de alimentación de 110V AC se construye con un transformador de 12V a 110V con toma central. Este circuito emite una onda cuadrada de 110 V a 60 Hz y puede suministrar hasta 25 W.

Este tipo de inversor de 12 V a 110 V se utiliza normalmente en radios, herramientas manuales, afeitadoras y pequeñas lámparas fluorescentes. No funciona con cargas reactivas (motores).

El inversor monofásico medio puente cuenta con dos semiconductores de potencia que serán los encargados de generar la onda cuadrada, considerando la Ecuación (2.32) el MOSFET que se utiliza para este caso es el IRFZ44N que tiene un voltaje drain-source de $V_{DS} = 55 \text{ V}$ y una corriente de drenaje $I_D = 49 \text{ A}$, sus características técnicas se encuentran en el Anexo 7.



Figura 2.24. MOSFET IRFZ44N.

De igual manera necesitan de un Gate Drive para poder conmutar, en este caso debido a la frecuencia de conmutación baja de 60 Hz se utiliza un optoacoplador 4n25, que me permite manejar los niveles de voltaje que se necesitan para su activación, las características técnicas del optoacoplador 4n25 se encuentran en el Anexo 8.

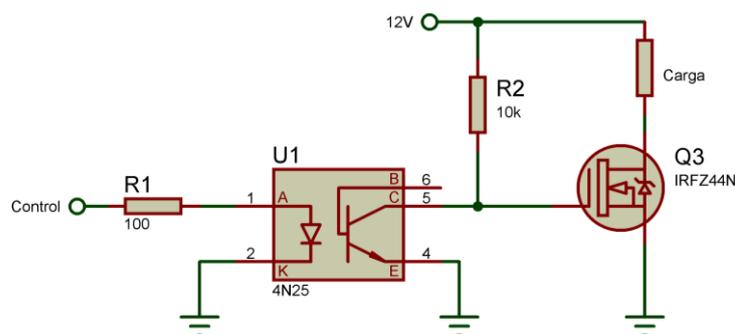


Figura 2.25. Circuito de disparo MOSFET.

$$V_{R1} = 5 - V_{led}$$

$$I_{R1} = I_{led} < 20mA$$

$$R_1 = \frac{5 - 1.5}{20mA} = 175 \Omega$$

2.8 Diseño del controlador

De acuerdo con el prototipo propuesto el sistema de control es una parte fundamental para el sistema fotovoltaico. Este sistema será el encargado del control de carga de la batería utilizando un algoritmo de control MPPT a través de un convertor DC-DC y de esta forma aprovechar la máxima generación de energía del panel solar, además de controlar el inversor monofásico de medio puente.

2.8.1 Controlador MPPT

El sistema que permite que se extraiga la máxima potencia del panel fotovoltaico se llama controlador MPPT. Existen dos procesos por los que se puede obtener la máxima potencia del sistema fotovoltaico, de forma mecánica o de manera eléctrica.

En el seguimiento mecánico la dirección del panel fotovoltaico cambia en función de las condiciones climáticas existentes en el área, mientras que el seguimiento eléctrico se lo realiza utilizando la curva V-I para ubicar el punto de máxima potencia (MPP) como se analizó anteriormente Figura 1.8.

Para el seguimiento del verdadero MPP del sistema fotovoltaico existen numerosos métodos de MPPT, existen algunos parámetros para poder seleccionar el método adecuado de control como es la complejidad de diseño, costos. velocidad de convergencia, parámetros de censado etc.

En este prototipo se utilizará el método Perturbar & Observar, este algoritmo modifica la relación de trabajo (δ) en la señal PWM que controla el accionamiento de la compuerta del semiconductor MOSFET en el convertor Buck. Para el funcionamiento de este algoritmo

se necesita conocer la tensión y corriente en la salida del panel solar, y de esta forma se va monitoreando la potencia generada periódicamente. El algoritmo implementado se muestra en la Figura 2.26.

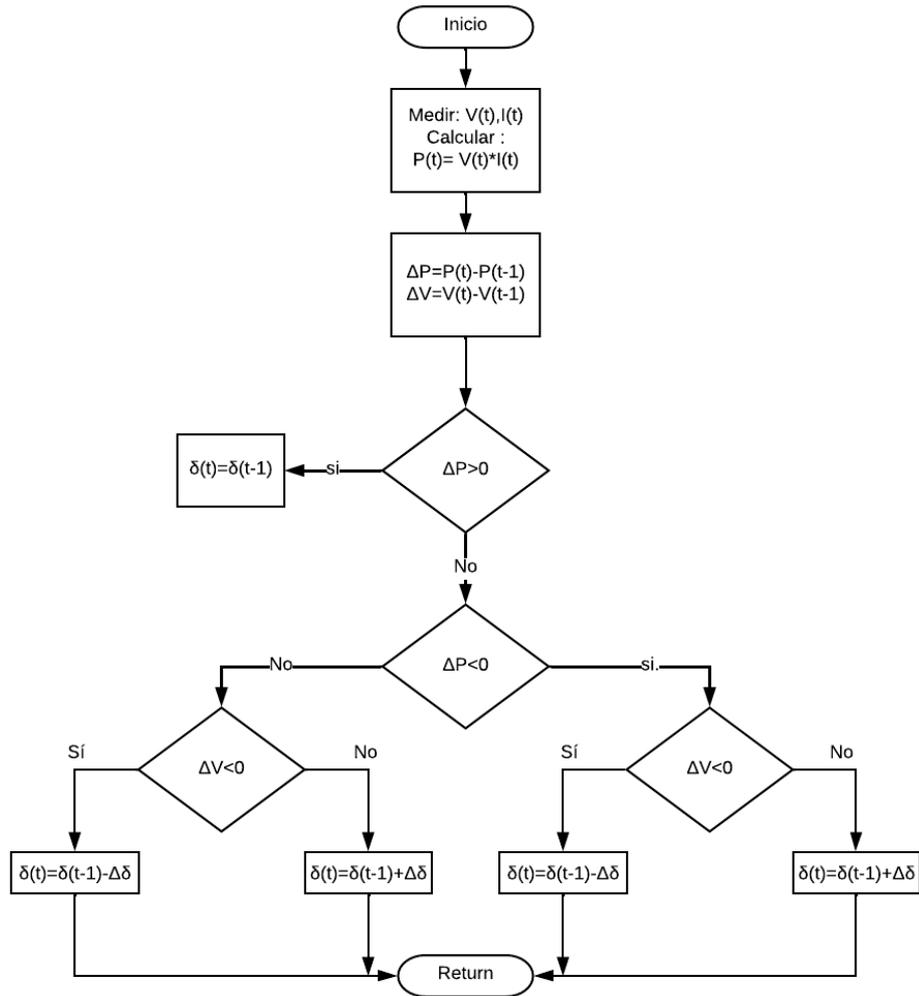


Figura 2.26. Diagrama de flujo algoritmo Perturbar & Observar [13].

2.8.2 Diseño sistema de medición

El microcontrolador debe leer la tensión y corriente en la salida del panel fotovoltaico para su uso en el algoritmo MPPT que se seleccionó, el uso de sensores permitirá la adquisición de dichos valores para su posterior interpretación en el código desarrollado.

2.8.2.1 Sensor de corriente

Se hará uso del módulo ACS712ELCTR-20A-T que es un sensor de corriente de efecto Hall, capaz de detectar el campo magnético al momento de circular corriente en una línea.

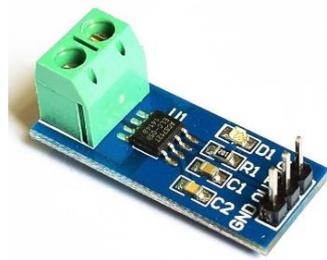


Figura 2.27. Sensor de corriente ACS712.

El sensor de la Figura 2.27 entrega un valor de 2.5 V cuando la corriente es 0 A, y de esta manera obtener una relación proporcional entre el voltaje y la corriente considerando la sensibilidad del sensor. Se seleccionó un sensor capaz de medir corrientes de hasta 20 A con una sensibilidad de 100mV/A.

$$I = \frac{V - 2.5}{\text{Sensibilidad}} \quad (2.33)$$

Implementado la Ecuación (2.33) en el algoritmo de control se tiene el valor de la corriente medida por el sensor, las características técnicas del sensor se encuentran en el Anexo 9.

2.8.2.2 Sensor de Voltaje

Se utiliza un divisor de voltaje capaz de medir voltajes de 0 a 5 V que serán leídos por una entrada análogo digital A/D del microcontrolador y que puedan ser acondicionados a su valor real.

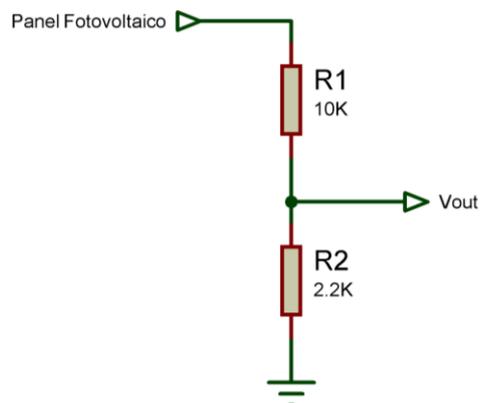


Figura 2.28. Circuito divisor de voltaje para el panel fotovoltaico.

El divisor de voltaje de la Figura 2.28 se dimensionó para un voltaje máximo de 28 V considerando que en pruebas con el panel se alcanzaban voltajes mayores a 24 V.

Por lo tanto, las resistencias del divisor de voltaje se obtienen a partir de la ecuación (2.34).

$$V_{out} = \frac{R2}{R1 + R2} * V_{panel} \quad (2.34)$$

Asumiendo $R1 = 10 \text{ K}\Omega$ se tiene;

$$5 \text{ V} = \frac{R2}{10000 + R2} * 28 \text{ V}$$

$$R2 = 2.2 \text{ K}\Omega$$

De la misma manera se obtiene el valor del voltaje en la batería utilizando un divisor de voltaje tal y como se observa en la Figura 2.29. las resistencias fueron dimensionadas para un valor de voltaje 14 V, que es el valor de flotación de la batería.

Asumiendo $R3 = 10 \text{ K}\Omega$ se tiene;

$$5 \text{ V} = \frac{R4}{10000 + R4} * 14 \text{ V}$$

$$R4 = 5.6 \text{ K}\Omega$$

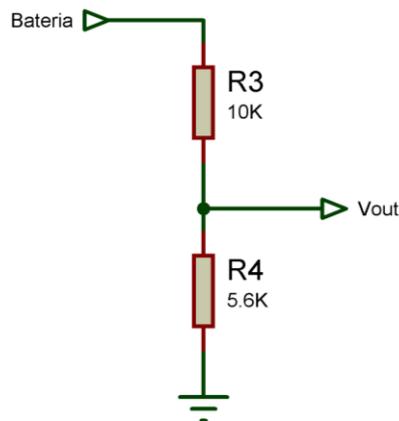


Figura 2.29. Circuito divisor de voltaje para la batería.

2.8.2.3 Visualización

Se utiliza un display LCD 16*2 para visualizar y monitorear los valores de voltaje y corriente generados del panel fotovoltaico además del estado de carga de la batería.



Figura 2.30. LCD 16*2.

2.8.2.4 Relé de protección sobrecargas

Se controla la conexión y desconexión del panel fotovoltaico por medio de un relé de 5V, este elemento es un interruptor automático que posee dos estados, normalmente abierto o normalmente cerrado, para nuestra aplicación el relé se encargara de desconectar el panel una vez que el porcentaje de carga de la batería se encuentre al 100%, esto con el fin de proteger a la batería de sobrecargas. El circuito implementado se muestra en la Figura 2.31.

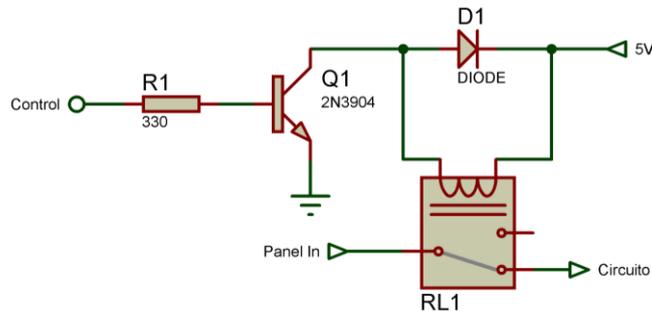


Figura 2.31. Circuito de protección Sobrecargas.

2.8.3 Control de carga de la batería

El algoritmo desarrollado para cargar la batería cuenta de 3 etapas:

La etapa de carga bruta (Bulk), en esta etapa la corriente se envía desde el panel fotovoltaico hasta que el nivel de la carga alcance el 80 – 90 % de su carga total, es decir se utiliza el 100% de la energía que se está generando desde el panel en ese momento por medio del control MPPT.

La etapa de absorción, en esta etapa el voltaje alcanza su punto máximo en nuestro caso un valor de 14.5 V constantes y la corriente disminuye a medida que se alcanza un estado de carga del 98%.

La etapa de flotación, en esta etapa la carga de la batería se encuentra en un nivel óptimo, el voltaje se reduce a valores bajos al igual que la corriente y de esta forma prolongar la vida útil de la batería.

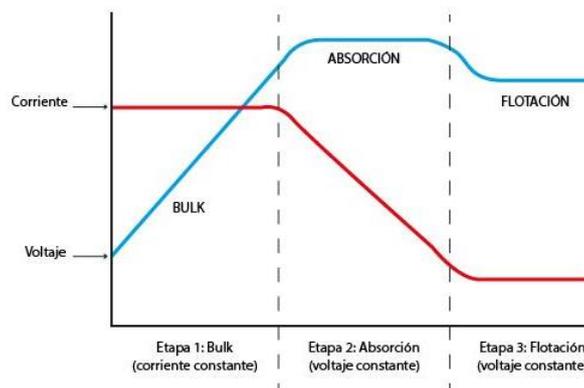


Figura 2.32. Etapas de carga de una batería [16].

2.8.4 Dispositivo de control

Una vez que se conoce el número de entradas y salidas que necesita el sistema (análogas y digitales) se selecciona un microcontrolador que cumpla con las siguientes especificaciones.

El microcontrolador tendrá que leer los valores de voltaje y corriente del panel fotovoltaico, el voltaje en la batería, generar 1 señal de control PWM para el convertidor reductor, 2 señales PWM para el inversor de medio puente. 2 salidas análogas para la visualización en el display 16*2 además de contar con pines para comunicación de tipo serial.

Se utiliza el microcontrolador Arduino Nano que es una placa de desarrollo que se basa en el ATmega 328P, cuenta con 32 pines, 14 pines digitales y 8 pines análogos los cuales pueden ser programados como entradas o salidas, tienen una resolución de 10 bits. [26].

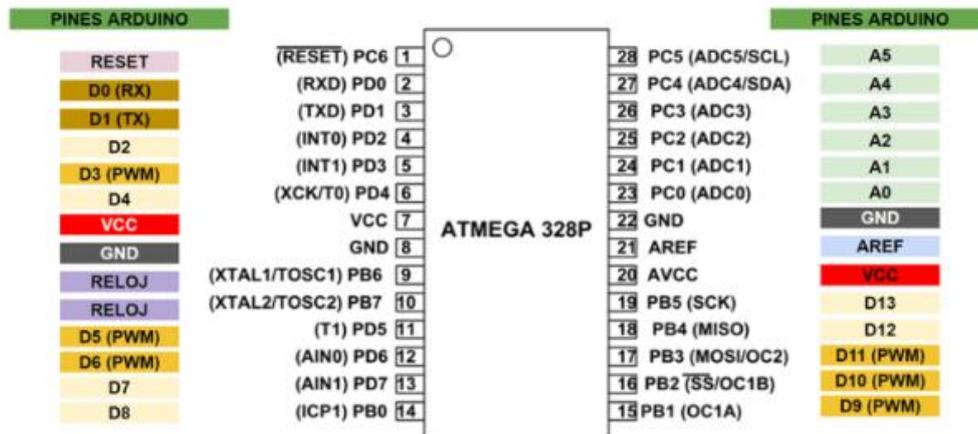


Figura 2.33. Distribución pines ATmega 328P [26].

Distribución de pines.

Tabla 2.5. Distribución de los pines Arduino Nano.

Pin	Descripción
A0	Entrada análoga lectura del voltaje de la batería.
A4	Salida análoga Display 16*2
A5	Salida análoga Display 16*2.
A6	Entrada análoga lectura del voltaje del panel solar.
A7	Entrada análoga lectura de la corriente del panel solar.
D3	Señal digital circuito desconexión panel.
D4	Señal digital circuito desconexión regulador.
D5	Señal PWM inversor medio puente (Timer 1)
D6	Señal PWM inversor medio puente (Timer 1)
D9	Señal PWM convertidor reductor. (Timer 0)
D13	Comunicación Transmitir
RX	Comunicación

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

3.1.1 Simulación Conversor DC-DC reductor

El diseño del convertidor reductor diseñado en el capítulo anterior se simuló en MATLAB - Simulink para validar su funcionamiento, se simuló sin controlador para un valor de tensión de entrada de 24V con una relación de trabajo constante del 50%. La señal de control PWM se configuró para una frecuencia de 30KHz y un ciclo de trabajo constante para obtener en la salida una tensión de 12V. El circuito simulado se muestra en la Figura 3.1.

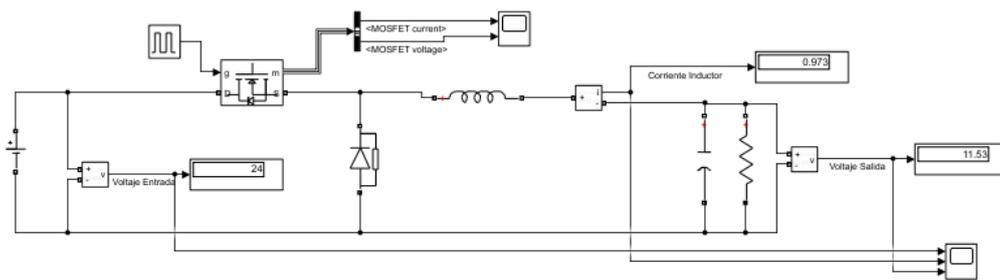


Figura 3.1. Simulación conversor DC-DC reductor (MATLAB - SIMULINK)

De acuerdo con los parámetros que se consideraron para el diseño del convertidor, la corriente se encuentra dentro del límite de 40% de rizado al igual que el rizado del voltaje en la salida del 1%, como se observa en la Figura 3.2.

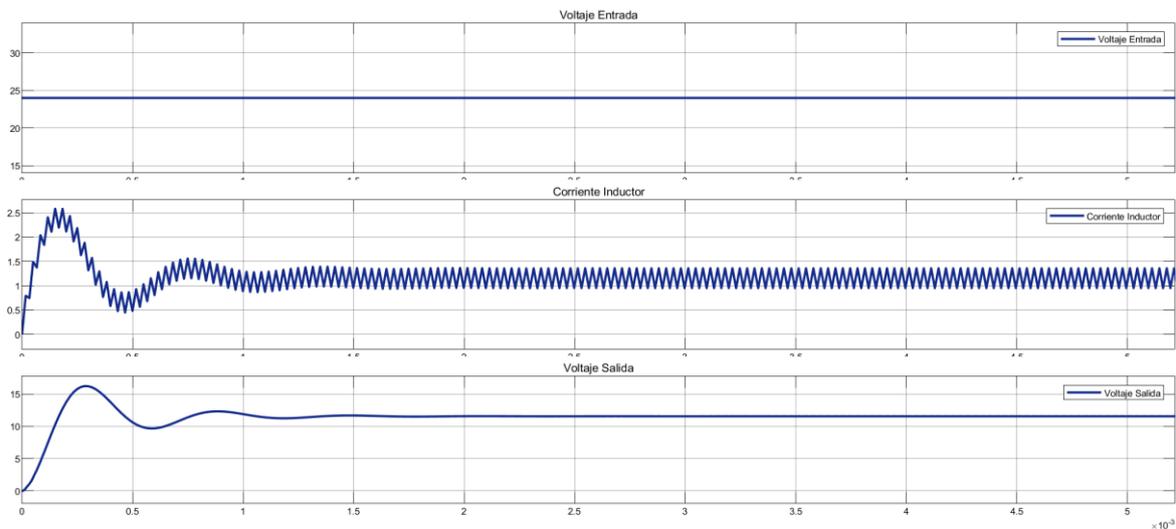


Figura 3.2. Formas del voltaje de entrada, corriente inductor y voltaje de salida del conversor DC-DC reductor.

3.1.2 Circuito esquemático regulador de carga MPPT

El circuito de control fotovoltaico diseñado en la Figura 3.3, cuenta con el regulador de carga MPPT, que es un convertidor DC-DC reductor, un inversor monofásico de medio puente, los respectivos gate drives controlados por el microcontrolador Arduino nano que se encarga de la ejecución del algoritmo de control del sistema. Tiene un regulador de voltaje de 5V para la alimentación del controlador, el sensor de corriente, los relés de protección y el display de visualización, además de contar con todos los elementos utilizados para el diseño del circuito impreso (PCB).

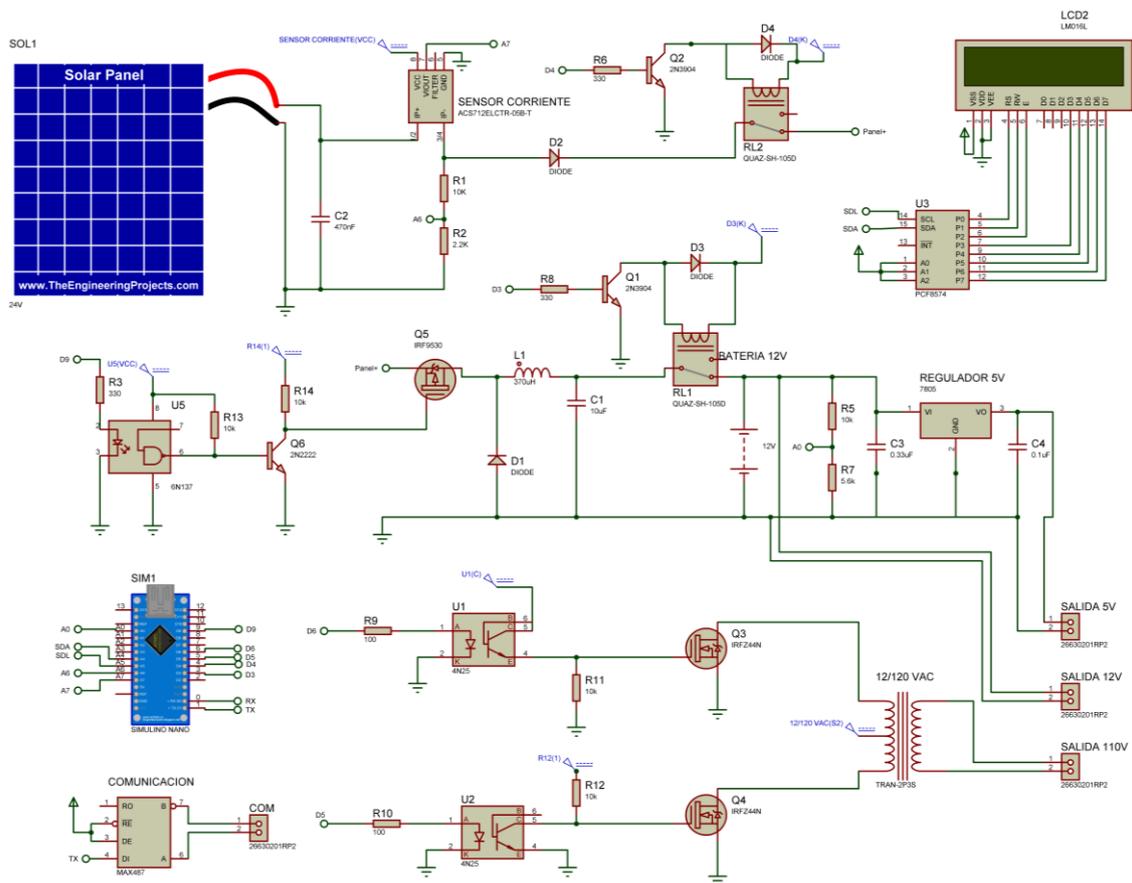


Figura 3.3 Circuito esquemático del sistema de control fotovoltaico diseñado.

3.1.3 Circuito impreso PCB

Se utilizó el software Altium Designer para el desarrollo de la PCB, en donde se tomaron algunas consideraciones para su diseño que son: referencias, distribución de sus componentes, el ancho y el trazado de las pistas tanto para control y potencia, el resultado de la PCB diseñada se puede observar en la Figura 3.4.

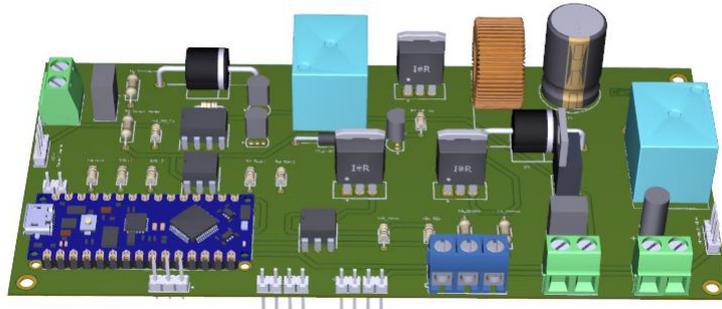


Figura 3.4. Circuito impreso (PCB) - Altium Designer.

De esta manera se montó la PCB desarrollada con los respectivos elementos dimensionados en el capítulo anterior, el resultado final se puede ver en la Figura 3.5.

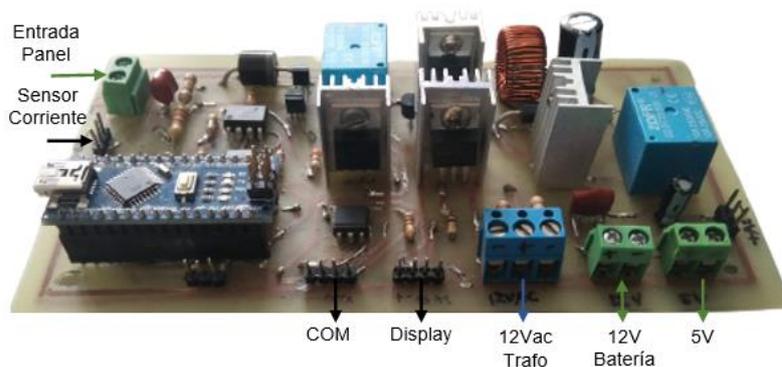


Figura 3.5. Circuito impreso implementado.

En el Anexo 10 se tiene a mayor detalle el circuito impreso que se utilizó.

3.1.4 Carcasa y Prototipo

Se realizó el diseño e impresión de una carcasa 3D para el sistema de control fotovoltaico, para esto se utilizó el software FreeCAD, considerando las diferentes entradas y salidas que posee el sistema el resultado del diseño se muestra en la Figura 3.6.

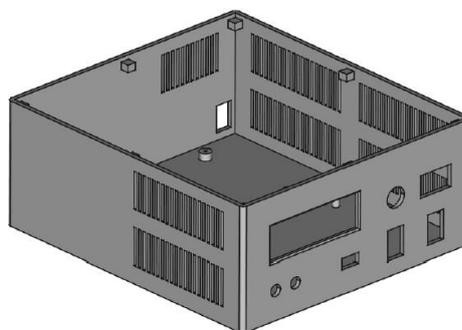


Figura 3.6. Carcasa del prototipo de control fotovoltaico (FreeCAD).

El prototipo diseñado Figura 3.7, se lo realizó de acuerdo con las especificaciones planteadas al inicio del proyecto, cuenta con una entrada para el panel fotovoltaico EXMORK 50P que será el encargado de generar la energía para cargar la batería de 12V-

5Ah, aprovechando su máxima generación por medio del algoritmo MPPT desarrollado. Tiene 2 salidas de voltaje DC de 5V y 12V para la alimentación del sistema de análisis fluviales que se compone de un sensor para medir caudal y un sistema de adquisición de datos con el cual se mantendrá comunicación para monitorear el estado de la batería, en un display LCD 16*2 se muestra el voltaje y corriente que está generando el panel solar y de igual manera el porcentaje de carga de la batería de plomo acido. Además, se incluyó en el prototipo una salida de 110VAC – 60Hz que puede ser para iluminación o un sistema de monitoreo externo de baja potencia 25W.



Figura 3.7. Prototipo del sistema fotovoltaico diseñado.

3.1.5 Obtención de la curva característica del panel

Para obtener las curvas características del panel Exmork 50P, es necesario conocer la irradiancia diaria en la ciudad de Quito, estos datos se obtuvieron de la NASA Surface Meteorological and Solar Energy (SSE) como se muestra en la Tabla 3.1. Los datos pertenecen a la semana del 1 al 5 de agosto del 2022.

Tabla 3.1. Irradiancia diaria promedio Quito [20].

Hora	Irradiancia [Wh/m ²]
07:00	133
08:00	370
09:00	579
10:00	747
11:00	859
12:00	867
13:00	749
14:00	586
15:00	453
16:00	224
17:00	140
18:00	52

Utilizando los datos que se encuentran en la Tabla 3.1, se obtuvo la curva promedio de irradiación para la ciudad de Quito como se muestra en la Figura 3.8, las horas de mayor irradiación de acuerdo con la gráfica se presentan entre las 9:00 de la mañana y 14:00 de la tarde periodo en el que se realizaron las pruebas para obtener las curvas características del panel solar. Los datos pertenecen a la semana del 1 al 5 de agosto del 2022.



Figura 3.8. Curva de irradiación promedio diaria ciudad de Quito.

La prueba se realizó cuando la irradiación es más o menos constante entre las 11:00 am y 12:00 pm teniendo su valor máximo, para esto se utilizó diferentes cargas conectadas a la salida del panel y de esta manera se observa el valor de voltaje y corriente para los diferentes valores de carga, los valores obtenidos se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Datos V-I obtenidos experimentalmente panel solar Exmork 50P.

[V]	[I]	[W]	R [Ω]
0,1896	1,896	0,359482	0,1
1,862	1,865	3,47263	0,998391
4,3395	1,835	7,962983	2,36485
4,8175	1,835	8,840113	2,625341
5,5216	1,835	10,13214	3,009046
6,6584	1,798	11,9718	3,703226
7,85	1,787	14,02795	4,392837
11,506	1,785	20,53821	6,445938
13,16	1,764	23,21424	7,460317
15,4	1,758	27,0732	8,759954
19,57	1,689	33,05373	11,58674
22,458	0,987	22,16605	22,7538
22,789	0,879	20,03153	25,92605

22,898	0,325	7,44185	70,45538
23,057	0,0987	2,275726	233,6069
23,154	0,0568	1,315147	407,6408
23,256	0,0356	0,827914	653,2584
23,6	0,0215	0,5074	1097,674

Con los datos experimentales de la Tabla 3.2 se obtienen las curvas características del panel fotovoltaico, voltaje en función de la potencia Figura 3.9 y voltaje en función de la corriente Figura 3.10.

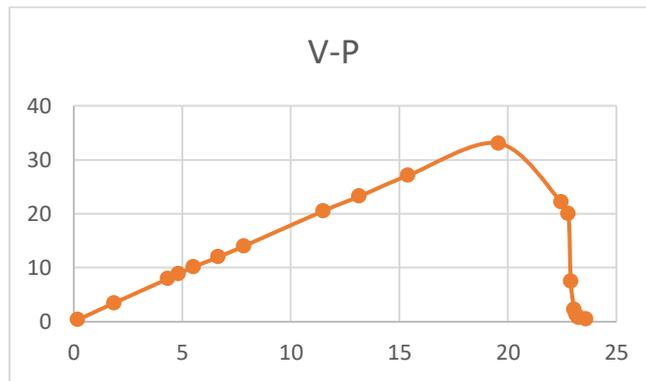


Figura 3.9. Curva característica V-P del panel solar.

Obteniendo el punto de máxima potencia entre 18V y 19V aproximadamente, el valor de la corriente dependerá del nivel de irradiancia, cabe acotar que estas pruebas se realizaron a una temperatura aproximada de 19°C, ya que el valor de la temperatura en donde se encuentre ubicado el panel también influye para su generación.

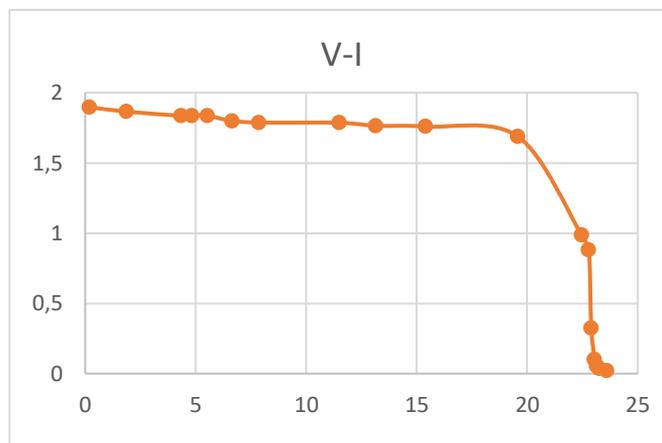


Figura 3.10. Curva característica V-I del panel solar.

3.1.6 Prueba de carga batería 12V

Se tomaron algunos datos de los valores de voltaje y corriente en la batería durante el proceso de carga, el proceso comenzó con la batería descargada con un valor de 10V y se esperaba llegar a 100% de su carga es decir hasta el voltaje de flotación que es 13.6V. El proceso de carga de la batería tomó alrededor de 6 - 7 horas, conectando el panel al regulador de carga a las 9:00 am hasta llegar a su voltaje de flotación alrededor de las 3:00 pm. Los datos obtenidos se encuentran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Proceso de carga batería 12V.

Hora	Voltaje Batería	Corriente Batería	Etapa de Carga
09:00	12,84	1,78	Bruta
09:30	12,86	1,74	Bruta
10:00	12,76	1,66	Bruta
10:30	13,08	1,66	Bruta
11:00	13,51	1,67	Bruta
11:30	13,32	1,74	Bruta
12:00	13,58	1,64	Bruta
12:30	13,85	1,35	Bruta
13:00	14,56	0,97	Absorción
13:30	14,54	0,84	Absorción
14:00	14,38	0,57	Absorción
14:30	14,23	0,25	Absorción
15:00	14,23	0,18	Absorción
15:30	13,65	0,094	Flotante
16:00	13,68	0,042	Flotante

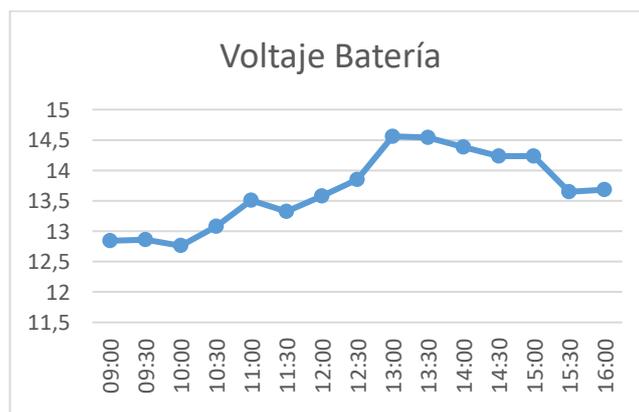


Figura 3.11. Grafica de voltaje del ciclo de carga de la batería.

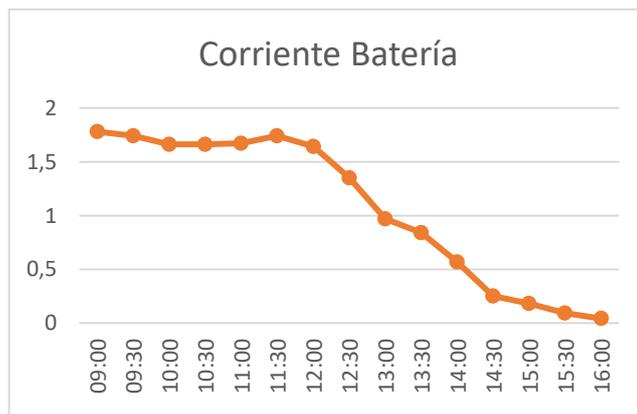


Figura 3.12. Grafica de corriente del ciclo de carga de la batería.

Utilizando los datos de la Tabla 3.3 se obtuvo la Figura 3.11 y Figura 3.12 que muestran el ciclo de carga de la batería de plomo ácido, se puede observar las diferentes etapas que le toma a la batería hasta alcanzar el 100% de carga, en un inicio se tiene un voltaje variable y una corriente casi constante de 1.8 A que es la etapa de carga bruta (Bulk), aprovechando la máxima potencia que genera el panel hasta alcanzar el 80% de la carga, una vez alcanzado el 80% empieza la etapa de absorción en donde se alcanza un voltaje de 14.6V constantes, en esta etapa la corriente tiende a disminuir hasta alcanzar el 98% de su carga, y finalmente la etapa de flotación en donde mantiene un voltaje fijo de 13.6V y una corriente muy baja esto con el fin de proteger a la batería de sobrecargas y alargar su tiempo de vida útil, todo esto se logra con el algoritmo MPPT perturbar & observar que se desarrolló variándola relación de trabajo de la señal PWM para cada etapa. El tiempo para cargar puede variar según las condiciones meteorológicas a las que se encuentre expuesto el panel, ya que depende de la irradiancia y temperatura teniendo en cuenta que estos valores no son constantes y varían en el tiempo.

3.1.7 Formas de onda del sistema

Modificando los parámetros del Timer 0 del Arduino nano se obtuvo una señal PWM de 31KHz, esta señal se encarga de hacer conmutar al MOSFET en el convertidor reductor variando su ciclo de trabajo para obtener la máxima generación de energía a través del algoritmo MPPT que se implementó. La señal de 33Khz que se genera se observa en la Figura 3.13.



Figura 3.13. Forma de onda de 33KHz disparo MOSFET conversor

De acuerdo con el diseño del prototipo se obtuvieron las señales de 5V y 12V DC para la alimentación del sistema de análisis fluviales Figura 3.14 y Figura 3.15 respectivamente, En el Anexo 11 se muestra las pruebas de alimentación al sistema de análisis fluviales.

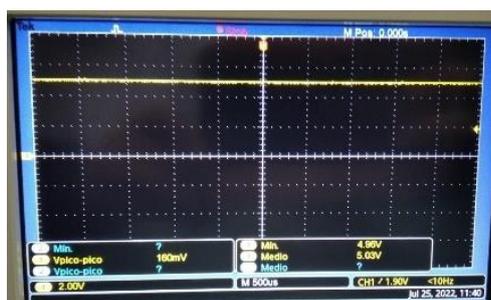


Figura 3.14. Forma de onda de la salida de 5V DC.

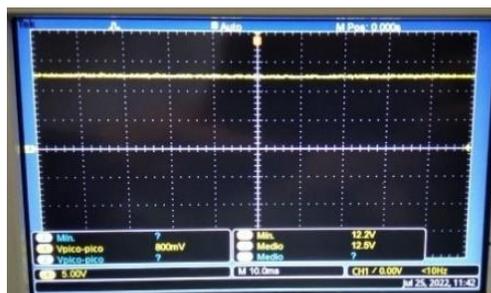


Figura 3.15. Forma de onda de la salida de 12V DC

Finalmente, se tiene la forma de onda cuadrada alterna de 110V a 60Hz que será utilizada para iluminación, la señal que se obtuvo se muestra en la Figura 3.16.



Figura 3.16. Forma de onda de la salida de 110V AC 60Hz.

3.2 Conclusiones

El proyecto desarrollado cumple con el objetivo principal que es el desarrollo de un sistema de energía y el control de carga de una batería de 12V a través de un sistema fotovoltaico de 50W aprovechando la máxima generación de energía del panel por medio del algoritmo MPPT Perturbar & Observar.

Se diseñó un convertidor DC-DC reductor con una frecuencia de conmutación de 31Khz, diseñado para reducir la tensión de salida a los valores requeridos para cargar la batería de plomo ácido de 12V, mientras que el voltaje de entrada es del panel fotovoltaico y varía de acuerdo con el nivel de irradiancia y temperatura. El diseño se ha conseguido con el voltaje de salida y las ondulaciones de corriente deseadas. El panel fotovoltaico policristalino se sometió a pruebas para obtener el rendimiento fotovoltaico y el MPP de la curva V-P.

Se implementó el algoritmo MPPT Perturbar & Observar, con el fin de aprovechar la máxima generación del panel fotovoltaico utilizando el convertidor DC-DC reductor, este algoritmo identifica el punto máximo de potencia MPP por medio de comparaciones entre el valor actual y el valor anterior de potencia y de esta forma variando el ciclo de trabajo del convertidor hace un barrido de la curva P-V del panel para encontrar el valor máximo en ese momento, obteniendo valores entre 18 y 19V en las pruebas realizadas.

Durante el proceso de carga se comprobó la funcionalidad del regulador de acuerdo al algoritmo desarrollado, la etapa de carga bruta, de absorción y la etapa final de flotación, obteniendo de manera experimental su curva de carga, validando el prototipo para su posterior uso en la alimentación del sistema de análisis fluviales, en donde se logró de manera eficiente la alimentación del sensor de caudal de 12V y del sistema de adquisición de datos de 5V, con una autonomía de 1 día de acuerdo con los requerimientos de diseño en el capítulo 2.

La ubicación geográfica del Ecuador permite la viabilidad de este tipo de proyectos fotovoltaicos, debido a que el recurso solar se encuentra presente durante todo el año. Específicamente en Quito se tienen valores de irradiancia promedio de 4.11 KWh/m² anuales.

3.3 Recomendaciones

Considerar la ubicación geográfica y las condiciones climáticas existentes en el área que en el que se va a implementar el proyecto, ya que los parámetros de irradiancia y temperatura son primordiales al momento de comenzar con el diseño.

Si el sistema requiere una mayor autonomía se recomienda realizar los cálculos respectivos para dimensionar el número de baterías necesarias dependiendo de la potencia que se quiera alimentar y el número de días de autonomías que se necesiten.

Existen diferentes métodos para ubicar el punto de máxima potencia MPPT en un panel solar, la selección del algoritmo dependerá de la aplicación en la que se quiera implementar, así como la eficiencia que se busca y de los recursos que se dispongan para su aplicación.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARCONEL, "Ecuador posee un 51,78% de energía renovable," Nov. 2015.
<https://www.regulacionelectrica.gob.ec/ecuador-posee-un-5155-de-energia-renovable/>
(accessed Jun. 22, 2022).
- [2] W. Xiao, *Photovoltaic power system : modelling, design and control*, University of Sydney., vol. 1. Sydney: John Wiley & Sons Ltd, 2017.
- [3] A. Bhatia, "Design and Sizing of Solar Photovoltaic Systems," New Jersey, 2008.
- [4] Carles Rabada, "Diferencias entre la energía solar térmica y la fotovoltaica," 2020.
<https://becquel.com/blog/es/diferencias-entre-la-energia-solar-termica-y-la-fotovoltaica/>
(accessed Jun. 22, 2022).
- [5] O. Perpiñán Lamigueiro, A. Colmenar Santos, and M.-A. Castro Gil, *Diseño de sistemas fotovoltaicos*. PROGENSA, 2012.
- [6] E. Avalos, "Sistema Fotovoltaico," Mexico, 2016.
- [7] G. Chinmay and B. Bipin, "DESIGN AND ANALYSIS OF STANDALONE PV SYSTEM," Rourkela, May 2015.
- [8] J. Xavier and I. Quishpe, "ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL CAMPUS DE LA ESCUELA TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO," Quito, Feb. 2020.
- [9] U. Uknowledge and O. M. Akeyo, "ANALYSIS AND SIMULATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS ANALYSIS AND SIMULATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS INCORPORATING BATTERY ENERGY STORAGE," *University of Kentuck*, 2017, doi: 10.13023/ETD.2017.370.
- [10] E. Marcelo, B. Farías, H. Patricio, and R. Morales, "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REGULACIÓN PARA EL SEGUIMIENTO DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA EN PANELES

FOTOVOLTAICOS PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL,” Quito, Dec. 2010.

- [11] E. Y. Control Daniel Patricio Benalcázar Villavicencio and A. Alexandra Guerra Veloz, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA UTILIZANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN,” Quito, Feb. 2012.
- [12] L. Gómez, W. Guacaneme, A. Rodríguez, F. Santamaría, and C. Trujillo, “Diseño de un regulador de carga para aplicación en una micro red aislada con generación fotovoltaica,” *Scientia et Technica Año XXIII*, vol. 23, no. 02, Jun. 2018.
- [13] A. K. Podder, N. K. Roy, and H. R. Pota, “MPPT methods for solar PV systems: A critical review based on tracking nature,” *IET Renewable Power Generation*, vol. 13, no. 10. Institution of Engineering and Technology, pp. 1615–1632, Jul. 29, 2019. doi: 10.1049/iet-rpg.2018.5946.
- [14] C. Lucero and I. Merchan, “DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE CARGADOR DE BATERÍAS FOTOVOLTAICO CON MPPT,” UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, Quito, 2020.
- [15] S. Roberts, “DC/DC BOOK OF KNOWLEDGE Practical tips for the User,” 2016.
- [16] R. Gallardo, S. Placenci, and L. Gonzalez, “Diseño de un cargador de baterías en aplicaciones de energía solar,” Oct. 2014.
- [17] EXMORK, “PANELES SOLARES 50P.”
- [18] CONELEC, “ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA,” Quito, Aug. 2008.
- [19] Urdiales Luis and Espinoza Juan, “Energía Solar en el Ecuador,” Cuenca , Dec. 2015.
- [20] NASA, “Surface Meteorological and Solar Energy (SSE) ,” Jul. 01, 2022.
- [21] A. A. Khamisani Advisors, P. Ping Liu, J. Cloward, and R. Bai, “Design Methodology of Off-Grid PV Solar Powered System (A Case Study of Solar Powered Bus Shelter),” 2017.
- [22] R. Muhammad, *Electronica de potencia Circuitos, dispositivos y aplicaciones*, 2nd ed., vol. segunda. Mexico, 1993.
- [23] C. Blake and C. Bull, “IGBT or MOSFET: Choose Wisely.”
- [24] A. M. T. I. Al-Naib, “FPGA Based Three-Phase Sinusoidal PWM Control for Voltage Source Inverter Fed IM Power factor improvement by using fact svc View project H-index View project,” 2018. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/326065406>
- [25] R. Kansagara, “Inversor monofásico de medio puente y puente completo con MATLAB,” Jan. 04, 2019. <https://circuitdigest.com/electronic-circuits/single-phase-half-bridge-and-full-bridge-inverter-circuit-using-matlab> (accessed Jul. 12, 2022).
- [26] Arduino®, “Manual Referencia Arduino® Nano,” 2022.

5. ANEXOS

ANEXO I

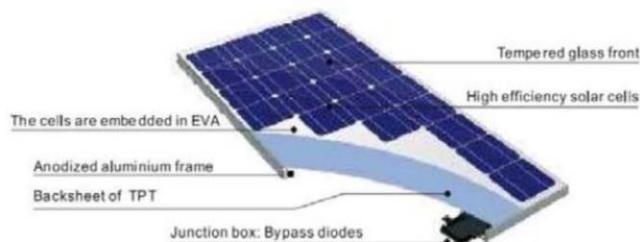
EXMORK

艾莫克新能源

PANELES SOLARES 50P



- ✓ Por mas de 10 años Exmork esta especializado en productos de energía renovable. Nos sentimos responsables de los productos que vendemos ofreciendo un excelente servicio post venta.
- ✓ Para nuestros paneles fotovoltaicos estamos utilizando células de alto rendimiento de Sun Tech: Excelente calidad a un precio muy económico: Energía Renovable no tiene que costar el mundo!
- ✓ Los células se encuentran encapsuladas en una base de acetato de vinilo etilénico con fluoruro de polivinilo con una cubierta de vidrio templado, para brindarles la máxima protección en las condiciones ambientales severas.
- ✓ En conjunto con el excelente terminado de los módulos esta avanzada tecnología permite que los módulos solares poli cristalinos llegaran a un rendimiento energético mayor a 14%.
- ✓ El panel se complementa con una caja de conexión con certificación TÜV para minimizar problemas eléctricos.



ESPECIFICACIONES TECNICAS:

Parámetros	Tipo	50P
		Silicio Poli cristalino
Potencia máxima (watt)	W	50
Tolerancia de potencia		+3% /-3%
Voltaje óptima (Vmp)	V	17.5V
Corriente óptima (Imp)	A	2.86A
Voltaje máxima (Voc)	V	22.0V
Corriente máxima (Isc)	A	3.07A
Dimensiones		670*620*35mm
Marco (tipo, material y grosor)		Aluminium anodizado. Alloy 35mm
Voltaje máxima externa permitida		600V
Coeficiente de temperatura de Isc		±0.05%
Coeficiente de temperatura de Voc		-0.33%
Coeficiente de temperatura de P		-0.23%
Coeficiente de temperatura de Imp		+0.08%
Coeficiente de temperatura de Vmp		-0.33%
Resistencia a cargas mecánicas		200kg/m2
Eficiencia de conversión		> 15.75%

Nota: Las especificaciones eléctricas indicadas corresponden a condiciones normalizadas de pruebas: 1 KV/m2, masa de aire: 1.5 y células 25°C.

GARANTIAS:

Garantía Técnica por defectos de fabricación: 2 años
Garantía de Rendimiento por degradación de potencia: 10 años a 90%,
25 años a 85%



For over 10 years we have been specializing in wind and water power products. We service everything we sell. Scores of companies come and go, but we have consistently been in the market to take care of our customers.

ANEXO II

BATERIA SELLADA 12V-5AH REF. FL1250GS



Especificaciones



Voltaje Nominal	12V
Capacidad Nominal (20 Hr)	5.0 Ah
Dimensiones	Longitud 90±2mm (3.54 ") Ancho 70±1mm (2.76 ") Altura 101±2mm (3.98 ") Altura Total 107±2mm (4.21 ")
Peso Aproximado	Aprox. 1.69 kg (3.72 lbs)
Terminal	T1/T2-F1/F3
Material del Envase	ABS UL 94-HB (retardante de llama UL94V-0)
Rango de Operación	5.40 AH/0.27A (20hr, 1.80V/Celda, 25° C / 77°F) 5.02 AH/0.502A (10hr, 1.80V/Celda, 25° C / 77°F) 4.54 AH/0.907A (5hr, 1.75V/Celda, 25° C / 77°F) 2.80 AH/5.40A (1C, 1.60V/Celda, 25° C / 77°F) 1.80 AH/16.2A (3C, 1.60V/Celda, 25° C / 77°F)
Máxima Corriente de Descarga	135A(5s)
Resistencia Interna	Aprox. 34mΩ
Rango de Temperatura de Operación	Descarga -15-50°C (5-122°F) Carga -15-40°C (5-104°F) Almacenamiento -15-40°C (5-104°F)
Rango Nominal de Temp. de Operación	25±3°C (77±5°F)
Ciclo de Uso	Corriente de carga inicial de menos de 1.62A. Voltage. 14.4V ~ 15.0V a 25° C (77° F) de temperatura. Coeficiente -30mV / °C
Modo Espera	No hay límite en la carga inicial de tensión actual. 13.5V ~ 13.8V a 25°C (77° F) Temp. Coeficiente -20mV / °C
Capacidad Afectada por la temperatura	40°C (104°F) 103% 25°C (77°F) 100% 0°C (32°F) 86%
Auto- descarga	Las Baterías de la serie FuliBattery GS se pueden almacenar durante un máximo de 6 meses a 25°C (77°F) y luego se requiere una carga de reposición. Para temperaturas más altas del intervalo de tiempo será más corto.

Aplicaciones

- De uso múltiple.
- Fuente de alimentación. Ininterrumpida (UPS).
- Sistema de potencia Eléctrica (EPS).
- Alimentación de reserva de emergencia.
- Luz de emergencia.
- Señal ferroviaria.
- Señal de aeronaves.
- Alarma y sistema de seguridad.
- Aparatos y equipos electrónicos.
- Fuente de alimentación comunicación.
- Fuente de alimentación DC.
- Sistema de control automático.

Corriente Constante de Descarga (Amperios) a 25 °C (77 °F)

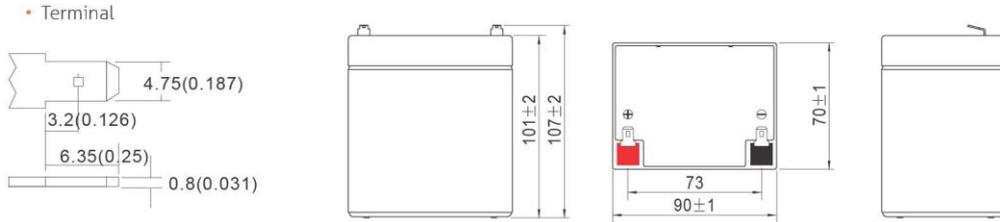
V/Tiempo	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/Celda	16.6	12.7	10.2	8.86	6.52	4.78	3.82	2.21	1.67	1.37	1.16	1.00	0.796	0.670	0.355
1.80V/Celda	19.8	14.0	11.3	9.52	7.00	5.07	4.06	2.32	1.72	1.41	1.20	1.03	0.814	0.684	0.360
1.75V/Celda	22.1	15.3	12.1	10.01	7.30	5.25	4.17	2.40	1.77	1.44	1.22	1.05	0.828	0.694	0.367
1.70V/Celda	24.1	16.4	12.9	10.52	7.57	5.41	4.30	2.45	1.81	1.47	1.24	1.06	0.840	0.704	0.372
1.65V/Celda	26.2	17.3	13.5	11.0	7.80	5.52	4.37	2.49	1.84	1.49	1.26	1.08	0.850	0.711	0.375
1.60V/Celda	27.6	18.0	13.9	11.2	7.93	5.62	4.44	2.53	1.87	1.51	1.28	1.09	0.858	0.717	0.378

Potencia Constante de Descarga (Wattios/celda) a 25 °C (77°F)

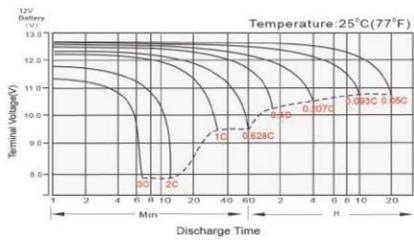
V/Tiempo	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/Celda	31.5	24.2	19.7	17.3	12.8	9.42	7.56	4.40	3.33	2.74	2.32	2.02	1.61	1.333	0.721
1.80V/Celda	37.2	26.7	21.8	18.4	13.7	9.95	8.02	4.61	3.43	2.81	2.37	2.06	1.64	1.355	0.728
1.75V/Celda	41.1	28.9	23.1	19.3	14.2	10.3	8.22	4.74	3.51	2.87	2.42	2.10	1.66	1.372	0.740
1.70V/Celda	44.5	30.7	24.4	20.2	14.7	10.6	8.45	4.84	3.58	2.92	2.45	2.12	1.68	1.386	0.746
1.65V/Celda	47.8	32.1	25.4	21.0	15.0	10.7	8.54	4.89	3.63	2.96	2.48	2.15	1.70	1.398	0.751
1.60V/Celda	49.8	33.0	25.9	21.2	15.2	10.8	8.63	4.95	3.67	2.98	2.51	2.16	1.71	1.406	0.755

www.fulibattery.co

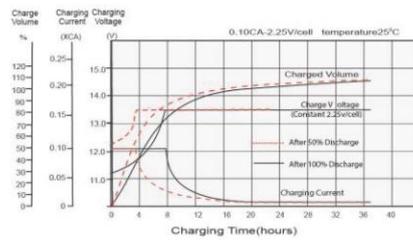
Dimensiones (mm)



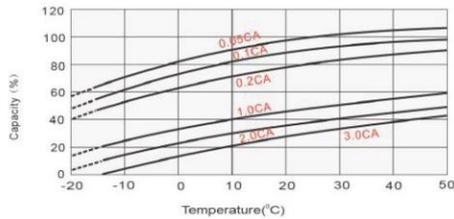
Características de Descarga



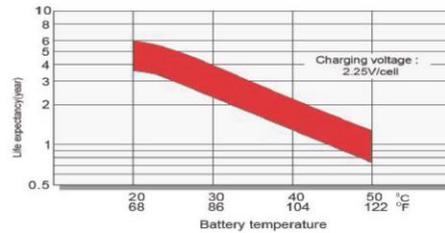
Características de Carga en flotación



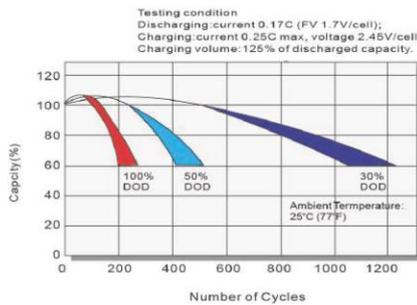
Efectos de la temperatura en relación con la capacidad de la batería



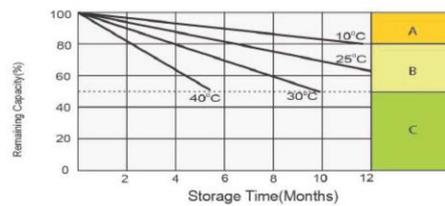
Efecto de la temperatura sobre la vida útil de la batería en flotación



Ciclo de vida en relación a la profundidad de descarga



Características de Auto-descarga



- A** No requiere carga suplementaria (Realizar la carga suplementaria antes de usar si se requiere el 100% capacidad).
- B** Se requiere carga suplementaria antes usar: Opciones de Carga:
1. Carga durante 3 días con una corriente constante 0.25CA y un Voltaje constante 2.25V / celda.
2. Carga durante 20 horas con una corriente constante 0.25CA y un Voltaje constante 2.25V / celda.
3. Carga durante 8-10 horas con una corriente limitada 0.05CA.
- C** Después de realizar cargas suplementarias es difícil recuperar la capacidad de la batería. La batería no debe almacenarse por periodos prolongados de tiempo.

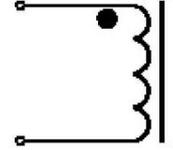
ANEXO III

Inductor

multicomp PRO



Schematic Diagram

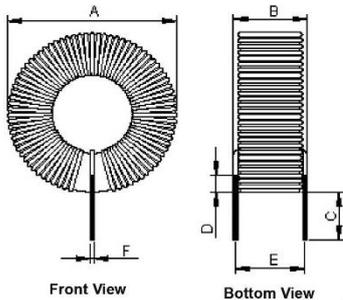


**RoHS
Compliant**

Note:

1. Wire UEFN/U Ø1mm (155°C)
2. 77TS (Reference) C.W

Configurations and Dimensions



A	43mm (Max.)
B	16mm (Max.)
C	12.5 ±1mm
D	1mm (Min.)
E	13.5 ±1.5mm
F	1 ±0.1mm

Test Data for Mechanical

Test Item	A mm	B mm	C mm	D mm	E mm	F mm
Specification	43 (Max.)	16 (Max.)	12.5 ±1	1 (Min.)	13.5 ±1	1 ±0.1
1	41.62	14.57	12.59	1.75	13.78	1.01
2	41.72	14.6	12.38	1.8	13.82	1.01
3	41.82	14.62	13.01	1.54	13.88	1
4	41.9	14.59	12.75	1.68	13.82	1.02
5	41.75	14.62	13.02	1.75	13.74	1.01
Average	41.76	14.6	12.75	1.7	13.81	1.01

Electrical Characteristics

Test Condition		
10kHz / 5mA	L	560µH ±15%
T _A = 25°C	DCR	77mΩ ±10% (Max.)
10kHz / 5mA I _{rms} = 10A	ΔT	Temperature rise 40°C (Max.)

Operating temperature : -55°C to +130°C

Newark.com/multicomp-pro
Farnell.com/multicomp-pro
Element14.com/multicomp-pro

multicomp PRO

ANEXO IV

MBR340

Preferred Device

Axial Lead Rectifier

This device employs the Schottky Barrier principle in a large area metal-to-silicon power diode. State-of-the-art geometry features epitaxial construction with oxide passivation and metal overlap contact. Ideally suited for use as rectifiers in low-voltage, high-frequency inverters, free wheeling diodes, and polarity protection diodes.

Features

- Extremely Low V_F
- Low Power Loss/High Efficiency
- Highly Stable Oxide Passivated Junction
- Low Stored Charge, Majority Carrier Conduction
- Pb-Free Packages are Available*

Mechanical Characteristics:

- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 1.1 Gram (Approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead Temperature for Soldering Purposes: 260°C Max. for 10 Seconds
- Polarity: Cathode indicated by Polarity Band

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Max	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	40	V
Average Rectified Forward Current $T_A = 65^\circ\text{C}$ ($R_{\theta JA} = 28^\circ\text{C/W}$, P.C. Board Mounting)	I_O	3.0	A
Non-Repetitive Peak Surge Current (Note 1) (Surge Applied at Rated Load Conditions Halfwave, Single Phase, 60 Hz, $T_L = 75^\circ\text{C}$)	I_{FSM}	80	A
Operating and Storage Junction Temperature Range (Reverse Voltage Applied) (Note 2)	T_J, T_{stg}	-65 to +175	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Rating	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (see Note 5, Mounting Method 3)	$R_{\theta JA}$	28	$^\circ\text{C/W}$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

1. Lead Temperature reference is cathode lead 1/32 in from case.
2. The heat generated must be less than the thermal conductivity from Junction-to-Ambient: $dP_D/dT_J < 1/R_{\theta JA}$.

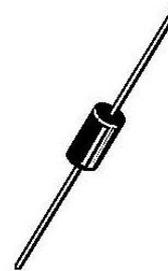
*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

SCHOTTKY BARRIER
RECTIFIER
3.0 AMPERES, 40 VOLTS



AXIAL LEAD
CASE 267-05
(DO-201AD)
STYLE 1

MARKING DIAGRAM



A = Assembly Location
YY = Year
WW = Work Week
▪ = Pb-Free Package
(Note: Microdot may be in either location)

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
MBR340	Axial Lead	500 Units / Bag
MBR340G	Axial Lead (Pb-Free)	500 Units / Bag
MBR340RL	Axial Lead	1500/Tape & Reel
MBR340RLG	Axial Lead (Pb-Free)	1500/Tape & Reel

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

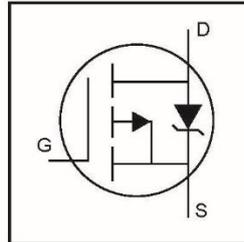
Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

ANEXO V

IRF9530N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- P-Channel
- Fully Avalanche Rated



$$V_{DSS} = -100V$$

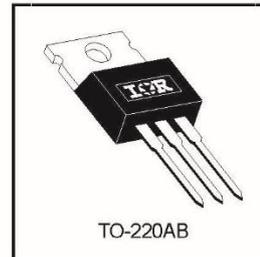
$$R_{DS(on)} = 0.20\Omega$$

$$I_D = -14A$$

Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-14	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-10	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	-56	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	79	W
	Linear Derating Factor	0.53	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	250	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	-8.4	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	7.9	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	-5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.9	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

5/13/98

ANEXO VI



6N137, CT2601

10MBit/s High Speed Logic Gate Optocoupler

Features

- High speed 10MBit/s
- High isolation voltage between input and output (Viso=5000 Vrms)
- Guaranteed performance from -40°C to 85°C
- Wide operating temperature range of -55°C to 100°C
- Regulatory Approvals
 - UL - UL1577 (E364000)
 - VDE - EN60747-5-5(VDE0884-5)
 - CQC - GB4943.1, GB8898
 - IEC60065, IEC60950

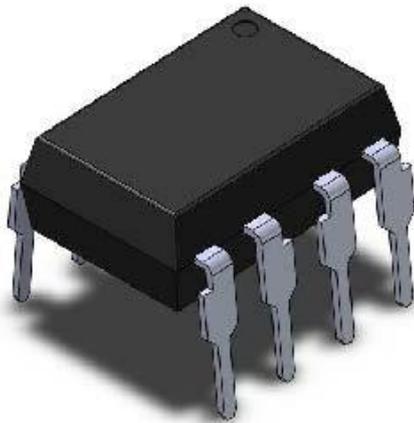
Description

The 6N137, CT2601 optocouplers consist of a 850 nm AlGaAs LED, optically coupled to a very high speed integrated photo-detector logic gate with a strobable output. This output features an open collector, there by permitting wired OR outputs. The switching parameters are guaranteed over the temperature range of -40°C to +85°C. A maximum input signal of 5mA will provide a minimum output sink current of 13mA (fan out of 8).

Applications

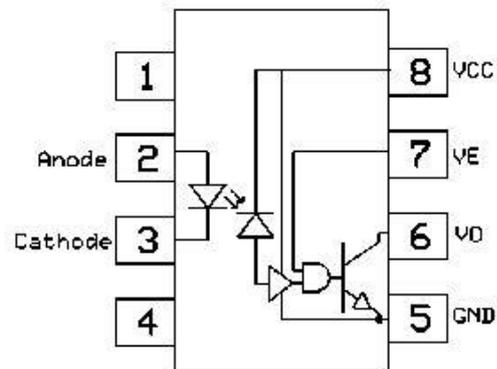
- Line receivers
- Telecommunication equipment
- Feedback loop in switch-mode power supplies
- Home appliances

Package Outline



Note: Different lead forming options available. See package dimension.

Schematic



ANEXO VII

Philips Semiconductors

Product specification

N-channel enhancement mode TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

GENERAL DESCRIPTION

N-channel enhancement mode standard level field-effect power transistor in a plastic envelope using 'trench' technology. The device features very low on-state resistance and has integral zener diodes giving ESD protection up to 2kV. It is intended for use in switched mode power supplies and general purpose switching applications.

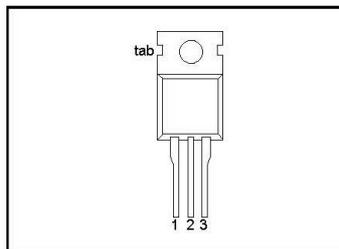
QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	UNIT
V_{DS}	Drain-source voltage	55	V
I_D	Drain current (DC)	49	A
P_{tot}	Total power dissipation	110	W
T_j	Junction temperature	175	°C
$R_{DS(ON)}$	Drain-source on-state resistance $V_{GS} = 10\text{ V}$	22	mΩ

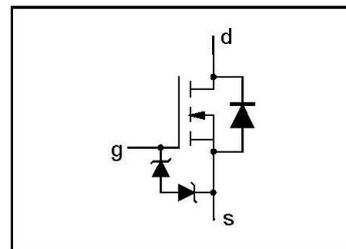
PINNING - TO220AB

PIN	DESCRIPTION
1	gate
2	drain
3	source
tab	drain

PIN CONFIGURATION



SYMBOL



LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DS}	Drain-source voltage	-	-	55	V
V_{DGR}	Drain-gate voltage	$R_{GS} = 20\text{ k}\Omega$	-	55	V
$\pm V_{GS}$	Gate-source voltage	-	-	20	V
I_D	Drain current (DC)	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	49	A
I_D	Drain current (DC)	$T_{mb} = 100\text{ }^\circ\text{C}$	-	35	A
I_{DM}	Drain current (pulse peak value)	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	160	A
P_{tot}	Total power dissipation	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	110	W
T_{stg}, T_j	Storage & operating temperature	-	-55	175	°C

ESD LIMITING VALUE

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_C	Electrostatic discharge capacitor voltage, all pins	Human body model (100 pF, 1.5 kΩ)	-	2	kV

THERMAL RESISTANCES

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{th-j-mb}$	Thermal resistance junction to mounting base	-	-	1.4	K/W
R_{th-j-a}	Thermal resistance junction to ambient	in free air	60	-	K/W

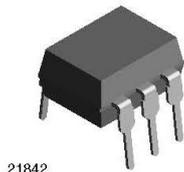
ANEXO VIII

4N25, 4N26, 4N27, 4N28

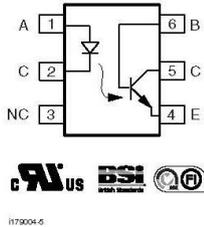
Vishay Semiconductors



Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21842



FEATURES

- Isolation test voltage 5000 V_{RMS}
- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pin package
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS COMPLIANT

APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

AGENCY APPROVALS

- UL1577, file no. E52744
- BSI: EN 60065:2002, EN 60950:2000
- FIMKO: EN 60950, EN 60065, EN 60335

DESCRIPTION

The 4N25 family is an industry standard single channel phototransistor coupler. This family includes the 4N25, 4N26, 4N27, 4N28. Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

ORDER INFORMATION	
PART	REMARKS
4N25	CTR > 20 %, DIP-6
4N26	CTR > 20 %, DIP-6
4N27	CTR > 10 %, DIP-6
4N28	CTR > 10 %, DIP-6

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ⁽¹⁾				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT				
Reverse voltage		V _R	5	V
Forward current		I _F	60	mA
Surge current	t ≤ 10 μs	I _{FSM}	3	A
Power dissipation		P _{diss}	100	mW
OUTPUT				
Collector emitter breakdown voltage		V _{CEO}	70	V
Emitter base breakdown voltage		V _{EBO}	7	V
Collector current		I _C	50	mA
	t ≤ 1 ms	I _C	100	mA
Power dissipation		P _{diss}	150	mW

ANEXO IX

ACS712 Current Sensor

Basic Overview



The ACS712 Current Sensors offered on the internet are designed to be easily used with micro controllers like the Arduino.

These sensors are based on the Allegro ACS712ELC chip.

These current sensors are offered with full scale values of 5A, 20A and 30A.

The basic functional operation of each of these devices is identical. The only difference is with the scale factor at the output as detailed below.

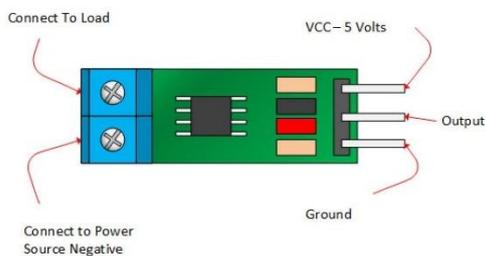
Sensor Specifications

	5A Module	20A Module	30A Module
Supply Voltage (VCC)	5Vdc Nominal	5Vdc Nominal	5Vdc Nominal
Measurement Range	-5 to +5 Amps	-20 to +20 Amps	-30 to +30 Amps
Voltage at 0A	VCC/2 (nominally 2.5Vdc)	VCC/2 (nominally 2.5Vdc)	VCC/2 (nominally 2.5VDC)
Scale Factor	185 mV per Amp	100 mV per Amp	66 mV per Amp
Chip	ACS712ELC-05A	ACS712ELC-10A	ACS712ELC-30A

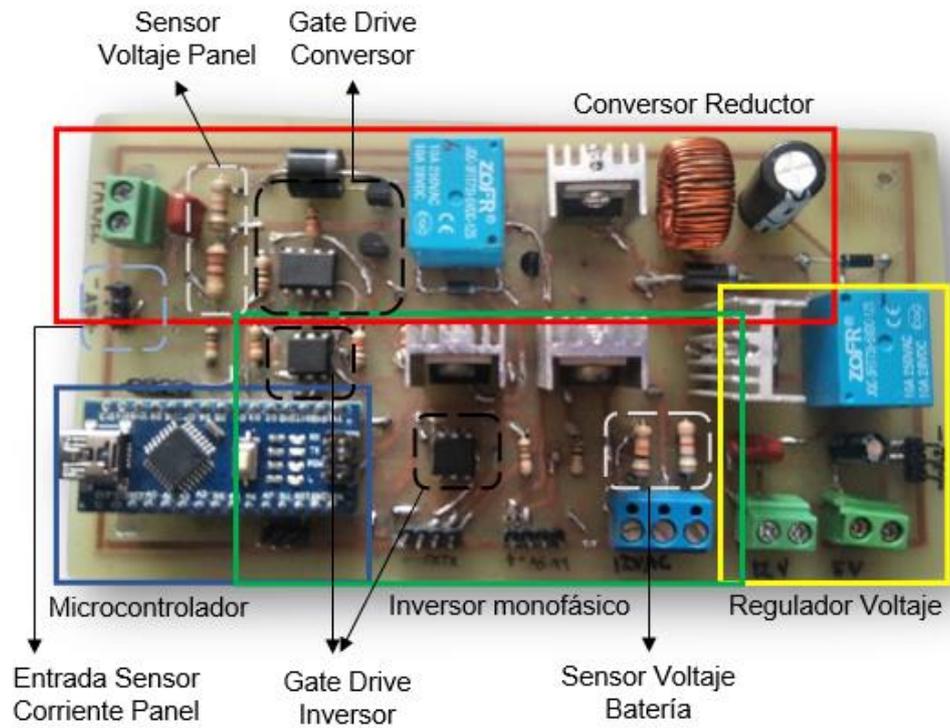
ACS712 Module Pin Outs and Connections

The picture below identifies the pin outs for the ACS712 Modules.

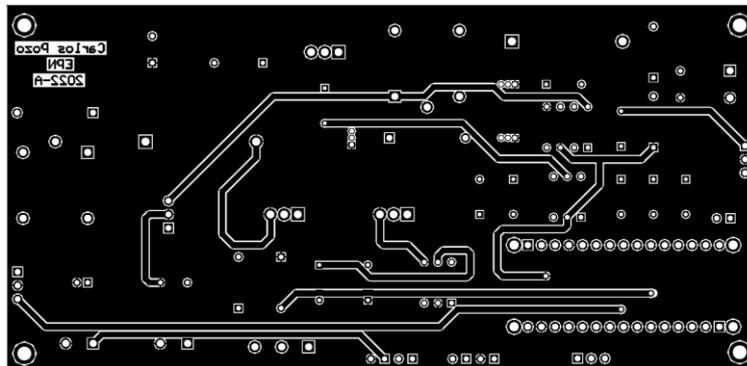
Pay attention to the polarity at the load end of the device. If you are connected as illustrated below, the output will raise. If you connect it opposite of this picture, the output will decrease from the 2.5 volt offset.



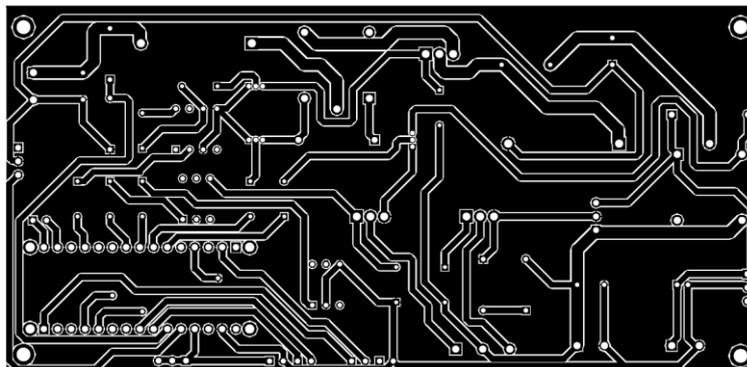
ANEXO X



PCB Vista Superior



PCB Vista Inferior



ANEXO XI

Pruebas de Alimentación del Sistema de Análisis Fluviales.



ANEXO XII

MANUAL DE USO



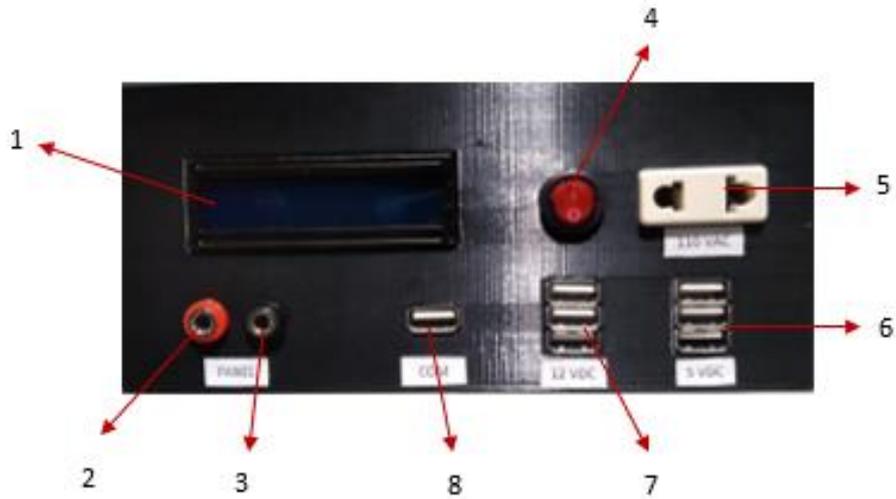
Características Técnicas

Voltaje nominal	12 [V]
Potencia máxima panel	50 [W]
Voltaje máximo panel	21.94 [V]
Voltaje batería	12 [V]
Capacidad batería	5 [Ah]
Capacidad regulador de carga	3.12 [A]

Descripción general

- Este regulador de carga monitorea la energía que genera el panel solar, realizando un seguimiento del punto de máxima generación, permitiendo cargar la batería con la potencia máxima del panel fotovoltaico.
- Dispone de un display LCD, donde se puede observar la energía generada por el panel solar y el estado de carga de la batería.
- Cuenta con 2 salidas de tipo continua de 12 V y 5 V, además de una salida alterna de 110V 60Hz.
- Posee un puerto de comunicación serial para mantener constante comunicación con un sistema externo de monitoreo.

Vista frontal



N°	Descripción	N°	Descripción
1	Pantalla LCD	5	1 salida alterna 110 V
2	Conector positivo panel	6	3 salidas continua tipo USB 5V
3	Conector negativo panel	7	3 salidas continua tipo USB 12V
4	Interruptor on/off para habilitar salida alterna	8	Puerto de comunicación.

Vista posterior



N°	Descripción
9	Interruptor encendido/apagado del sistema

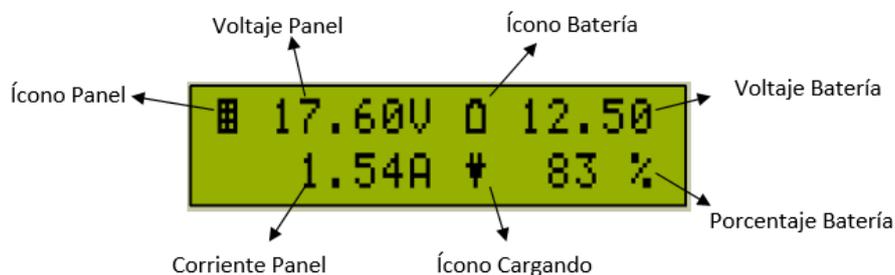
Instalación

- Durante la instalación de la batería tener mucho cuidado con objetos metálicos cerca de sus terminales para evitar cortocircuitos innecesarios.
- Al momento en que la batería se encuentra cargando, asegurarse que se encuentre en un ambiente ventilado.
- Evitar su instalación en lugares expuestos a la luz directa y en ambientes con altas temperaturas o agua.
- Asegurarse que las terminales positivo - negativo del panel estén bien conectadas a las terminales y que los cables estén sujetos correctamente.
- El sistema se dimensiono para baterías de plomo ácido de 12 V específicamente.

Funcionamiento y Pantalla LCD

El prototipo cuenta con una entrada para el panel fotovoltaico EXMORK 50P que es el encargado de proporcionar la energía necesaria para cargar una batería de plomo ácido de 12V-5Ah, aprovechando la máxima generación del panel por medio de un algoritmo MPPT y un convertor DC-DC reductor. Cuenta con 2 salidas de voltaje DC de 5V y 12V tipo USB y un puerto USB para comunicación serial, en el display LCD 16*2 se va a mostrar el voltaje y corriente que está generando el panel solar y el estado de carga de la batería. Adicionalmente tiene una salida de 110VAC – 60Hz de baja potencia de 25W que se obtiene utilizando un transformador de 12 a 110V.

Pantalla carga de la batería



Pantalla descarga de la batería

