



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

### **CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

#### **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROLADOR DE CARGA PARA OPTIMIZAR UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED UTILIZANDO UN MICROCONTROLADOR”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**AUTORES:**

MENTOR PAUL CRUZ CANDO

FLAVIO KEVIN JARAMILLO TINITANA

Riobamba-Ecuador

2021



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

### **CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

#### **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROLADOR DE CARGA PARA OPTIMIZAR UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED UTILIZANDO UN MICROCONTROLADOR”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**AUTORES:** MENTOR PAUL CRUZ CANDO

FLAVIO KEVIN JARAMILLO TINITANA

**DIRECTORA:** Ing. Mayra Alejandra Pacheco Cunduri

Riobamba-Ecuador

2021

**©2021, Mentor Paul Cruz Cando, Flavio Kevin Jaramillo Tinitana.**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Mentor Paul Cruz Cando y Flavio Kevin Jaramillo Tinitana, declaramos que el presente trabajo, es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 5 de febrero de 2021.

**Mentor Paul Cruz Cando**

**1804361358-**

**Flavio Kevin Jaramillo Tinitana**

**0706015880-**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Dispositivo tecnológico, **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROLADOR DE CARGA PARA OPTIMIZAR UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED UTILIZANDO UN MICROCONTROLADOR”**, realizado por los señores: **MENTOR PAUL CRUZ CANDO y FLAVIO KEVIN JARAMILLO TINITANA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Julio Roberto Santillán Castillo <b>VICEDECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA</b>	_____	_____
Ing. Wilson Armando Zúñiga Vinuesa <b>DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES</b>	_____	_____
Ing. Mayra Alejandra Pacheco Cunduri <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	_____
Ing. Mónica Andrea Zabala Haro <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____

## **DEDICATORIA**

A mis padres Mentor y Rosa, hermanos Marco, Verónica y José por todo su esfuerzo y su amor incondicional a lo largo de este camino.

Mentor

A mis padres Flavio y Carmen, hermanos Nery y Julio, por todo su esfuerzo y su amor incondicional.

Flavio

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme guiado y acompañado a lo largo de mi carrera, por ser la mayor fortaleza en los momentos de debilidad, a mi familia quienes de una u otra manera han contribuido a la realización de mi trabajo de titulación, por haberme dado su fuerza y apoyo incondicional, me han ayudado a llegar hasta donde estoy ahora, logrando cumplir mi meta. Gracias a todos.

Mentor

Agradezco a Dios por haberme guiado y acompañado a lo largo de mi carrera, por ser la mayor fortaleza en los momentos de debilidad, a mi familia quienes de una u otra manera han contribuido a la realización de mi trabajo de titulación, por haberme dado su fuerza y apoyo incondicional, me han ayudado a llegar hasta donde estoy ahora, logrando cumplir mi meta. Gracias a todos.

Flavio

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xv
INDICE DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

## CAPÍTULO I

<b>1</b>	<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1</b>	<b>Generalidades.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2</b>	<b>Energía solar.....</b>	<b>10</b>
<i>1.2.1</i>	<i>Energía solar fotovoltaica.....</i>	<i>10</i>
<b>1.3</b>	<b>Sistema Fotovoltaico (SFV).....</b>	<b>10</b>
<i>1.3.1</i>	<i>Elementos de SFVA.....</i>	<i>12</i>
<i>1.3.1.1</i>	<i>Celdas solares.....</i>	<i>12</i>
<i>1.3.1.2</i>	<i>Panel solar.....</i>	<i>13</i>
<i>1.3.1.3</i>	<i>Controlador de carga.....</i>	<i>15</i>
<i>1.3.1.4</i>	<i>Inversor.....</i>	<i>16</i>
<i>1.3.1.5</i>	<i>Batería.....</i>	<i>17</i>
<i>1.3.1.6</i>	<i>Cableado Eléctrico.....</i>	<i>21</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Dimensionamiento de SFVA.....</i>	<i>21</i>
<b>1.4</b>	<b>Controlador de carga.....</b>	<b>24</b>
<i>1.4.1</i>	<i>Tipos de controladores de carga.....</i>	<i>25</i>
<i>1.4.1.1</i>	<i>Controladores de carga PWM.....</i>	<i>26</i>
<i>1.4.1.2</i>	<i>Controladores de carga MPPT.....</i>	<i>27</i>
<i>1.4.1.3</i>	<i>Comparación entre controlador PWM y MPPT.....</i>	<i>28</i>
<b>1.5</b>	<b>Tarjetas de desarrollo.....</b>	<b>29</b>
<i>1.5.1</i>	<i>Microcontrolador.....</i>	<i>30</i>
<i>1.5.2</i>	<i>Entornos de programación.....</i>	<i>34</i>
<i>1.5.2.1</i>	<i>Arduino IDE.....</i>	<i>35</i>

1.5.2.2	<i>Microchip Studio</i> .....	37
1.5.3	<i>Adquisición de datos</i> .....	38

## CAPÍTULO II

<b>2</b>	<b>PROPUESTA Y DISEÑO DE PROTOTIPO</b> .....	<b>39</b>
<b>2.1</b>	<b>Generalidades</b> .....	<b>39</b>
<b>2.1.1</b>	<i>Características del sistema fotovoltaico</i> .....	<b>40</b>
<b>2.1.2</b>	<i>Características técnicas base del controlador de carga</i> .....	<b>42</b>
<b>2.1.3</b>	<i>Diseño de controlador de carga</i> .....	<b>43</b>
<b>2.1.4</b>	<i>Determinación del método de carga</i> .....	<b>45</b>
<b>2.1.5</b>	<i>Determinación de la modalidad de utilización del método de carga</i> .....	<b>48</b>
<b>2.1.6</b>	<i>Diseño conceptual del controlador de carga</i> .....	<b>50</b>
<b>2.2</b>	<b>Requerimientos Hardware del diseño</b> .....	<b>51</b>
<b>2.2.1</b>	<i>Concepción de la arquitectura general del sistema</i> .....	<b>51</b>
<b>2.3</b>	<b>Selección de los elementos que conforman los módulos del prototipo</b> .....	<b>54</b>
<b>2.3.1</b>	<i>Procesador de información en los módulos del prototipo</i> .....	<b>54</b>
<b>2.3.2</b>	<i>Sensores en los módulos del prototipo</i> .....	<b>55</b>
<b>2.4</b>	<b>Esquemas de conexión del prototipo</b> .....	<b>66</b>
<b>2.4.1</b>	<i>Módulo de alimentación</i> .....	<b>66</b>
<b>2.4.2</b>	<i>Módulo de adquisición de parámetros energéticos</i> .....	<b>67</b>
<b>2.4.3</b>	<i>Módulo de Control de carga</i> .....	<b>69</b>
<b>2.4.4</b>	<i>Módulo de Visualización</i> .....	<b>70</b>
<b>2.5</b>	<b>Diseño de la estructura de la caja del Controlador de carga</b> .....	<b>72</b>
<b>2.6</b>	<b>Diseño del software para el prototipo del controlador de carga</b> .....	<b>72</b>
<b>2.6.1</b>	<i>Requerimientos del software a desarrollar</i> .....	<b>72</b>
<b>2.7</b>	<b>Descripción del software de desarrollo</b> .....	<b>73</b>
<b>2.7.1</b>	<i>Programa principal</i> .....	<b>73</b>
<b>2.7.2</b>	<i>Diagrama de flujo del programa principal</i> .....	<b>74</b>
<b>2.7.3</b>	<i>Bibliotecas que integran el programa principal</i> .....	<b>77</b>
<b>2.7.4</b>	<i>Programa para envío de datos al servidor Ubidots</i> .....	<b>78</b>
<b>2.7.5</b>	<i>Diagrama de flujo para envío de datos al servidor Ubidots</i> .....	<b>79</b>
<b>2.7.6</b>	<i>Bibliotecas que integran el programa de envío de datos al servidor Ubidots</i> .....	<b>80</b>
<b>2.7.7</b>	<i>Trama de datos</i> .....	<b>80</b>

### **CAPÍTULO III**

<b>3</b>	<b>VALIDACIÓN DE PROTOTIPO.....</b>	<b>82</b>
<b>3.1</b>	<b>Comparación de mediciones de los sensores. ....</b>	<b>82</b>
<b>3.2</b>	<b>Tiempo de carga de la batería .....</b>	<b>88</b>
<b>3.3</b>	<b>Tiempo de descarga de la batería.....</b>	<b>89</b>

### **CAPÍTULO IV**

<b>4</b>	<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA .....</b>	<b>93</b>
<b>4.1</b>	<b>Relación beneficio costo .....</b>	<b>94</b>

	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>95</b>
--	--------------------------	-----------

	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>97</b>
--	-----------------------------	-----------

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Clasificación de los sistemas fotovoltaicos aislados de la red.....	12
<b>Tabla 2-1:</b>	Principales características de un acumulador de energía eléctrica .....	18
<b>Tabla 3-1:</b>	Tipos de Baterías .....	20
<b>Tabla 4-1:</b>	Comparación entre el controlador de carga PWM y MPPT .....	28
<b>Tabla 5-1:</b>	Requerimientos de ejemplo .....	30
<b>Tabla 6-1:</b>	Comparación de los controladores AVR de 8 bits (ATmega, ATtiny, AVR) .....	32
<b>Tabla 7-1:</b>	Módulos de un microcontrolador .....	33
<b>Tabla 8-1:</b>	Elementos del sistema de adquisición de datos .....	38
<b>Tabla 1-2:</b>	Demanda energética .....	40
<b>Tabla 2-2:</b>	Potencia pico del arreglo fotovoltaico.....	40
<b>Tabla 3-2:</b>	Datos eléctricos EGE-50P-36.....	41
<b>Tabla 4-2:</b>	Características de la batería Ritar RA12-33 .....	42
<b>Tabla 5-2:</b>	Especificaciones constructivas base .....	43
<b>Tabla 6-2:</b>	Umbral de tensión de carga.....	49
<b>Tabla 7-2:</b>	Comparativa de tarjetas de desarrollo .....	54
<b>Tabla 8-2:</b>	Características de sensores de temperatura, voltaje y corriente continua.....	56
<b>Tabla 9-2:</b>	Características de los componentes del módulo de control de carga.....	58
<b>Tabla 10-2:</b>	Características de los componentes del módulo de visualización .....	63
<b>Tabla 11-2:</b>	Características del módulo de alimentación .....	65
<b>Tabla 1-3:</b>	Tabulación de mediciones .....	83
<b>Tabla 2-3:</b>	Valores promedios.....	85
<b>Tabla 1-4:</b>	Precio de componentes.....	93
<b>Tabla 2-4:</b>	Precios de controladores de carga PWM .....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Irradiación Global Horizontal .....	7
<b>Figura 2-1:</b>	Efecto fotovoltaico.....	10
<b>Figura 3-1:</b>	Esquema de un Sistema Fotovoltaico Aislado Residencial .....	11
<b>Figura 4-1:</b>	Operación básica de una célula solar .....	12
<b>Figura 5-1:</b>	Tipos de células solares .....	13
<b>Figura 6-1:</b>	Elementos de un panel solar .....	14
<b>Figura 7-1:</b>	Inclinación de paneles solares.....	14
<b>Figura 8-1:</b>	Controlador de carga Morningstar SHS6.....	15
<b>Figura 9-1:</b>	Inversor .....	16
<b>Figura 10-1:</b>	Inversor de onda senoidal .....	17
<b>Figura 11-1:</b>	Sistema de acumulación de un sistema fotovoltaico.....	18
<b>Figura 12-1:</b>	Cables para instalaciones solares .....	21
<b>Figura 13-1:</b>	Diagrama de bloques del controlador de carga .....	25
<b>Figura 14-1:</b>	Curva de potencia de un panel fotovoltaico.....	25
<b>Figura 15-1:</b>	Controlador de carga PWM .....	26
<b>Figura 16-1:</b>	Curva de potencia para un panel con controlador PWM .....	26
<b>Figura 17-1:</b>	Controlador de carga MPPT .....	27
<b>Figura 18-1:</b>	Curva de potencia para un panel fotovoltaico con controlador MPPT .....	27
<b>Figura 19-1:</b>	Disposición de la placa Z80 para 32 terminales.....	30
<b>Figura 20-1:</b>	Placa ATmega16 superpuesta a la placa Z80.....	31
<b>Figura 21-1:</b>	Terminales del procesador Z80 (izquierda) y del controlador .....	31
<b>Figura 22-1:</b>	Diseño básico de un microcontrolador.....	33
<b>Figura 23-1:</b>	Los principales componentes del Arduino Uno .....	35
<b>Figura 1-2:</b>	Diagrama de bloques conceptual de las funciones de un controlador de carga .	39
<b>Figura 2-2:</b>	Panel solar EGE-50P-36 .....	41
<b>Figura 3-2:</b>	Batería Ritar RA12-33 .....	42
<b>Figura 4-2:</b>	Controlador de carga en derivación .....	44
<b>Figura 5-2:</b>	Controlador de carga en serie.....	45
<b>Figura 6-2:</b>	Ciclos de carga.....	49
<b>Figura 7-2:</b>	Concepción de la arquitectura general del sistema controlador de carga .....	52
<b>Figura 8-2:</b>	Módulo de adquisición de parámetros energéticos .....	53
<b>Figura 9-2:</b>	Módulo de visualización .....	53
<b>Figura 10-2:</b>	Módulo de control de carga .....	54
<b>Figura 11-2:</b>	Arduino nano .....	55

<b>Figura 12-2:</b>	DS18B20.....	57
<b>Figura 13-2:</b>	ACS712-20A.....	57
<b>Figura 14-2:</b>	P-MOSFET IRF5305 .....	59
<b>Figura 15-2:</b>	Transistor 2N3904 .....	59
<b>Figura 16-2:</b>	Diodo Schottky MBR2045CT .....	61
<b>Figura 17-2:</b>	Fusible.....	62
<b>Figura 18-2:</b>	Diodo TVS P6KE36CA .....	62
<b>Figura 19-2:</b>	OLED 128X64 .....	64
<b>Figura 20-2:</b>	LED.....	64
<b>Figura 21-2:</b>	ESP01.....	65
<b>Figura 22-2:</b>	Convertidor reductor MP2307 .....	65
<b>Figura 24-2:</b>	Arduino nano distribución de terminales .....	66
<b>Figura 25-2:</b>	Conexión MP2307 .....	66
<b>Figura 26-2:</b>	Circuito de reset .....	67
<b>Figura 27-2:</b>	Conexión divisores de voltaje.....	67
<b>Figura 28-2:</b>	Conexión sensores ACS712.....	68
<b>Figura 29-2:</b>	Conexión sensor DS18B20 .....	68
<b>Figura 30-2:</b>	Conexión controlador de MOSFET .....	69
<b>Figura 31-2:</b>	Conexión de protecciones para panel solar y batería .....	70
<b>Figura 32-2:</b>	Conexión LCD 20X4 I2C .....	70
<b>Figura 33-2:</b>	Conexión indicadores RGB y Bicolor .....	71
<b>Figura 34-2:</b>	Conexión ESP01 .....	71
<b>Figura 35-2:</b>	Estructura de la caja del controlador de carga .....	72
<b>Figura 36-2:</b>	Parte del algoritmo de carga del controlador de carga.....	76
<b>Figura 1-3:</b>	Comparación de medidas .....	82
<b>Figura 2-3:</b>	Conexión: Panel, controlador, batería.....	91

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1:</b>	Evolución de la producción de energía primaria .....	6
<b>Gráfico 2-1:</b>	Evolución de la producción de Energía Renovable No Convencional.....	8
<b>Gráfico 3-1:</b>	Evolución de la demanda de energía por sector .....	8
<b>Gráfico 4-1:</b>	Ciclo de vida en relación con la profundidad de descarga .....	19
<b>Gráfico 5-1:</b>	Efectos de la temperatura sobre la capacidad.....	19
<b>Gráfico 1-2:</b>	Característica de carga con corriente semi constante .....	46
<b>Gráfico 2-2:</b>	Característica de carga con corriente constante.....	46
<b>Gráfico 3-2:</b>	Característica de carga con voltaje constante .....	47
<b>Gráfico 4-2:</b>	Característica de carga con voltaje en dos etapas.....	47
<b>Gráfico 5-2:</b>	Ciclos de carga del controlador .....	50
<b>Gráfico 1-3:</b>	Eficiencia.....	85
<b>Gráfico 2-3:</b>	Voltaje de batería y panel solar .....	86
<b>Gráfico 3-3:</b>	Voltaje de batería y panel solar .....	86
<b>Gráfico 4-3:</b>	Potencia entregada y recibida.....	87

## ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** Hoja de datos SHS
- Anexo B:** Hoja de datos P-MOSFET 5305
- Anexo C:** Hoja de datos Transistor 2N3904
- Anexo D:** Hoja de datos Diodo TVS P6KCA
- Anexo E:** Hoja de datos Diodo Schottky MBR2045
- Anexo F:** Hoja de datos MP2307
- Anexo G:** Hoja de datos Sensor de temperatura DB18S20
- Anexo H:** Código fuente del controlador de carga
- Anexo I:** Archivos de diseño

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-1:</b>	Radiación sobre superficie inclinada .....	22
<b>Ecuación 2-1:</b>	Rendimiento por operación a temperatura diferente del estándar.....	22
<b>Ecuación 3-1:</b>	Temperatura de la celda.....	22
<b>Ecuación 4-1:</b>	Coeficiente de variación de la potencia .....	22
<b>Ecuación 5-1:</b>	Potencia pico del arreglo fotovoltaico .....	23
<b>Ecuación 6-1:</b>	Rendimiento global del sistema .....	23
<b>Ecuación 7-1:</b>	Capacidad del banco de baterías .....	23
<b>Ecuación 1-2:</b>	Divisor de voltaje.....	56
<b>Ecuación 2-2:</b>	Voltaje en Resistencia de colector .....	60
<b>Ecuación 3-2:</b>	Corriente de colector.....	60
<b>Ecuación 4-2:</b>	Resistencia de base .....	60
<b>Ecuación 5-2:</b>	Corriente de protección.....	62
<b>Ecuación 1-3:</b>	Eficiencia .....	85
<b>Ecuación 2-3:</b>	Tiempo de carga de una batería .....	88
<b>Ecuación 3-3:</b>	Corriente de carga.....	88
<b>Ecuación 4-3:</b>	Tiempo de carga real de una batería .....	88
<b>Ecuación 5-3:</b>	Tiempo de descarga .....	89

## INDICE DE ABREVIATURAS

<b>A:</b>	Amperios
<b>Ah:</b>	Amperios hora
<b>CA:</b>	Corriente alterna
<b>CC:</b>	Corriente continua
<b>CLK:</b>	Señal de reloj
<b>IDE:</b>	Entorno de Desarrollo Integrado
<b>Ip:</b>	Corriente de protección
<b>Isc:</b>	Corriente de cortocircuito
<b>Kbep:</b>	Miles de bariiles equivalentes de petróleo
<b>kWh/m<sup>2</sup>:</b>	Kilo Watts Hora por metro cuadrado diarios
<b>MBEP:</b>	Millones de bariiles equivalentes de petróleo
<b>Mm:</b>	Milímetros
<b>MPPT:</b>	Seguimiento de punto de potencia máximo
<b>MW:</b>	Mega Watts
<b>MWh:</b>	Mega Watts hora
<b>MWp:</b>	Mega Watts pico
<b>PCB:</b>	Placa de circuito impreso
<b>PdD:</b>	Profundidad de Descarga
<b>PR:</b>	Rendimiento global del sistema
<b>PWM:</b>	Modulación de ancho de Pulso
<b>RGB:</b>	Rojo, Verde y Azul
<b>SAD:</b>	Sistema de Adquisición de Datos
<b>SDA:</b>	Señal de datos
<b>SFV:</b>	Sistema Fotovoltaico
<b>SFVA:</b>	Sistemas Fotovoltaicos Aislados
<b>SFVAC:</b>	Sistema Fotovoltaico Aislado Comunitario
<b>SFVAE:</b>	Sistema Fotovoltaico Aislado para usos especiales
<b>SFVAM:</b>	Sistema Fotovoltaico Aislado en micro red
<b>SFVAR:</b>	Sistema Fotovoltaico Aislado Residencial
<b>TQFP:</b>	Cápsula Cuadrada Plástica Delgada
<b>V:</b>	Voltios
<b>Vmp:</b>	Volatje de máxima potencia
<b>W:</b>	Watts
<b>W/m<sup>2</sup>:</b>	Watts po metro cuarado
<b>Wp:</b>	Watts pico

## **RESUMEN**

El objetivo de la investigación fue la implementación de un controlador de carga para optimizar un sistema fotovoltaico aislado de la red, utilizando un microcontrolador. Se recopiló información relevante de investigaciones realizadas en el Ecuador, determinando que el controlador adecuado depende del sistema fotovoltaico a usar. Para la implementación del controlador de carga en sí, primero se calculó la demanda energética de las cargas a conectar, la potencia del arreglo fotovoltaico, así como el banco de baterías. Para la medición de parámetros energéticos se utilizó sensores de corriente, temperatura y divisores de voltaje; para la tabulación de datos se utilizó un módulo Wifi para el envío de datos al servidor de Ubidots. Con la implementación del controlador de carga, se obtuvo el resultado de eficiencia de 94,4 %. Se concluye que la implementación del controlador de carga optimiza el sistema fotovoltaico aislado de la red ya que los controladores comerciales tienen un valor de eficiencia entre 80 a 90 %. Si se requiere utilizar el controlador de carga para un voltaje superior a 12 voltios, se recomienda rediseñar los componentes, inicialmente los divisores de voltaje.

**PALABRAS CLAVE:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED>, <CONTROLADOR DE CARGA>, <MICROCONTROLADOR>, <EFECTO HALL>, <POTENCIA>, <VOLTAJE>, <CORRIENTE>.

## **SUMMARY**

The objective of this research project was to implement a load controller to optimize a stand-alone isolated from the grid photovoltaic system, using a microcontroller. Relevant information was collected from research carried out in Ecuador, which allowed to determine that the appropriate controller depends on the photovoltaic system to be used. For the implementation of the load controller itself, it was necessary to calculate the energy demand for the loads to be connected, the power of the photovoltaic array, and the battery bank. In order to measure energy parameters, current and temperature sensors and voltage dividers were used. A Wifi module was used to tabulate data and send it to the Ubidots server. With the implementation of the load controller, an efficiency result of 94.4% was obtained. It was concluded that the implementation of the load controller optimized the stand-alone isolated from the grid photovoltaic system given that commercial controllers have an efficiency value of between 80 to 90%. If the load controller is required for use with voltage higher than 12 volts, the redesign of the components, initially the voltage dividers are recommended.

**KEY WORDS:** <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES>, <STANDALONE ISOLATED FROM THE GRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM>, <LOAD CONTROLLER>, <MICROCONTROLLER>, <HALL EFFECT>, <POWER>, <VOLTAGE>, <CURRENT>.

## INTRODUCCIÓN

Durante siglos, la energía eléctrica, ha sido un pilar fundamental en el desarrollo de la sociedad y prácticamente la base del funcionamiento productivo y económico a nivel mundial. Hoy en día, el modelo consumista está direccionado en forma directa con el incremento energético, lo cual exige la optimización del consumo y buscar medios alternativos para la generación de energía. (Echeverría, 2020 pág. 1)

El estudio de la energía solar tiene relación directa con el medio ambiente por ello es importante el uso de energías renovables, aprovechando que en el Ecuador se cuenta con estos recursos siguiendo los pasos de países desarrollados.

Ecuador cuenta con la Regulación 004-11 “Tratamiento para la energía producida con recursos Energéticos Renovables No Convencionales” y con la Reforma 017/12 “Reforma a la Regulación de Energías Renovables” en las cuales establece que el Estado fomentará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, banca de desarrollo, universidades e instituciones privadas. (Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), 2013)

Ya que el recurso proveniente del sol es abundante y presenta condiciones óptimas para Ecuador, que permiten un mayor porcentaje de explotación respecto a otras fuentes de energía renovable no convencionales. (Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), 2013)

Es necesario conocer todos y cada uno de los elementos que forman parte de la generación eléctrica a partir de fuentes no convencionales. Un sistema de energía renovable es la generación fotovoltaica, la que se encuentra constituida por paneles solares, inversores, baterías, reguladores de carga, cableado, etc., mediante los cuales se deberá realizar un análisis para la implementación.

En el 2021 el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), inició el proceso de precalificación y presentación de documentos para el proyecto fotovoltaico Conolophus, con almacenamiento que nace de una iniciativa privada, presentada por la empresa GranSolar, resultado de la política impulsada por el Gobierno Nacional para promover la participación del sector privado en la expansión de la generación eléctrica del Ecuador. Permitirá desplazar generación térmica de la isla Santa Cruz gracias al aprovechamiento de fuentes renovables, formando parte de la Iniciativa Cero Combustibles Fósiles en Galápagos. El proyecto parte de una iniciativa privada, considera una potencia instalada de 14.8 MWp y un almacenamiento en baterías de 40.9 MWh. (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR), 2020)

Otro proyecto que actualmente se encuentra en precalificación es El Aromo es, al momento, el proyecto fotovoltaico más importante que se promociona en el Ecuador y ha sido priorizado por el Estado para generar energía limpia, a través de recursos renovables no convencionales. El proyecto fotovoltaico El Aromo contará con una capacidad mínima instalada de 200 MW. (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR), 2020)

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo optimizar un sistema de generación fotovoltaico aislado de la red?

## **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo adquirir conocimiento relacionada al diseño e implementación de un controlador de carga?

¿Cómo obtener los valores de corriente y voltaje suministrados por el panel solar, y la carga en funcionamiento?

¿Cuál es la mejor manera de alargar la vida útil de la batería de acumulación de energía para el sistema de generación fotovoltaico?

¿Cómo se va a controlar los parámetros energéticos?

¿Cómo proteger el prototipo propuesto ante anomalías eléctricas?

## **JUSTIFICACIÓN**

### **JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

La necesidad de distintas formas de energía eléctrica, así como las diferentes aplicaciones para las que son destinadas impulsan el desarrollo del campo de la conversión de energía. Este desarrollo ayuda no solamente a mejorar el desempeño y rendimiento de maquinaria, sino que además mejoran la calidad de la energía utilizada. es por esto por lo que se ha visto la importancia de buscar mejores y óptimos dispositivos electrónicos que permitan realizar estas conversiones, permitiendo un buen desempeño de equipos.

### **JUSTIFICACIÓN APLICATIVA**

La importancia de implementar sistemas de fuentes de energía solar con el propósito de reducir los costos en el consumo de energía utilizando fuentes de energía renovable, radica en el almacenamiento de esta energía capturada, para esto es necesario un dispositivo que cumpla con el requerimiento de no disminuir la vida útil de la batería, que sea capaz de regular la carga de las baterías evitando la descarga y sobrecarga, mediante la medición de energía por parte del suministro como de la carga conectada.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVOS GENERALES**

Diseñar e implementar un controlador de carga para optimizar un sistema de generación fotovoltaico aislado de la red utilizando un microcontrolador

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Recopilar información bibliográfica para el diseño e implementación de un controlador de carga.

Recopilar los datos del panel solar y de la carga mediante sensores, circuitos divisores de voltaje para delimitar los parámetros requeridos para el controlador de carga a diseñar.

Diseñar el controlador de carga que permita controlar la cantidad de energía eléctrica producida por los paneles solares que entran en las baterías para su correcta carga, y protección, considerando los parámetros energéticos.

Implementar el controlador de carga utilizando un microcontrolador.

Diseñar un circuito para proteger de la polaridad inversa y retorno de corriente por parte del dispositivo propuesto, así como sobrecargas, sobretensiones y cortocircuitos, mediante el uso de semiconductores y fusibles adecuados.

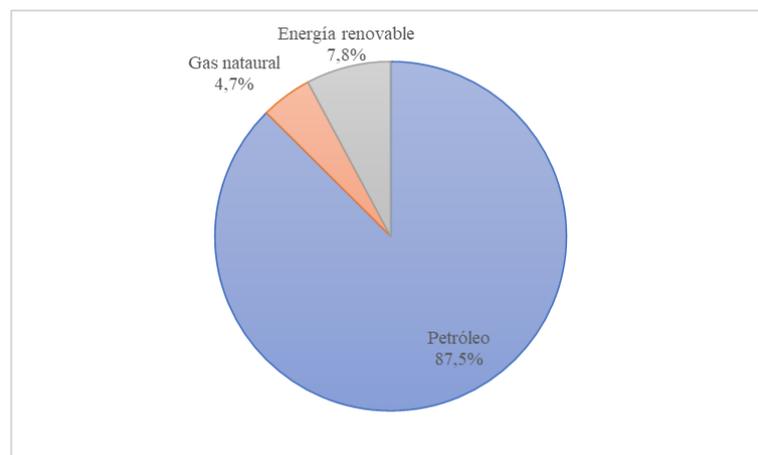
# CAPITULO I

## 1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En este apartado se detalla la información con argumentos de investigadores y obras publicadas en revistas científicas, además se presenta el estado del arte de la presente investigación.

### 1.1 Generalidades

El sector energético representa un componente estratégico en toda economía. El energético primario de mayor producción en Ecuador ha sido el petróleo, la producción de energía primaria en 2018 fue de 216 millones de barriles equivalentes de petróleo (MBEP), algunos autores sugieren que el pico del petróleo ya ha sido alcanzado y que la producción mundial de petróleo disminuirá en los próximos años.



**Gráfico 1-1.** Evolución de la producción de energía primaria

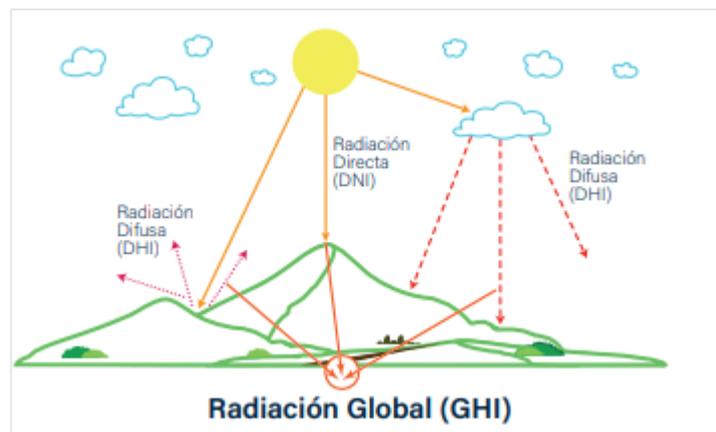
Fuente: (Insituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), 2018)

Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

En comparación, la participación de la energía proveniente de fuentes renovables ha sido menor, 7,8% del total como se muestra en el Gráfico 1-1. En este contexto, las energías renovables, especialmente la energía solar, pueden cumplir un rol fundamental en la provisión futura de energía limpia.

Ecuador debido a su ubicación geográfica tiene recursos renovables para producción eléctrica. En el año 2008 se realiza el Atlas Solar de Ecuador con el objetivo de contar con un documento en que se sustente el potencial de la energía solar presente en el país, debido a que el ángulo de incidencia de la luz solar es perpendicular a la superficie de Ecuador durante todo el año, esta característica en particular no se observa en otros lugares, ya que está varía con las estaciones del año. (Corporación para la Investigación Energética (CIE), 2008)

A pesar de esta ventaja, la presencia de la cordillera de los Andes crea múltiples microclimas que pueden reducir el potencial en ciertas regiones. La irradiación global horizontal anual sobre el Ecuador varía desde 2.9 kWh/m<sup>2</sup> día a 6.3 kWh/m<sup>2</sup> día.

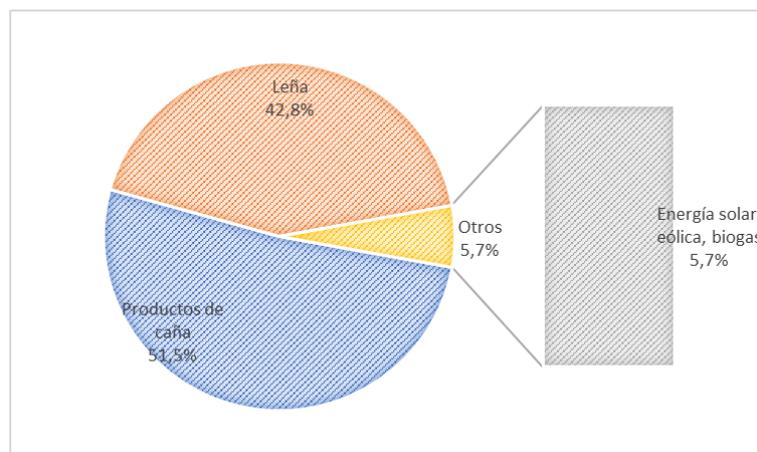


**Figura 1-1.** Irradiación Global Horizontal

**Fuente:** (Vaca, y otros, 2019)

En general, las zonas ubicadas en elevada altitud tienen niveles de radiación mayores, mientras que las regiones de transición hacia la costa o el oriente las menores. En el primer caso, el menor espesor de la atmósfera y la menor presencia de nubes permite tener una mayor radiación. En el segundo caso, la presión atmosférica causa la formación de nubes, lo que hace de estas regiones altamente húmedas y nubosas. (Vaca, y otros, 2019)

La mayor participación en la producción de energías renovables no convencionales procedió del bagazo de caña y la leña, como se puede apreciar en el Gráfico 2-1.



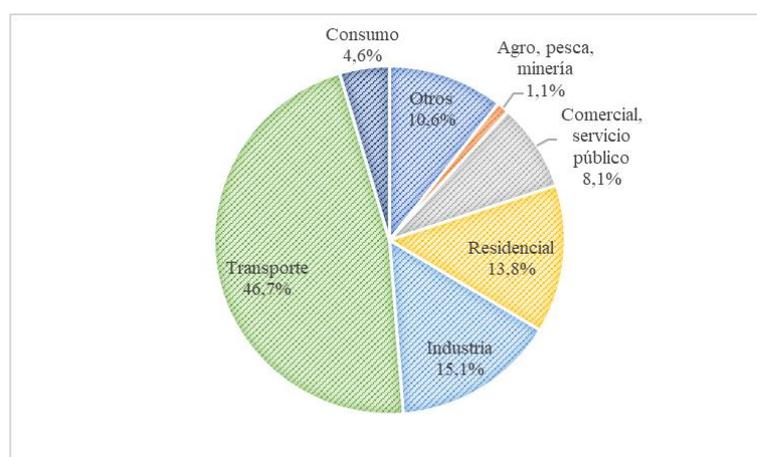
**Gráfico 2-1.** Evolución de la producción de Energía Renovable No Convencional (ERNC)

**Fuente:** (Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), 2018)

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

Entre el 2008 y 2018 se incrementó la producción de energía proveniente de bagazo de caña de azúcar en 21,7% y se redujo la proveniente de leña en 28,6%. Adicionalmente, la producción de energía solar, eólica y biogás (otras primarias) ha incrementado de 1,7 a 232,5 miles de barriles equivalentes de petróleo (kBEP).

Según el Balance Energético Nacional 2018 (BEN), la demanda energética en el país se incrementó 42,2% durante el período de análisis, pasando de 66 MBEP en el año 2008 a 94 MBEP en 2018. La evolución de la demanda por sector se indica en el Gráfico 3-1. (Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), 2018)



**Gráfico 3-1.** Evolución de la demanda de energía por sector

**Fuente:** (Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), 2018)

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

El sector transporte es el mayor demandante de energía, con un valor promedio de 36 MBEP en los últimos once años. Detrás, el sector industrial ha sido el segundo mayor demandante energético, con un valor promedio de 13 MBEP en este mismo período. Finalmente, la tercera mayor demanda de energía del país proviene del sector residencial, con un promedio de 11 MBEP.

Con los resultados obtenidos de la demanda de energía por sector se establece la elaboración del Plan Nacional de Eficiencia energética en el cual el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), en atención a la política energética nacional, ha desarrollado varios instrumentos regulatorios, incentivos fiscales y tributarios, y ha impulsado diversas iniciativas relacionadas con la eficiencia energética, entre los cuales están instrumentos regulatorios, sustitución tecnológica eficiente en equipos de consumo e iluminación en los sectores residencial y público, además del Programa de eficiencia energética para cocción por inducción y calentamiento de agua con electricidad (PEC).

El Gobierno Nacional, preocupado por la viabilidad ecológica, económica y social de las actividades principalmente en las islas Galápagos, ha manifestado la necesidad de adoptar medidas y ejecutar acciones para impedir la degradación del hábitat y el impacto ecológico, considerando la iniciativa Cero Combustibles Fósiles en Galápagos. A partir de esta iniciativa, se pretende disminuir el uso de combustibles derivados del petróleo, mediante el desarrollo de proyectos de energías renovables no convencionales y el uso racional de la energía, entre estos proyectos se han desarrollado plantas fotovoltaicas, parques eólicos, sistemas híbridos eólicos – solares. Evidenciando que la producción de energía primaria en Galápagos alcanza 3 kBEP, la cual es generada principalmente por fuentes renovables no convencionales de origen eólico y solar. (Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 2016)

Por otro lado, el MEER incluyó un capítulo de eficiencia energética en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). En la que se establece las especificaciones y características técnicas que deben tener los sistemas fotovoltaicos (SFV) que se emplean en la generación de energía de origen fotovoltaico en el Ecuador y los servicios que deben proporcionar las empresas proveedoras para garantizar la confiabilidad, seguridad y durabilidad de los componentes del sistema a instalar, según sus fichas técnicas. Teniendo como propósito promover y estandarizar la fabricación instalación y utilización de SFV, como fuente alterna y renovable de energía primaria en generación de electricidad, que permita disminuir el consumo de combustibles fósiles y las emisiones inherentes. (Ministerio de Desarrollo Humano y Vivienda (MIDUVI), 2011)

## 1.2 Energía solar

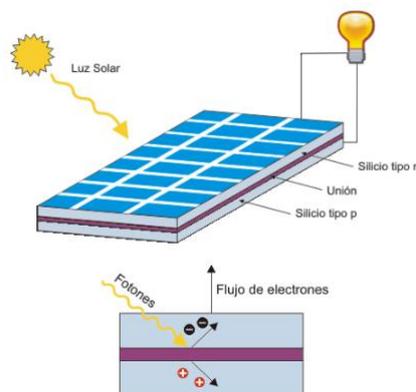
Es la energía renovable, contenida en la radiación solar, que se genera mediante reacciones de fusión nuclear en el Sol. Se puede aprovechar en forma de energía térmica o energía eléctrica, para su posterior consumo. (Planas, 2020)

La radiación solar que incide sobre la superficie de la tierra varia con la latitud geográfica, la época del año y la hora del día. Fuera de la atmósfera esta radiación puede ser considerada constante y se conoce como constante solar y su valor es de  $1368 \pm 0.65 \text{ W/m}^2$ . Sin embargo, al atravesar la atmósfera terrestre, esta radiación puede ser absorbida o redireccionada.

Los niveles de radiación solar en Ecuador son los suficientemente altos como para amplias implementaciones de tecnologías solares térmicas y fotovoltaicas. Con un valor promedio de  $2.543 \text{ kWh/m}^2$  día como un buen compromiso a partir del cual un proyecto fotovoltaico es viable. Aunque las zonas de Quito, Imbabura, Loja y Galápagos tienen un alto potencial de irradiación solar llegando hasta los  $6.3 \text{ kWh/m}^2$  día. (Vaca, y otros, 2019)

### 1.2.1 Energía solar fotovoltaica

Es una tecnología que genera corriente continua (potencia medida en vatios o kilovatios), a través del efecto fotovoltaico, se refiere al proceso de conversión de luz (fotones) a electricidad (voltaje). Las células solares son dispositivos fotovoltaicos que utilizan materiales semiconductores para convertir la luz solar directamente en electricidad. Cuando la luz solar es absorbida por estos materiales, hace que los electrones fluyan a través del material que genera corrientes eléctricas. Las células solares producen electricidad de corriente continua (CC). (Ebert, 2007)



**Figura 2-1.** Efecto fotovoltaico

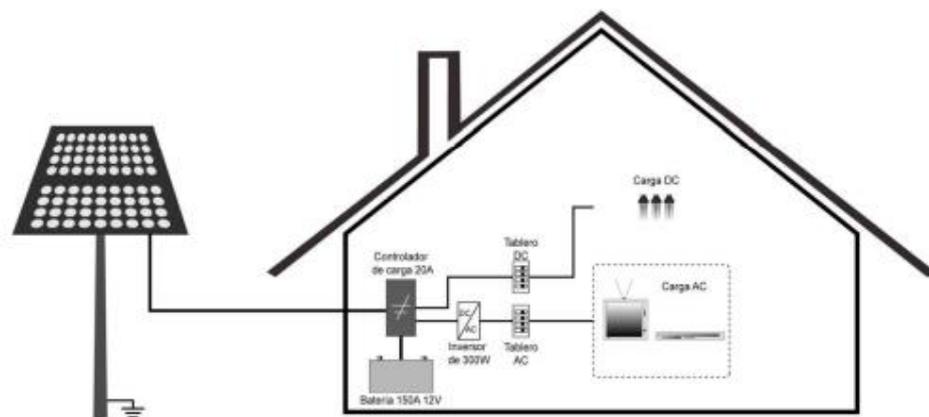
Fuente: (2020)

En la Figura 2-1 se observa que mientras la luz incide sobre una célula solar, que es el nombre dado al elemento fotovoltaico individual, se genera potencia eléctrica; cuando la luz se extingue,

la electricidad desaparece. Las células solares no necesitan ser cargadas como las baterías. Algunas células solares vienen manteniéndose en operación terrestre o en el espacio desde hace 30 años. (Telecomunicación, 2020)

### 1.3 Sistema Fotovoltaico (SFV)

Transforma la energía renovable del sol directamente en energía eléctrica que puede ser aprovechada por usuarios aislados de la red o conectados a la red. En sistemas fotovoltaicos aislados la corriente producida por los paneles fotovoltaicos se almacena en un banco de baterías a través del regulador de carga que controla el voltaje y la corriente del SFV. La conexión a las cargas en corriente continua es directa, mientras que para satisfacer las de corriente alterna se utiliza un inversor.



**Figura 3-1.** Esquema de un Sistema Fotovoltaico Aislado Residencial  
Fuente: (Ministerio de Desarrollo Humano y Vivienda (MIDUVI), 2011)

Los factores que determinan la capacidad de un SFV son: la capacidad en vatios pico del arreglo fotovoltaico, la reserva de amperios hora del banco de baterías, la potencia del inversor y la capacidad del regulador de carga.

#### Clasificación de los sistemas fotovoltaicos aislados de la red

En el capítulo 14, Energías renovables de la Norma Ecuatoriana de la Construcción se aplica la siguiente clasificación de los Sistemas Fotovoltaicos Aislados (SFVA)

**Tabla 1-1:** Clasificación de los sistemas fotovoltaicos aislados de la red

Sistema	Uso
Sistema Fotovoltaico Aislado Residencial (SFVAR)	Una vivienda con cargas en corriente continua, corriente alterna, o ambas.
Sistema Fotovoltaico Aislado Comunitario (SFVAC)	Centros de salud, escuela, casa comunitaria, iglesia, etc. Generalmente servicio en corriente alterna.
Sistema Fotovoltaico Aislado para usos especiales (SFVAE)	Telecomunicaciones, bombeo de agua, iluminación pública, sistemas de seguridad, otros. Generalmente en corriente alterna.
Sistema Fotovoltaico Aislado en micro red (SFVAM)	Incluye las redes de distribución.

**Fuente:** (Ministerio de Desarrollo Humano y Vivienda (MIDUVI), 2011)

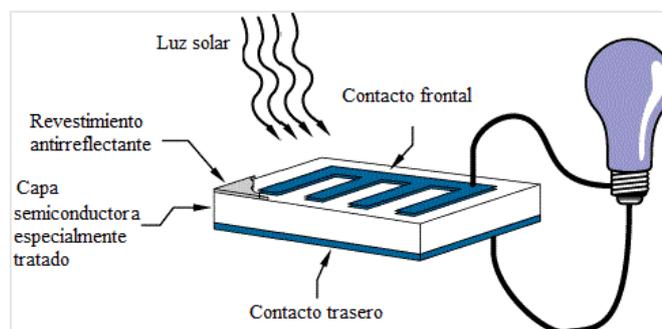
**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

Todos los sistemas fotovoltaicos aislados disponen de respaldo en baterías.

### 1.3.1 Elementos de SFVA

#### 1.3.1.1 Celdas solares

Convierte la energía solar en electricidad útil. Se compone de muchas capas de materiales, cada una con un propósito específico.



**Figura 4-1.** Operación básica de una célula solar

**Fuente:** (Bethel, y otros, 2018)

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

La capa más importante es la capa semiconductor especialmente tratada, y es lo que realmente convierte la energía del sol en electricidad útil a través de un proceso llamado efecto fotovoltaico.

En ambos lados se encuentra una capa de material conductor que recolecta la electricidad producida. La capa final que se aplica sólo al lado iluminado de la célula es el revestimiento anti

reflectante, dado que todos los semiconductores son reflectantes naturales, la pérdida de reflexión puede ser significativa. Para solucionar se recomienda la utilización de más de una de estas capas para reducir la cantidad de radiación solar que se refleja en la superficie de la célula.

Las células solares cristalinas pueden clasificarse además en dos categorías: monocristalinas y policristalinas.



**Figura 5-1.** Tipos de células solares

Fuente: (Bethel, y otros, 2018)

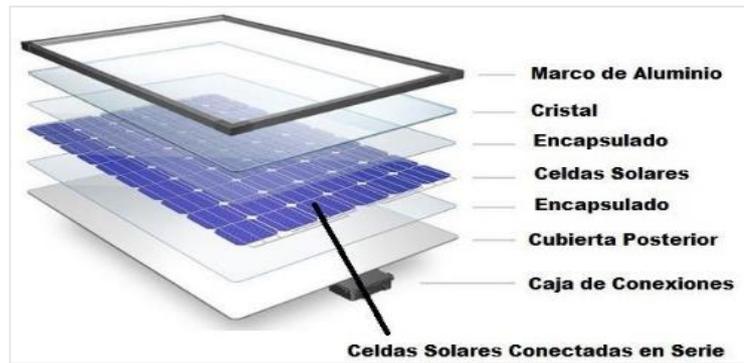
La Figura 5-1, compara una célula de silicio policristalino (izquierda) y una célula de silicio monocristalino (derecha). Como su nombre indica, las células fotovoltaicas monocristalinas están compuestas por una red cristalina uniforme o única, mientras que las policristalinas contienen estructuras cristalinas diferentes o variadas.

Hay varios tipos diferentes de células fotovoltaicas que utilizan semiconductores para interactuar con los fotones del sol. El material más común para la construcción de células solares comerciales es el Silicio. (Valencia, y otros, 2013)

Una célula solar de silicio cristalino convencional es una oblea de silicio dopada con varios productos químicos para fomentar la producción de energía. La principal diferencia entre las células solares de tipo p y n es el número de electrones. Una célula de tipo p generalmente dopa su oblea de silicio con boro, que tiene un electrón menos que el silicio (haciendo que la célula se cargue positivamente). Una célula de tipo n está dopada con fósforo, que tiene un electrón más que el silicio (lo que hace que la célula se cargue negativamente). (Pickerel, 2020)

#### *1.3.1.2 Panel solar*

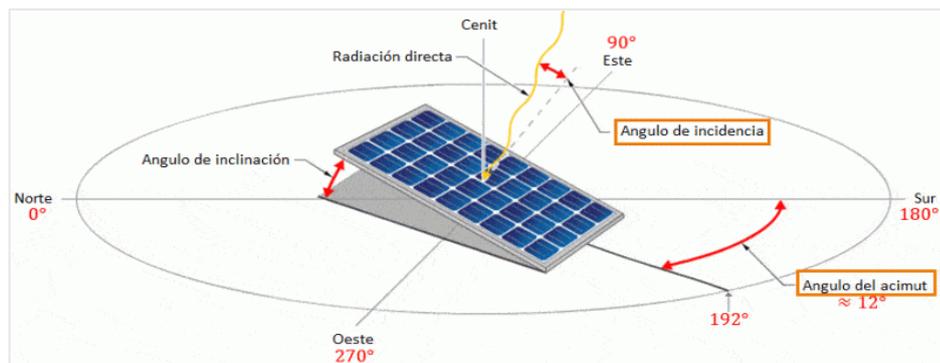
También denominado panel fotovoltaico, se construye a partir de una serie de células solares dispuestas en un panel. La célula solar sólo es capaz de generar una tensión de unas pocas décimas de voltaje y una potencia máxima de 1 o 2 vatios. Por lo tanto, es necesario conectar varias células en serie para lograr voltajes requeridos.



**Figura 6-1.** Elementos de un panel solar  
**Fuente:** (Soliclima , 2018)

Las células están encapsuladas en una resina, y se colocan entre dos hojas para formar los módulos fotovoltaicos. La hoja exterior es de vidrio y la posterior puede ser de plástico opaco o de vidrio, si se quiere hacer un módulo semitransparente. La capa protectora no debe ser un conductor térmico. Dicho panel debe contar con un marco resistente a las tensiones mecánicas para su movilización, instalación y acción; generalmente son de aluminio anodizado, hierro galvanizado y acero inoxidable. Cuando se utiliza una estructura de soporte para los módulos solares, es aconsejable utilizar materiales que tengan buenas propiedades mecánicas, así como una gran durabilidad, teniendo en cuenta la larga vida útil de las instalaciones. (Planas, 2020)

La orientación e inclinación más apropiada en cada ubicación depende de la latitud y la época del año. Es aconsejable un estudio de la radiación solar recibida para el lugar de instalación.



**Figura 7-1.** Inclinación de paneles solares  
**Fuente:** (Sunfields Europe, sf)

Como se observa en la Figura 7-1, la inclinación de los módulos juega un papel importante tanto por el ángulo de incidencia de la radiación solar como para evitar la acumulación de suciedad en la cubierta, esta inclinación variará en función de las necesidades energéticas previstas y del periodo de uso. En el hemisferio norte, por ejemplo, las placas deben orientarse en dirección sur y con cierta inclinación. (Ministerio de Desarrollo Humano y Vivienda (MIDUVI), 2011)

Vienen en una variedad de formas rectangulares y se instalan en combinación para generar electricidad en lugares remotos. Las conexiones eléctricas se realizan en serie-paralelo para determinar el voltaje total de salida. Además del uso residencial y comercial, hay un uso industrial o de servicios públicos a gran escala de la energía solar. En este caso, miles o incluso millones de paneles solares están dispuestos en un vasto conjunto solar, o granja solar, que proporciona electricidad a grandes poblaciones urbanas. Están diseñados para soportar las condiciones que se dan en el exterior, su vida útil se considera de 25 años. (Garcés, y otros, 2017)

Deben cumplir al menos con la norma internacional IEC-61215, entre las características eléctricas más importantes que se encuentra en la placa de información de un panel, están la potencia pico del módulo, voltaje y corriente de máxima potencia, voltaje en circuito abierto, corriente de corto circuito, tipo y número de celdas.

### 1.3.1.3 Controlador de carga

Es un elemento muy importante cuya implementación es el objetivo de nuestro proyecto. Su función es la protección de la batería de un sistema SFVAR para el mantenimiento o extensión de su vida útil.

Como referencia para el diseño del presente proyecto, se utilizará un controlador comercial modelo SHS6 de la marca Morningstar, para el estudio de sus características constructivas, posición de conectores e indicadores, cuyas especificaciones se encuentra en el **Anexo A**.



**Figura 8-1.** Controlador de carga Morningstar SHS6

**Fuente:** (Morningstar Corporation, sf)

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

En la Figura 8-1, se muestra el dispositivo mencionado. Morningstar es un líder mundial en la provisión de controladores de carga solar, son diseñados para una alta calidad y confiabilidad. Este controlador proporciona información de utilidad, mediante leds que muestran el estado de la batería. Dispositivo que trabaja en un rango de temperaturas de  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$   $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , siendo este un

controlador para sistemas hogareños de energía solar. Tanto el diseño y la implementación del controlador de carga se lo describe en el Capítulo II.

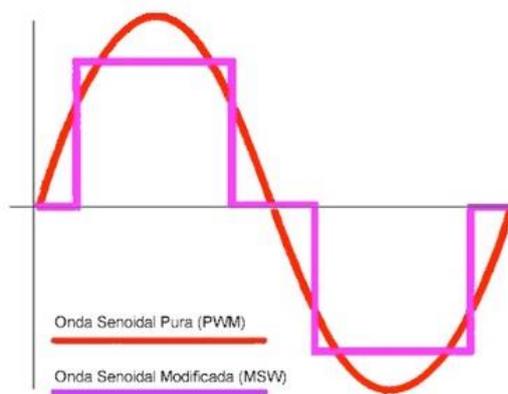
#### 1.3.1.4 Inversor

Es un dispositivo eléctrico que acepta la corriente eléctrica en forma de corriente continua y la convierte en corriente alterna. Esta conversión es necesaria para hacer funcionar la interfaz con la red eléctrica.



**Figura 9-1.** Inversor  
**Fuente:** (Bethel, y otros, 2018)

En la se Figura 9-1 se observa un inversor (amarillo) acoplado al arreglo fotovoltaico. Los inversores pueden clasificarse en monofásicos y trifásicos. Un inversor simple consiste en un oscilador que controla un transistor, que se utiliza para interrumpir la corriente entrante y generar una onda rectangular. Esta onda rectangular alimenta un transformador que suaviza su forma, haciéndola parecer un poco más como una onda sinusoidal y produciendo el voltaje de salida necesario. La forma de onda de salida de voltaje de un inversor ideal debe ser sinusoidal. Una buena técnica para lograr esto es utilizar un circuito electrónico produce una tensión de paso por medio de modulación de ancho de pulso (PWM), haciendo que el componente principal sinusoidal sea mucho más grande que los armónicos más altos. (2018)



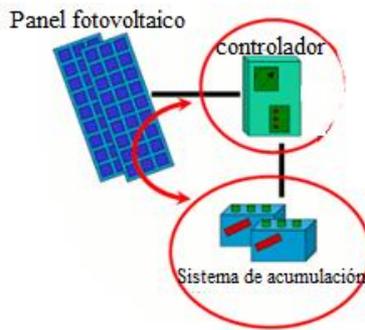
**Figura 10-1.** Inversor de onda senoidal  
**Fuente:** (2018)

La forma de onda cuadrada generada por estos dispositivos presentada en la Figura 10-1, tiene el problema de ser rica en armónicos más altos, mientras que la onda sinusoidal de la red eléctrica está desprovista de ella. Esto implica una menor eficiencia del equipo, mayor ruido, tanto acústico como eléctrico, y graves problemas de compatibilidad electromagnética. Los inversores más avanzados utilizan modulación de ancho de pulso con una frecuencia portadora mucho mayor para acercarse a las modulaciones de onda sinusoidal mejorando la distorsión armónica de la salida. La onda también se puede pre distorsionar para mejorar el factor de potencia. El sistema se puede volver a alimentar para proporcionar una tensión de salida estable a medida que cambia el voltaje de entrada. Para ambos tipos de modulación, la calidad de la señal está determinada por el número de bits utilizados. Abarca desde un mínimo de 3 bits hasta un máximo de 12 bits, capaz de describir muy bien las sinusoides. (Planas, 2020)

En la actualidad su utilización depende de la aplicación del SFVA, ya que existen dispositivos ya denominados solares en los que su alimentación es de corriente continua. La mayoría de los inversores tienen eficiencias de conversión del 90% o superiores y contienen importantes características de seguridad, como la interrupción del circuito de falla a tierra. Éstos apagan el sistema fotovoltaico cuando hay una pérdida de energía de la red. (Bethel, y otros, 2018)

#### 1.3.1.5 Batería

O también llamado acumulador, en un SFVA es el elemento que más se deteriora, por lo tanto, es el primero en ser sustituido. Es necesario almacenar la energía capturada durante las horas de radiación solar para poder cubrir el suministro durante las horas en que no hay luz solar, por lo que al contar con más de una batería se denomina sistema de acumulación como se muestra en la Figura 11-1.



**Figura 11-1.** Sistema de acumulación de un sistema fotovoltaico  
**Fuente:** (Muñoz, 2014)  
**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

### Características

Tienen una función muy importante y fundamental en el buen funcionamiento y duración de sistema fotovoltaico. Deben tener capacidad suficiente para garantizar los días de autonomía de la instalación. Estos son sistemas electroquímicos basados en reacciones químicas reversibles que tienen lugar en el interior.

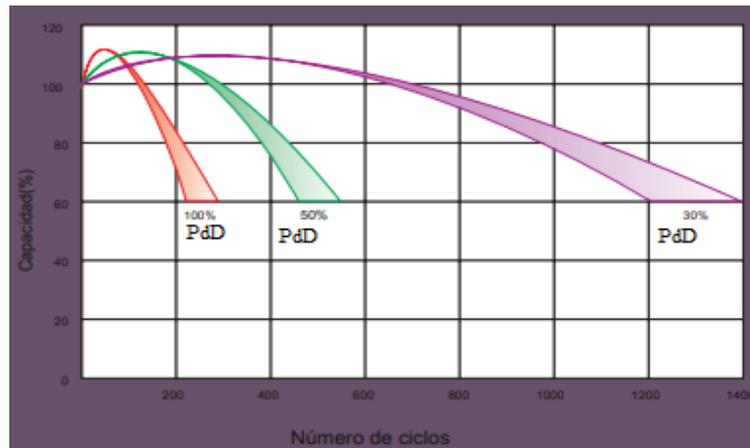
**Tabla 2-1:** Principales características de un acumulador de energía eléctrica

Características	Definición	Representación
Capacidad	Cantidad máxima de electricidad que puede almacenar, se mide en Amperios hora (Ah).	C5- 35Ah: descarga en 10 días
Profundidad de descarga (PdD)	Porcentaje sobre la capacidad máxima del acumulador que se puede extraer de la batería en condiciones normales.	PdD: 50% -100%
Eficiencia	Cantidad de energía que se puede utilizar como porcentaje de la cantidad de energía que se necesitó para almacenarla	80%
Duración	Periodo de vida útil	5000 ciclos o 10 años

**Fuente:** (Insa, 2020)

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

Los parámetros indicados en la Tabla 2-1, se relacionan ya que la capacidad y la profundidad de descarga dependen del tipo de acumulador y de las condiciones de trabajo, pero por lo general tienen valores del 30% a más del 90% de la capacidad y profundidad máxima, influyendo en la eficiencia y en la vida útil de la batería. Estas características se visualizan a través de gráficas, que relacionan los ciclos de vida con la capacidad de la batería, los efectos de temperatura y la profundidad de descarga.



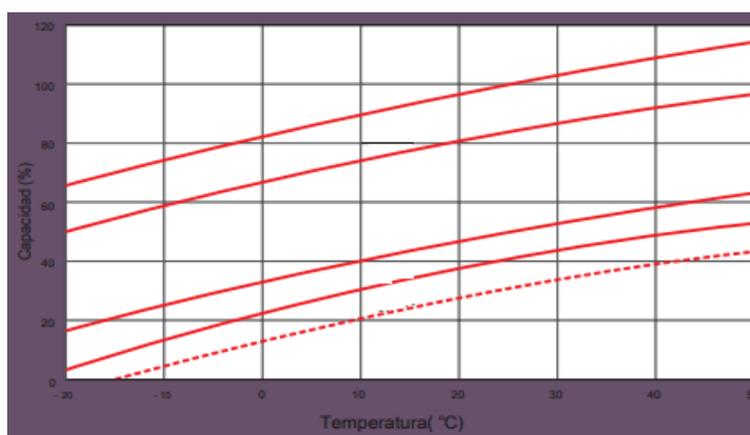
**Gráfico 4-1.** Ciclo de vida en relación con la profundidad de descarga

Fuente: (OMEGA POWER CO., LTD, sf)

Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

La vida útil se mide típicamente en ciclos por lo que un ciclo es un proceso completo de descarga de carga, hasta la profundidad de descarga (PdD) recomendada. Cuanto mayor es la profundidad de descarga, menos ciclos de uso da una batería, como se ve con mayor claridad en el Gráfico 4-1. (Sunfields Europe, sf)

Dado que las reacciones internas que tienen lugar en una batería son de naturaleza química, la temperatura tiene una influencia decisiva en estas reacciones. Por lo tanto, la tensión final recomendada para alcanzar el estado de carga completa debe ser mayor cuanto menor sea la temperatura, ya que las reacciones químicas tienen más dificultades de tener lugar y, por lo tanto, requieren más energía para que el proceso funcione. (SunMaster, 2020)



**Gráfico 5-1.** Efectos de la temperatura sobre la capacidad

Fuente: (OMEGA POWER CO., LTD, sf)

Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

Las temperaturas frías aumentan la resistencia interna y disminuyen la capacidad. Las baterías que ofrecerían una capacidad de 100% a 25 °C por lo general entregarán sólo el 60 por ciento a 10 °C. La disminución de la capacidad es lineal con la temperatura como se ve en el Gráfico 5-1, este fenómeno reafirma la necesidad de mantener la batería lo más aislada posible del frío. (Sunfields Europe, sf)

## Tipos de baterías

Existen cuatro tipos principales de tecnologías de baterías que se combinan con sistemas fotovoltaicos

**Tabla 3-1: Tipos de Baterías**

Batería de	Variantes	Ventajas	Desventajas	Uso ideal
Plomo ácido	Inundado Sellado: -Alfombrilla de cristal de absorción (AGM) -Gelificada (GEL)	Confiabilidad, bajo costo, reciclables.	Mantenimiento, baja profundidad de descarga (PdD), vida útil de 5 a 10 años	Sistemas fotovoltaicos fuera de la red, respaldos de emergencia
Litio	Ion-litio Polímero-litio	Sin mantenimiento, mayor PdD, vida útil mínima de 10 años	Costo elevado, posibilidad de fuga térmica	Sistemas fotovoltaicos residenciales
Cadmio de níquel	Nickel hidruro metálico	Operación a temperaturas elevadas, cero mantenimientos, alta durabilidad	Cadmio prohibido en algunos países por su toxicidad	Sistemas fotovoltaicos de servicios públicos
Flujo	Redox Híbridas Sin membrana	PdD del 100%, sin riesgo de fuga térmica	Costo muy elevado, tamaño relativamente grande	Sistemas fotovoltaicos a gran escala

Fuente: (Lane, 2020)

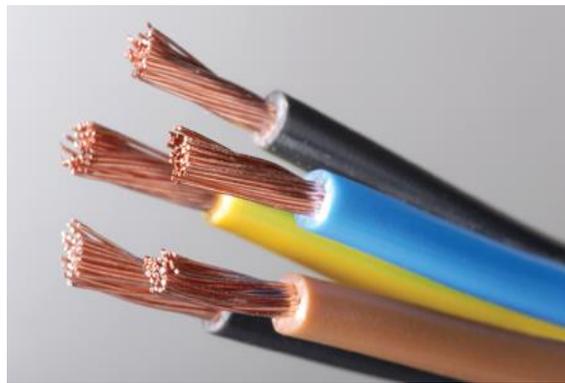
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

Los datos mencionados en la Tabla 3-1, dan a notar que la batería de plomo ácido es utilizada en sistemas fotovoltaicos aislados de la red, estas baterías tienen dos variantes actualmente. No hay una respuesta concreta sobre qué tipo de batería de plomo-ácido se debe obtener para un sistema fotovoltaico, depende de sus necesidades únicas. Las baterías de plomo ácido inundadas requieren un alto mantenimiento y tienen un mayor riesgo de derrame. Las baterías selladas, las de alfombrilla de cristal de absorción (AGM), son nombradas por su capacidad de soportar bajas

temperaturas y alta resistencia al impacto, sacudidas y vibraciones. Las baterías de gelificadas (GEL), utilizadas para aplicaciones de ciclo profundo debido a su capacidad para recuperarse de descargas más profundas y altas temperaturas. (2020)

#### 1.3.1.6 Cableado Eléctrico

Es el elemento que transporta la energía eléctrica desde su generación, para su posterior distribución y transporte. Su dimensionamiento está determinado por el criterio más restrictivo entre la máxima diferencia de potencial y la máxima intensidad admisible.



**Figura 12-1.** Cables para instalaciones solares  
Fuente: (e-XII, 2021)

Obviamente, el dimensionamiento del cableado eléctrico es mucho mayor en el caso de instalaciones solares conectadas a la red, que en el de instalaciones solares aisladas. En el caso de las instalaciones aisladas, sólo es necesario transferir la energía eléctrica localmente, generalmente a las baterías eléctricas. (Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), 2018)

#### 1.3.2 Dimensionamiento de SFVA

##### **Cálculo de la demanda energética**

El primer paso es el cálculo de la demanda energética. Este valor es la sumatoria de los consumos previstos de energía tanto en CC como en CA. Se recomienda el incremento de un 10% para demanda futura.

## Cálculo de la radiación sobre superficie inclinada y horas solares

Para calcular la media mensual de radiación diaria sobre la superficie del módulo fotovoltaico se debe usar la Ecuación 1-1.

### Ecuación 1-2. Radiación sobre superficie inclinada

$$\overline{H}_T = k \times \overline{H} \left( \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} \text{ día} \right)$$

Donde  $\overline{H}$  es la media mensual diaria de radiación sobre una superficie horizontal y  $k$  se escoge de entre las tablas que se encuentran en los Anexos de la NEC. Una latitud positiva significa norte y una latitud negativa significa sur.

El número de horas diarias ( $HS$ ) de irradiación solar a  $1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  determina el número de horas de sol día.

Estimación del rendimiento global del sistema (PR)

El rendimiento por funcionamiento a temperaturas diferentes de las condiciones normales se calcula según las ecuaciones siguientes. Se asume que la radiación instantánea es de  $1000 \text{ W/m}^2$ .

### Ecuación 2-1. Rendimiento por operación a temperatura diferente de la estándar de medida

$$\eta_{temp} = 1 - C_T(T_c - 25)$$

### Ecuación 3-1. Temperatura de la celda

$$T_c = T_a + 1,25(NOCT - 20)$$

### Ecuación 4-1. Coeficiente de variación de la potencia

$$C_T = \Delta I_{SC,T} \Delta V_{OC,T}$$

Donde  $T_c$  es la temperatura de la celda a una irradiación de  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $T_a$  es la temperatura ambiente y  $NOCT$  es la temperatura de operación normal de la celda y que viene especificada en las hojas técnicas del proveedor. En caso de que el proveedor no especifique el valor de  $NOCT$  se asumirá el valor de  $45^\circ\text{C}$ .  $C_T$  es el coeficiente de variación de la potencia por funcionamiento

a temperaturas diferentes de los estándares de prueba. En caso de no disponer de este valor se puede asumir el valor de 0,005.

### **Cálculo de la potencia pico del arreglo fotovoltaico**

El cálculo de la potencia en los módulos fotovoltaicos se la hace de acuerdo con la Ecuación 5-1.

**Ecuación 5-1.** Potencia pico del arreglo fotovoltaico

$$Pot_p = \frac{Demanda\ energética}{HS \times PR}$$

El rendimiento global del sistema se calcula con la Ecuación 6-1.

El rendimiento por efectos de suciedad no debe ser inferior a 2% El rendimiento por pérdida en los cables debe cumplir lo dispuesto en la NEC. Los rendimientos del regulador, banco de baterías e inversor, deben ser tomados de las hojas técnicas de los proveedores. El rendimiento debido a las pérdidas por auto descarga del banco de baterías no debe ser inferior a 1%.

**Ecuación 6-1.** Rendimiento global del sistema

$$PR = \eta_{temp} \times \eta_{suc} \times \eta_{reg} \times \eta_{cab} \times \eta_{bat} \times \eta_{aut} \times \eta_{inv}$$

### **Capacidad del banco de baterías**

Se mide en Amperios hora (Ah) y se calcula según la fórmula:

**Ecuación 7-1.** Capacidad del banco de baterías

$$C_{Bat} = \frac{Demanda\ energética \times Días\ de\ autonomía}{PdD \times Voltaje\ del\ sistema}$$

Se recomienda el dimensionamiento a una profundidad de descarga (PdD) según el tipo de batería a utilizar, los días de autonomía para los cuáles se conectará los dispositivos y el voltaje del sistema que los más comunes son 12 y 24 voltios (V). Para baterías de plomo ácido abierta tiene

un PdD de 50%, y para baterías de plomo ácido sellada de elemento absorbente (AGM) y gelificada (GEL) tienen un 60% hasta 80%, este valor depende de la hoja de datos de cada batería.

### **Controlador de carga e inversor**

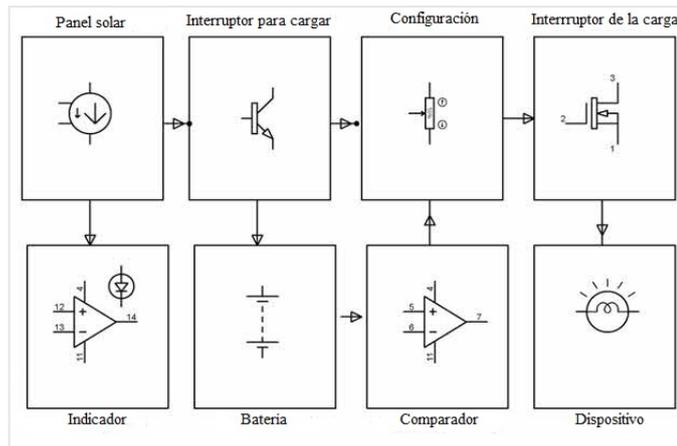
Se escoge de acuerdo con la intensidad de corto circuito del arreglo fotovoltaico. Se utiliza la corriente de corto circuito del panel fotovoltaico escogido y multiplicado por un factor de seguridad de 1,25 por lo que se diseñará un regulador para esta característica. Para determinar la potencia del inversor se toma el valor de la carga instalada en AC, afectada por un factor de seguridad de 1,25 que absorbe ciertos picos de potencia. Se debe tomar en cuenta la eficiencia del inversor para calcular la intensidad de corriente que circula entre la batería y el inversor.

### **Cableado eléctrico**

El calibre de los diferentes conductores se debe ceñir a los requerimientos eléctricos de ampacidad, caída de voltaje y seguridad en cada parte del sistema. Todos los terminales de los cables deben permitir una conexión segura y mecánica fuerte. Deben tener una resistencia interna pequeña, que no permita caídas de tensión superiores al 0,5 % del voltaje nominal. Esta condición es aplicable a cada terminal en las condiciones de máxima corriente. (Ministerio de Desarrollo Humano y Vivienda (MIDUVI), 2011)

#### **1.4 Controlador de carga**

También conocido como cargador o regulador, es el dispositivo encargado de optimizar y administrar la carga de las baterías, por lo cual, este es un equipo utilizado principalmente en los sistemas aislados de la red.



**Figura 13-1.** Diagrama de bloques del controlador de carga

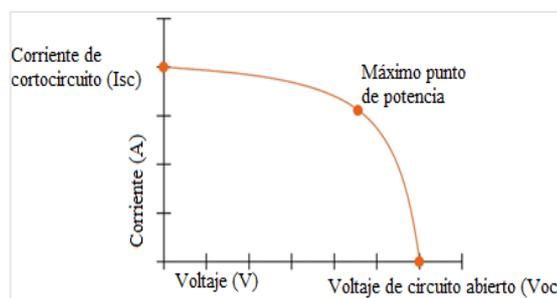
Fuente: (Edgefxkits, sf)

Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

En la Figura 13-1, se distingue los bloques para controlar la entrada de la energía proveniente del panel fotovoltaico, a medida que esta energía se eleva, el controlador regula la carga de las baterías para evitar alguna sobrecarga, evitando que la tensión excesiva las dañe, y desconecta los dispositivos cuando la batería estén un nivel bajo de voltaje.

#### 1.4.1 Tipos de controladores de carga

Hay dos métodos el de modulación de ancho de pulso (PWM) y el seguimiento de punto de máxima potencia (MPPT). Estas tecnologías se utilizan principalmente en la industria solar fuera de la red, y son buenas opciones cuando se trata de cargar la batería de manera eficiente. Al diferenciar PWM y MPPT, no va a ser acerca de cuál es mejor que el otro. Lo que se debe determinar al elegir entre PWM y MPPT es el tipo que funcionará mejor en el diseño del sistema.



**Figura 14-1.** Curva de potencia de un panel fotovoltaico

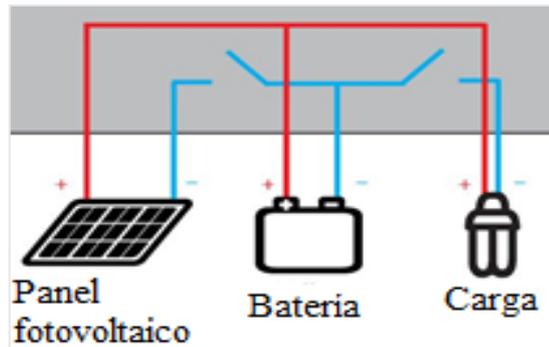
Fuente: (SunMaster, 2020)

Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

Para entender la diferencia entre estos dos, se debe observar la curva de potencia habitual de un panel fotovoltaico. En la Figura 14-1, se muestra la potencia, al tomar en cuenta el voltaje y corriente suministrado por el panel fotovoltaico. (Estévez, y otros, 2017)

### 1.4.1.1 Controladores de carga PWM

Esto sucede cuando el banco de energía está lleno, como se está cargando, el controlador de carga solar deja entrar tanta corriente como el panel fotovoltaico puede generar para lograr el voltaje objetivo para la etapa de carga. A medida que la batería alcanza su voltaje objetivo, el controlador cambiará entre la batería y el panel solar. (Paipa, y otros, 2018)

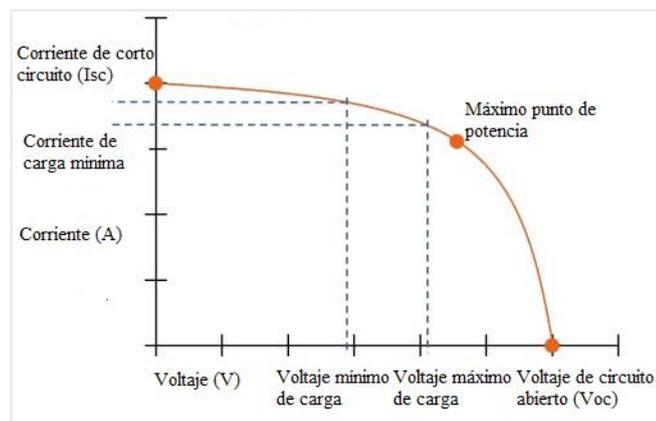


**Figura 15-1.** Controlador de carga PWM

Fuente: (SunMaster, 2020)

Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

El banco de baterías se desconectará, lo que regula el voltaje de la batería y la hace constante. Este método de cambio rápido se llama PWM, y lo que esto hace es asegurarse de que la batería se carga mientras se evita el proceso de sobrecarga.



**Figura 16-1.** Curva de potencia para un panel con controlador PWM

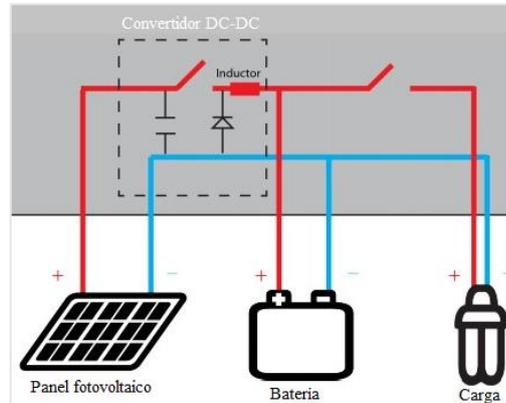
Fuente: (SunMaster, 2020)

Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

El controlador PWM generalmente funcionará ligeramente por encima del punto de potencia máximo. La Figura 16-1, muestra su rango de funcionamiento.

### 1.4.1.2 Controladores de carga MPPT

Proporciona una conexión indirecta entre la batería y el panel fotovoltaico. Esta conexión indirecta incluye un convertidor de voltaje CC/CC que toma el voltaje del panel y lo transforma en una corriente adicional a un voltaje más bajo sin necesidad de perder energía.

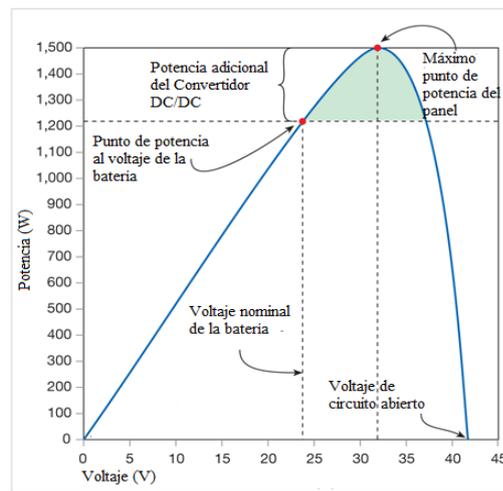


**Figura 17-1.** Controlador de carga MPPT

Fuente: (SunMaster, 2020)

Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

Los controladores MPPT son capaces de hacer esto debido a un algoritmo adaptativo que sigue el MPPT del panel, que luego ajusta la tensión entrante para mantener el nivel de potencia más eficiente para el sistema en su lugar.



**Figura 18-1.** Curva de potencia para un panel fotovoltaico con controlador MPPT

Fuente: (DS New Energy, 2020)

Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

El controlador MPPT generalmente funcionará en el punto de potencia máximo, debido a la potencia adicional suministrado por el convertidor. La Figura 18-1, muestra su rango de funcionamiento.

### 1.4.1.3 Comparación entre controlador PWM y MPPT

Al elegir el controlador adecuado, se debe tener en cuenta varios factores. Estos incluyen las condiciones del sitio, del panel fotovoltaico y la carga, los componentes del sistema y el costo de su sistema de energía solar. Para que sea más fácil determinar el tipo de controlador de carga necesario, se realiza una comparación en la Tabla 4-1.

**Tabla 4-1:** Comparación entre el controlador de carga PWM y MPPT

Variables\Controlador	PWM	MPPT
Voltaje del panel fotovoltaico	Tensión fotovoltaica y voltajes de la batería deben coincidir	El voltaje de la matriz fotovoltaica puede ser mayor que el voltaje de la batería
Voltaje de la batería	Funciona a la tensión de la batería para que funcione bien en temperaturas cálidas y cuando la batería está casi llena	Funciona por encima del voltaje de la batería por lo que se puede proporcionar "impulso" en las temperaturas frías y cuando la batería está baja.
Tamaño del sistema	Normalmente recomendado para su uso en sistemas más pequeños donde los beneficios de MPPT son mínimos	150W – 200W o superior para aprovechar los beneficios de MPPT
Aislado de la red	Debe utilizar módulos fotovoltaicos fuera de la red normalmente con $V_{mp} \approx 17$ a 18 V por cada voltaje nominal de la batería de 12V	Permite el uso de módulos fotovoltaicos de menor costo/lazo de rejilla que ayudan a reducir el costo general del sistema fotovoltaico
Método de dimensionamiento de arreglo fotovoltaico	Arreglo fotovoltaico basado en la corriente producida cuando está funcionando a la tensión de la batería	Arreglo fotovoltaico basado en máxima corriente de carga y Voltaje de la batería
Temperatura	0 °C a 50 °C	-40 °C a 60°C

Fuente: (SunMaster, 2020)

Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

Para condiciones más frías, un controlador MPPT sería la opción más inteligente. Esto se debe a que a medida que la temperatura de funcionamiento del módulo solar baja, el voltaje de máxima potencia ( $V_{mp}$ ) aumenta. Con el controlador MPPT, puede capturar el exceso de voltaje del

módulo solar para cargar sus baterías. Esto hace que el controlador MPPT 20-25% más eficaz que el controlador PWM en condiciones más frías. (Botina, y otros, 2015)

El controlador PWM, por otro lado, sería incapaz de captar el exceso de voltaje como la batería carga en el mismo voltaje que la tecnología de modulación de ancho de pulso. Sin embargo, cuando estos paneles se colocan en lugares con temperatura más cálida, su  $V_{mp}$  disminuirá, y el punto de potencia pico funcionará a un voltaje más cercano al de la batería. Dado que no hay exceso de tensión para ser transferido en este caso, la utilidad del MPPT se volverá innecesaria. Esto anula la ventaja que MPPT tiene sobre PWM. (SunMaster, 2020)

Los paneles solares independientes fuera de la red suelen ser 36 celdas solares que son compatibles con las tecnologías PWM y MPPT. Otros módulos solares de enlace a la red disponibles hoy en día no son módulos de 36 celdas, por lo que es incompatible con los sistemas de energía fuera de la red. Un ejemplo de esto sería un panel de 60 celdas y 250W. Esto es demasiado bajo para una carga de batería de 24 voltios, y demasiado alto para una carga de batería de 12 voltios. Con la tecnología MPPT, puede rastrear el MPPT de estos módulos de enlace a la red menos costosos al cargar la batería. El controlador PWM no tiene esta función. Por lo cual si se trabaja con panel de menor potencia ya sea por el costo o por la aplicación destinada, el controlador PWM será la elección. (Julio, y otros, 2014)

Los controladores MPPT son más costosos que los controladores PWM. Sin embargo, el beneficio de utilizar MPPT es el hecho de que es más eficiente en condiciones particulares. Si desea comprar un MPPT, sería mejor comprobar primero si la función especializada del MPPT se puede aplicar en las condiciones dadas del sitio. Si descubre que allí las funciones del MPPT no son aplicables en el sitio elegido, entonces sería óptimo elegir el controlador PWM. (Guachamin, y otros, 2018)

## **1.5 Tarjetas de desarrollo**

El microcontrolador en sí es sólo una pieza del rompecabezas. Para poder usarlo, tiene que ser programado y cargado. La programación requiere el uso de herramientas de programación en el computador principal. Eso requiere tanto software como hardware, una vez que el programa está en el microcontrolador, es necesario un circuito de alimentación y un cristal de reloj externo adecuado, para su funcionamiento óptimo. Todo esto puede ser un montón de trabajo, y un montón de piezas que necesitan ser unidas. Afortunadamente, existen tarjetas o placas de desarrollo con un circuito preconstruido que tiene un microcontrolador preconectado en su forma recomendada. (Bartlett, 2020)

### 1.5.1 Microcontrolador

Este es el dispositivo central en el cual está basado la tarjeta de desarrollo. Es importante conocer este componente, ya que de él van a depender las posibilidades para realizar nuestro proyecto. (Concepción, 2020)

La razón por la que se necesita un microcontrolador se puede ejemplificar a través un simple proyecto: Un sistema de control de calor, suponiendo los requerimientos de la Tabla 5-1.

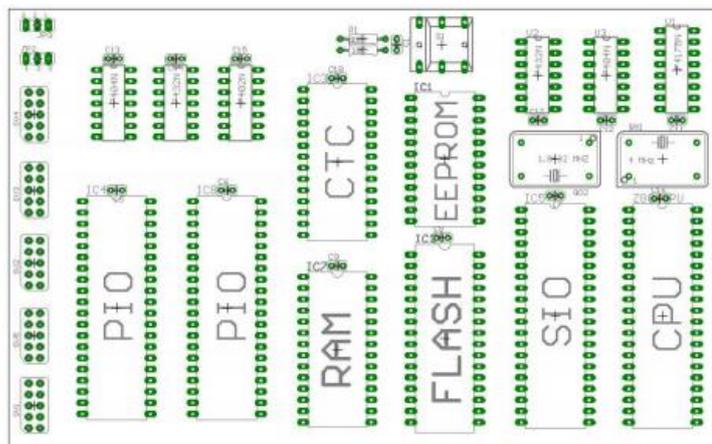
**Tabla 5-1:** Requerimientos de ejemplo

Función	Valores
Leer periódicamente la temperatura	Valor analógico, es digitalizada por el sensor; utiliza una interfaz de 4 bits
Controlar la calefacción de acuerdo con la temperatura	Encender/apagar el calentador; 1 bit
Mostrar la temperatura actual en una simple pantalla numérica de 3 dígitos	8+3 bits
Permitir al usuario ajustar los umbrales de temperatura	botones; 4 bits
Configurar/actualizar el sistema a través de una interfaz en serie.	

**Fuente:** (Gridling, y otros, sf)

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

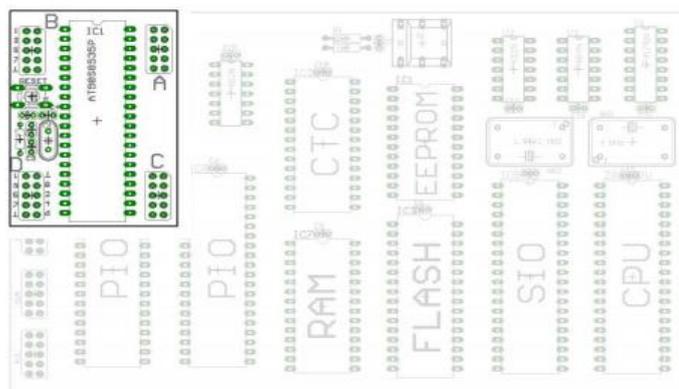
Si se diseña una placa de circuito impreso (PCB) usando un microprocesador Z80 de Zilog. En la placa, se ubica el Z80 CPU, 2 PIOs (E/S paralelas; cada chip tiene 16 líneas de E/S, se necesita 20), 1 SIO (E/S en serie; para la comunicación con el PC), 1 CTC (Temporizador, para acciones periódicas), SRAM (para variables), Flash (para memoria de programa), y EEPROM (para constantes). La disposición de la placa resultante se muestra en la Figura 19-1; cómo se puede ver, hay muchos chips en la placa, que ocupan la mayor parte del espacio (10 × 16 cm).



**Figura 19-1.** Disposición de la placa Z80 para 32 terminales de E/S y Flash, EEPROM, SRAM

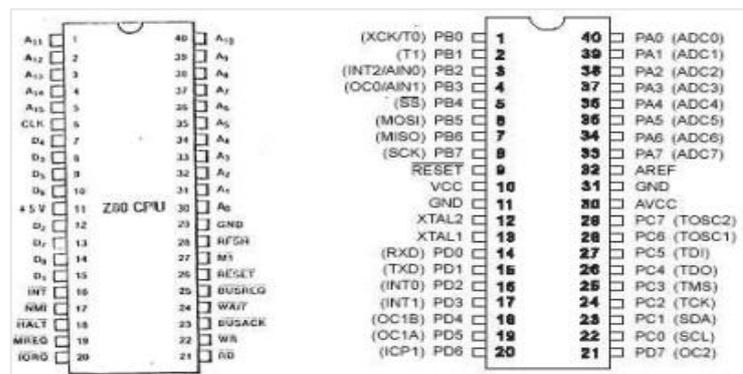
**Fuente:** (Gridling, y otros, sf)

También se puede resolver el proyecto con la placa ATmega16. En la Figura 19-1, se puede ver la parte correspondiente de esta placa superpuesta al Z80 PCB. La reducción de tamaño es aproximadamente un factor 5-6, y la placa ATmega16 tiene aún más características que la placa Z80 (por ejemplo, un convertidor analógico). La razón por la que no se necesita mucho espacio para la placa ATmega16 es que todos esos chips de la placa Z80 están integrados en el microcontrolador ATmega16, resultando en una reducción significativa del tamaño del PCB. Este ejemplo demuestra claramente la diferencia entre microcontrolador y microprocesador: el microcontrolador es un procesador con memoria y un montón de otros componentes integrados en un chip. El ejemplo también ilustra por qué los microcontroladores son útiles: La reducción del tamaño del PCB ahorra tiempo, espacio y dinero.



**Figura 20-1.** Placa ATmega16 superpuesta a la placa Z80  
Fuente: (Gridling, y otros, sf)

La diferencia entre los microcontroladores y los microprocesadores también es obvia por sus terminales. La Figura 21-1, muestra los terminales del microprocesador Z80. Se ve una típica disposición de las patillas del procesador, con las patillas de dirección A0-A15, terminales de datos D0-D7, y algunos terminales de control como INT, NMI o HALT.



**Figura 21-1.** Terminales del procesador Z80 (izquierda) y del controlador ATmega16 (derecha)

Fuente: (Gridling, y otros, sf)

En contraste, el ATmega16 no tiene ni dirección ni terminales de datos. En su lugar, tiene 32 terminales de E/S de propósito general PA0-PA7, PB0-PB7, PC0-PC7, PD0-PD7, que pueden ser usados para diferentes funciones. Por ejemplo, PD0 y PD1 pueden utilizarse como líneas de recepción y transmisión de la interfaz serie incorporada. Aparte de la fuente de alimentación, los únicos terminales dedicados en el ATmega16 son el RESET, el cristal/oscilador externo XTAL1 y XTAL2, y la referencia de voltaje analógico AREF. (Gridling, y otros, sf)

Una vez contextualizado el uso de los microcontroladores, se plantea la cuestión de qué microcontrolador utilizar para una aplicación determinada. Dado que los costos son importantes, es lógico seleccionar el dispositivo más barato que se ajuste a las necesidades de la aplicación. Como resultado, los microcontroladores se adaptan generalmente a aplicaciones específicas, y hay una amplia variedad de microcontroladores para elegir.

La primera elección que debe hacer un diseñador es la familia de controladores, que define la arquitectura del controlador. Todos los controladores de una familia contienen el mismo núcleo de procesador y, por lo tanto, son compatibles con el código, pero difieren en los componentes adicionales como el número de temporizadores o la cantidad de memoria.

**Tabla 6-1:** Comparación de los controladores AVR de 8 bits (ATmega, ATtiny, AVR)

Microcontrolador	Flash (KB)	SRAM (Byte)	EEPROM (Byte)	E/S terminales	A/D (Canales)	Interfaces	Salidas PWM
ATMEGA1608	16	2048	256	32	12	UART, SPI, I2C	9
ATMEGA1609	16	2048	256	48	16	UART, SPI, I2C	11
ATMEGA328P	32	2048	1024	32	8	UART, SPI, I2C	6
ATMEGA328PB	32	2048	1024	32	8	UART, SPI, I2C	10
ATmega32A	32	2048	1024	44	8	UART, SPI, I2C	4
ATtiny13A	1	64	64	8			2
ATtiny102	1	32		8		UART	2
ATtiny104	1	32		14		UART	2
ATTINY1604	16	1024	256	14	12	UART, SPI, I2C	
ATTINY1606	16	1024	256	20	12	UART, SPI, I2C	
AVR128DA28	64	8192	512	64	22	UART, SPI, I2C	
AVR128DA32	128	16384	512	32	14	UART, SPI, I2C	
AVR128DA48	128	16384	512	48	18	UART, SPI, I2C	
AVR128DA64	128	16384	512	64	22	UART, SPI, I2C	
AVR128DB28	128	16384	512	28	10	UART, SPI, I2C	

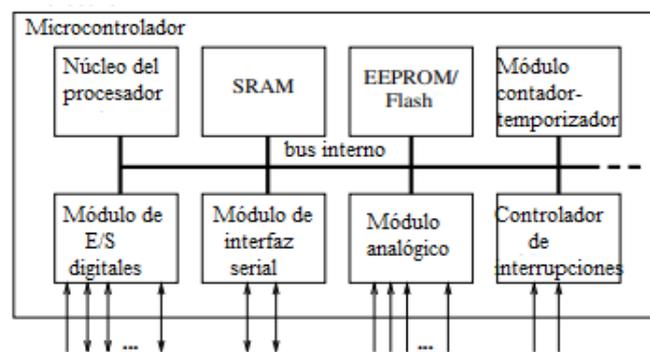
Fuente: (Microchip Technology Inc, 2020)

Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

La Tabla 6-1 muestra una selección de microcontroladores de la familia AVR de Atmel, con características básicas como la memoria, terminales de entrada y salida e interfaces, entre otros. Lo que todos estos controladores tienen en común es su núcleo de procesador AVR, que contiene 32 registros de propósito general y ejecuta la mayoría de las instrucciones dentro de un ciclo de reloj, la velocidad de CPU mayor a 12 Millones de instrucciones por segundo (MIPS), la resolución de 10 bits como mínimo del convertidor analógico digital y el rango de tensión de funcionamiento de 1,8 a 5,5 voltios. (Microchip Technology Inc, 2020)

Una vez seleccionada la familia de microcontroladores, el siguiente paso es elegir el adecuado para el proyecto que debe cubrir los requisitos de hardware de la aplicación, también es importante estimar la velocidad y los requisitos de memoria de la aplicación y rendimiento suficiente. En cuanto a la memoria, existe una regla general que establece que una aplicación no debe ocupar más del 80% de la memoria. (Guzmán, y otros, 2016)

Los diseños internos básicos de los microcontroladores son bastante similares.



**Figura 22-1.** Diseño básico de un microcontrolador

Fuente: (Cervera, y otros, 2017)

Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

La Figura 22-1, muestra el diagrama de bloques de un microcontrolador típico. Todos los componentes están conectados a través de un bus interno y están todos integrados en un chip. Los módulos están conectados al mundo exterior a través de terminales de entrada y salida (E/S).

La Tabla 7-1 contiene los módulos que se encuentran típicamente en un microcontrolador.

**Tabla 7-1:** Módulos de un microcontrolador

Núcleo del procesador o CPU	Contiene la unidad aritmética lógica, la unidad de control y los registros
Memoria	Se divide a veces en memoria de programa y memoria de datos
Controlador de interrupción	Interrumpen el flujo normal del programa en caso de eventos externos o internos (importantes)
Temporizador/contador	Tienen al menos uno, usados para marcar el tiempo de los eventos, medir los intervalos o contar los eventos.

Salidas PWM	Pueden utilizarse para dispositivos de conmutación, motores de tracción o para una frenada segura (sistema antibloqueo de frenos, ABS).
E/S digitales	El número de terminales de E/S varía de 3-4 a más de 90, dependiendo de la familia de controladores y el controlador tipo
E/S analógicas	La mayoría integra convertidores analógicos/digitales, que difieren en el número de canales (2-16) y su resolución (8-12 bits). También cuenta generalmente con un comparador analógico y en algunos casos, incluye convertidores digitales/analógicos.
Interfaces	Generalmente tienen al menos una interfaz serial que puede ser utilizada para descargar el programa y para la comunicación con el PC de desarrollo en general.
Temporizador de vigilancia	Este temporizador para reiniciar el controlador en caso de que el software no funcione. Es importante para evitar errores en el programa y/o el hardware.
Unidad de depuración	Algunos controladores están equipados con hardware adicional para permitir la depuración remota del chip desde el PC.

**Fuente:** (Gridling, y otros, sf)

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

En resumen, un microcontrolador es un procesador desnudo que está equipado con memoria, temporizadores, terminales de entrada y salida. El elemento impulsor detrás de todo esto es el costo; la integración de todos los elementos en un chip ahorra espacio y conduce tanto a menores costes de fabricación como tiempos de desarrollo más cortos. Esto ahorra tanto tiempo como dinero, que son factores clave en la integración sistemas. Otras ventajas de la integración son la facilidad de actualización y el menor consumo de energía, y una mayor fiabilidad, que también son aspectos muy importantes en los sistemas incorporados. En el lado negativo, usando un microcontrolador para resolver una tarea en el software que también podría ser resuelta con una solución de hardware no le dará la misma velocidad que la solución de hardware podría alcanzar. Por lo tanto, las aplicaciones que requieren tiempos de reacción muy cortos podrían aún requerir una solución de hardware. Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones, y en particular los que requieren algún tipo de interacción humana (microondas, teléfono móvil), no necesitan tiempos de reacción tan rápidos, así que para estas aplicaciones los microcontroladores son una buena elección. (Gridling, y otros, sf)

### ***1.5.2 Entornos de programación***

Un entorno de programación es un conjunto de herramientas para el computador que permite crear programas para el microcontrolador. Además, un dispositivo llamado programador de insumos (ISP) conecta el computador al microcontrolador o a la placa de desarrollo y transmitirá el programa. (Bartlett, 2020)

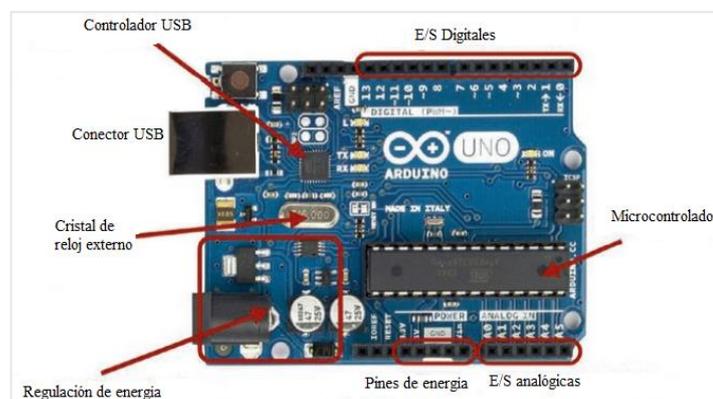
Los sistemas basados en microcontroladores ofrecen un gran avance en control interno y externo, pueden controlar la mayoría de los dispositivos internos de una placa de circuito típico, tienen aplicaciones de gran alcance en el campo de la instrumentación. (Vivek, y otros, 2015)

La mayoría tienen interfaces incorporadas que pueden ser controladas por el microcontrolador. Tienen una interfaz USB a través de la cual se interconecta con dispositivos externos como un computador o un servidor, los fabricantes de microcontroladores proveen programas de interfaz en forma de librerías de ventanas enlazadas dinámicamente (DLL), que puede ser compilado junto con las aplicaciones de interfaz. (Pratap, y otros, 2016)

Muchos sistemas de adquisición de datos utilizan microcontrolador e interfaz USB. La programación del microcontrolador se hace en el tradicional lenguaje C. La aplicación en el computador central o en el servidor es generalmente escrito en lenguaje C con sus variantes como C++, Visual C++, Java, etc. (DeBoer, y otros, 2013)

#### 1.5.2.1 Arduino IDE

Consiste en un entorno de desarrollo simplificado para que el computador escriba software para microcontroladores, para facilitar la construcción de proyectos electrónicos, y la integración del programador del sistema en la misma tarjeta de desarrollo de modo que todo lo que se requiere para transferir el programa al microcontrolador es un cable USB.



**Figura 23-1.** Los principales componentes del Arduino Uno

Fuente: (Bartlett, 2020)

Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

En la Figura 23-1, se observa la disposición de los terminales de entrada/salida (E/S) digitales y analógicos, así como el conector USB para la interfaz entre el computador y la tarjeta para transmitir el programa desarrollado.

El entorno de Arduino soporta un número de diferentes microcontroladores. Al ser un entorno simplificado, muchas de las características especiales de éstos no están directamente soportadas. Sin embargo, para realizar proyectos, el entorno de Arduino es excelente. Aunque hay una compañía detrás de Arduino, hay muchas tarjetas compatibles hechas por otros fabricantes. Normalmente, la única desventaja de esto es que, en algunos sistemas operativos, se necesita un controlador adicional para comunicarse. (Bartlett, 2020)

Los microcontroladores de Arduino ya están establecidos para su uso de alta calidad de bajo costo en equipos científicos y de ingeniería. (Salazar, y otros, 2019)

Se han utilizado para investigación oceanográfica, espectrometría de masas, microscopía, investigación de la visión, mecatrónica, óptica, electroforesis y de imágenes. Han aplicado a los sistemas para los sensores de hardware abierto, incluyendo colorimetría, nefelometría, presión monitoreo, interruptores inteligentes, y optimización de imágenes en vivo, en operaciones de detección de campo como la humedad del suelo, desarrollando un sensor inalámbrico nodo para monitorear las granjas avícolas y un ambiente sistema de nubes de sensores usando el campo abierto para el fenotipado de alto rendimiento (OpenFS). Son una tecnología establecida para controles, utilizados como controladores en numerosos proyectos desafiantes como los de los vehículos aéreos, robots, y micro fluidos. (Salazar, y otros)

## **PlataformIO**

Es una versión en línea de comandos y puede ser utilizada para convertir un editor de texto en un IDE para desarrollar el software de Arduino También se puede utilizar para crear archivos de proyecto para una serie de IDE populares. (Dunbar, 2020) Es un sistema que permite escribir, compilar y subir programas a las tarjetas de Arduino, ya sea en formato simple como en el IDE de Arduino o en C/C++. (PlataformIO Labs, 2021)

## **Matlab**

El paquete de soporte de MATLAB para Arduino permite escribir programas de MATLAB que leen y escriben datos en las tarjetas de Arduino y otros dispositivos conectados, tales como Adafruit Motor Shield, I2C y SPI. Ya que MATLAB es un lenguaje interpretado de alto nivel, la programación resulta más fácil que con C/C++ y otros lenguajes compilados, de forma que se pueden ver resultados de las instrucciones de E/S inmediatamente, sin necesidad de compilación.

MATLAB incluye miles de funciones matemáticas, de ingeniería y de representación gráfica integradas que permiten analizar y visualizar con rapidez los datos recopilados.

MATLAB presenta como ventajas, la lectura y escritura de datos de sensor de forma interactiva sin necesidad de esperar a la compilación del código, el análisis de los datos de sensor mediante miles de funciones prediseñadas para el procesamiento de señales, el aprendizaje automático, el modelado matemático, etc., y la visualización rápida de los datos gracias a la amplia gama de tipos de gráficos de MATLAB. (MathWorks, 2020)

## **LabVIEW**

Es una plataforma y un entorno para la programación gráfica de diseño de sistemas, utilizado por ingenieros e investigadores. Recomendado para sistemas de hardware y software de prueba, control y diseño, simulado o real, utilizando iconos gráficos e intuitivos y líneas de conexión como un diagrama de flujo. Ofrece una integración con múltiples dispositivos de hardware y proporciona múltiples librerías integradas para el análisis avanzado de datos, todo ello para crear instrumentación virtual. (National Instruments, 2020)

Es el software estándar para mediciones y controles de laboratorio. Es más fácil integrar o expandir el sistema integrado con algún otro sistema controlado por LabVIEW para construir un sistema aún más complejo. Cuenta con un kit de herramientas de nivel básico de Arduino y LabVIEW entre los cuales está el complemento de Arquitectura de software de instrumentos virtuales (VISA), y LINX que facilita el desarrollo de aplicaciones embebidas usando LabVIEW. Con estas herramientas, no se puede programar la placa Arduino, en cambio, sólo se puede programar en LabVIEW. (National Instruments, 2020 pág. 5)

Para una tarea compleja, definitivamente se debe codificar sus propias aplicaciones en el IDE Arduino y manipular los datos en LabVIEW (Salazar, y otros, 2019).

### *1.5.2.2 Microchip Studio*

Anteriormente denominado Atmel Studio, es una plataforma de desarrollo integrado (IDP) para desarrollar y depurar aplicaciones de microcontroladores AVR. Combina todas las excelentes características y funcionalidades de Atmel Studio en la cartera de herramientas de desarrollo bien soportada de Microchip para ofrecer un entorno sencillo y fácil de usar para escribir, crear y depurar sus aplicaciones escritas en C/C++ o código de ensamblado, así como proveedores de herramientas y software integrado de terceros.

Microchip Studio también puede importar sin problemas bocetos de Arduino® como proyectos de C++. A pesar de que viene con un nuevo nombre y aspecto, todavía podrá utilizar cualquier documentación y videos existentes sobre Atmel Studio para aprender a usar Microchip Studio. (Microchip Technology Inc, 2020)

### 1.5.3 Adquisición de datos

Los sistemas de adquisición de datos (SAD) tienen la característica de convertir señales del entorno en datos digitales equivalentes que pueden ser manipulados, las posibles aplicaciones que se pueden desarrollar con estos sistemas solo dependerán de la función a implementar. (Cajas, y otros, 2012)

Los elementos de un SAD se desglosan en la siguiente Tabla 8-1.

**Tabla 8-1:** Elementos del sistema de adquisición de datos

Elementos	Característica
Fuentes de señales de ingreso	Son todas fuentes eléctricas que pueden penetrar en este sistema y se dividen en dos tipos: directas e indirectas.
Acondicionamiento de señales	Tiene la función de acoplar una señal que se encuentre dentro del rango válido para lectura en el ADC utilizado, este acople se realiza mediante los siguientes procesos, tales como: proceso de amplificación, aislamiento, multiplexado, filtrado, linealización, muestreo y almacenamiento.
Elementos de procesamiento de señales.	Se refieren a los convertidores A/D y D/A que se requieren para este tipo de sistema.
Instrumentos de medición y despliegue de datos.	Permiten la validación del proceso de adquisición a través de una fuente visible, ya sea numérica o gráfica, permitiendo a los usuarios tener una línea base de validación del proceso en cuestión.
Instrumentos de registros gráfico.	Permiten comprobar la evolución de este proceso mediante una interfaz gráfica que permite visualizar escalas para mejorar la calidad de dicho desarrollo gráfico.

**Fuente:** (Acosta, y otros, 2004)

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

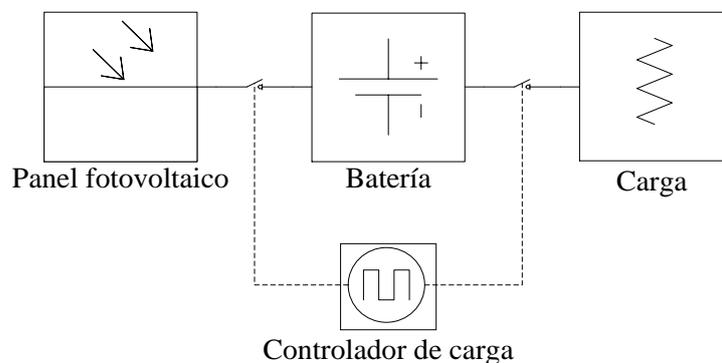
## CAPÍTULO II

### 2 PROPUESTA Y DISEÑO DE PROTOTIPO

En este apartado se detalla el diseño del controlador de carga, la caracterización del sistema fotovoltaico, el método y modalidad de carga y los circuitos que permiten ejecutar el prototipo.

#### 2.1 Generalidades

Para iniciar con el diseño del controlador de carga como tal, se debe partir desde el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, para tener como datos la potencia de la carga que se va a conectar, para determinar la potencia pico del panel fotovoltaico necesario, así como la capacidad de la batería o acumulador. El objetivo de diseñar e implementar un controlador de carga, es mantener o alargar la vida útil de la batería, regulando la carga de la batería para evitar la descarga profunda y la carga excesiva de la misma. De una manera muy general, el diseño de este controlador se puede describir como en la Figura 1-2, en la que se distingue la operación del controlador de carga que, mediante las características de la carga de la batería, realiza la conexión del panel fotovoltaico o de la carga según sea el caso.



**Figura 1-2.** Diagrama de bloques conceptual de las funciones de un controlador de carga

**Realizado por:** (Cruz, y otros, 2021)

La ubicación de indicadores y posicionamiento de las borneras está basada en un controlador comercial el Morningstar SHS6.

### 2.1.1 Características del sistema fotovoltaico

Para caracterizar el sistema se realiza el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, en el cual se utilizará como carga la iluminación de 15 W cada uno, esta es una carga de corriente continua (CC).

**Tabla 1-2: Demanda energética**

Equipo	N	CC/CA	Tiempo estimado de uso $\frac{\text{hora}}{\text{día}}$	Capacidad instalada W	Demanda energética $\frac{\text{Wh}}{\text{día}}$
Luces	1	CC	5	15	75
TOTAL	1		5	15	82,5

Realizado por: (Cruz, y Jaramillo, 2021)

En la Tabla 1-2, se indica la demanda energética con su respectivo aumento del 10% para demanda futura. Este resultado lo categoriza como un sistema fotovoltaico aislado de la red residencial ya que su potencia es menor a 500 W.

Para el cálculo de horas diarias del sol y el rendimiento del sistema se lo ha realizado según se indica en la NEC de acuerdo con los datos del Atlas solar del Ecuador, para la ciudad de Riobamba que tiene una latitud de  $-1.67$  y un ángulo de inclinación de  $5^\circ$  para el panel recomendado por la misma norma, para evitar la acumulación de suciedad en su superficie.

**Tabla 2-2: Potencia pico del arreglo fotovoltaico**

Mes	HS (h)	PR	Potencia pico (Wp)
Enero	3,6278	0,60410456	37,6442369
Febrero	3,8906	0,60410456	35,1014658
Marzo	3,96	0,60410456	34,4863037
Abril	3,8683	0,60056661	35,5117943
Mayo	3,7976	0,60056661	36,1729181
Junio	3,5329	0,60056661	38,8831481
Julio	3,7026	0,59702866	37,320888
Agosto	4,0198	0,60410456	33,973273
Septiembre	4,05	0,60056661	33,9185861
Octubre	3,7436	0,60410456	36,4797956
Noviembre	3,8703	0,59702866	35,7037749
Diciembre	3,7152	0,60764251	36,5446329

Realizado por: (Cruz, y Jaramillo, 2021)

De acuerdo con los datos de la Tabla 2-2 el mes de junio es el más desfavorable por lo que la potencia del arreglo fotovoltaico se escoge para este mes, si se utiliza paneles de 50 Wp, 12 V se utilizaría uno, si se utilizan paneles de 25 Wp, 12 V; se necesitarán dos módulos conectados en serie.

Debido a los resultados se utilizará el panel comercial indicado en la Figura 2-2 de la marca Eco Green Energy y sus características se muestran en la Tabla 3-2



**Figura 2-2.** Panel solar EGE-50P-36  
Realizado por: (Cruz, y otros, 2021)

**Tabla 3-2:** Datos eléctricos EGE-50P-36

Variable	Valor
Potencia de salida (Pmax)	50 W
Tolerancia de poder	0 ~ + 3%
Células solares	36
Eficiencia del módulo	13,82%
Tensión de potencia máxima (Vmp)	17,6 V
Corriente de potencia máxima (Imp)	2,86 A
Tensión de circuito abierto (Voc)	21 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	3,2 A
Corriente promedio (Im)	1,67 A

**Fuente:** (Eco Green Energy Limited, 2020)

**Realizado por:** (Cruz, y Jaramillo, 2021)

Para la capacidad de la batería se ha seleccionado una batería de ácido plomo sellado GEL, por sus características y su uso en sistemas fotovoltaicos aislados de la red, que tiene una profundidad de descarga de hasta 90%, además para este sistema se ha tomado 3 días de autonomía y el voltaje del sistema de 12 V para mantener la relación de voltaje con el arreglo fotovoltaico, dando como

resultado la capacidad de 32,375 Ah, comercialmente existen baterías con capacidades de 5, 20, 33 y 50 Ah.



**Figura 3-2.** Batería OMEGA NPG33-12  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

**Tabla 4-2:** Características de la batería Batería OMEGA NPG33-12

Variable	Valor
Células por unidad	6
Voltaje por unidad	12 V
Capacidad nominal	33 Ah, C10
Corriente máxima de descarga	350 A (5 segundos)
Corriente de carga máxima recomendada	9,9 A
Voltaje uso en reposo	13,6 – 13,8 V
Voltaje ciclos de uso	14,5 – 15 V

Fuente: (OMEGA POWER CO., LTD, sf)

Realizado por: (Cruz, y Jaramillo, 2021)

### 2.1.2 Características técnicas base del controlador de carga

Una vez obtenidos los valores de la potencia pico y seleccionado el panel a utilizar según la NEC para la selección del controlador de carga se utiliza la corriente de cortocircuito del panel, dando como resultado la corriente de diseño para el controlador de carga de 2,6875 Amperios (A)

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del dimensionamiento del sistema, estas características se ajustan para el uso de un controlador de carga PWM, debido a la relación entre el voltaje del panel fotovoltaico y la batería seleccionada, y por las condiciones del lugar de uso.

Por otro lado, las características base del controlador Morningstar SHS6 tomado como referencia son:

**Tabla 5-2:** Especificaciones constructivas base

Variables	Valores
Voltaje nominal de batería a usar	12 V
Punto de regulación	14,3 V
Desconexión por baja tensión (LVD)	11,5 V
Reconexión por baja tensión (LVR)	12,6 V
Tipo de carga	3 etapas: En bruto, por incremento y flotante
Carga	compensada en temperatura
Protecciones electrónicas	Corriente inversa
Indicadores	3 leds, para carga, nivel de batería y advertencia de bajo voltaje

**Fuente:** (Morningstar Corporation, sf)

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

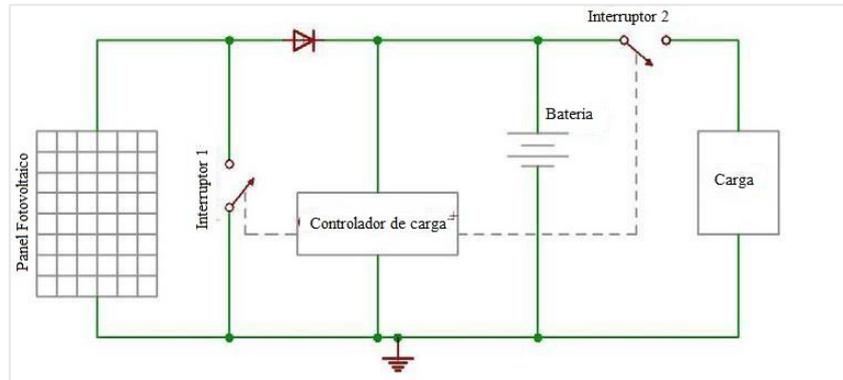
Tomando estas características como base, el diseño del controlador, se iniciará con el diseño del controlador, determinación del método de carga y su modalidad de utilización.

### **2.1.3 Diseño de controlador de carga**

Existen dos métodos básicos para controlar o regular la carga de una batería desde un módulo o conjunto fotovoltaico: la regulación en derivación y la regulación en serie. Si bien ambos métodos se utilizan eficazmente, cada uno de ellos puede incorporar una serie de variaciones que alteran su rendimiento básico y su aplicabilidad. Los diseños sencillos interrumpen o desconectan el conjunto de la batería en el momento de la regulación, mientras que los diseños más sofisticados limitan la corriente a la batería de una manera lineal que mantiene un alto voltaje de esta. El algoritmo o estrategia de control de un controlador de carga de batería determina la eficacia de la carga de la batería y la utilización del conjunto fotovoltaico y, en última instancia, la capacidad del sistema para satisfacer las demandas de carga eléctrica. Lo más importante es que el algoritmo del controlador define la forma en que la energía del conjunto fotovoltaico se aplica a la batería en el sistema. En general, los controladores del tipo de interrupción de encendido y apagado requieren un punto de ajuste de regulación más alto para que las baterías alcancen el estado de carga completo que los controladores que limitan la corriente del conjunto de manera gradual.

Dado que las células fotovoltaicas están limitadas por la corriente por su diseño (a diferencia de las baterías), los módulos y conjuntos fotovoltaicos pueden ser cortocircuitados sin ningún daño. La capacidad de cortocircuitar los módulos o un conjunto es la base del funcionamiento de los controladores de derivación. El controlador en derivación regula la carga de una batería del conjunto fotovoltaico mediante un cortocircuito en el conjunto interno del controlador. Por esta

razón, la mayoría de los controladores en derivación requieren un disipador de calor para disipar la energía, y generalmente se limitan a su uso en sistemas fotovoltaicos con corrientes bajas.



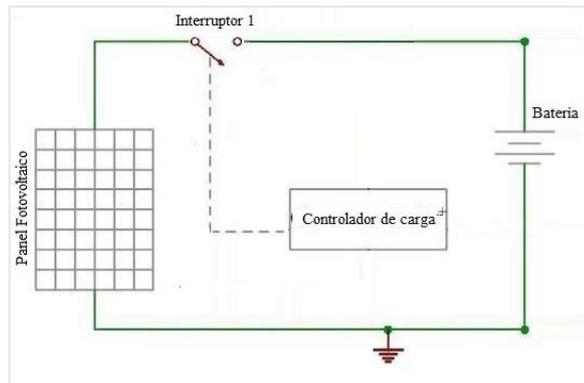
**Figura 4-2.** Controlador de carga en derivación

Fuente: (Ullah, 2018)

Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

Como se puede observar en la Figura 4-2, el elemento de regulación en los controladores en derivación suele ser un transistor de potencia o un MOSFET indicado como interruptor 1, según el diseño específico. Todos los controladores en derivación deben tener un diodo de bloqueo en serie entre la batería y el elemento de derivación para evitar que la batería se cortocircuite cuando el conjunto está regulando. Debido a que hay una cierta caída de tensión entre el conjunto y el controlador y debido al cableado y a la resistencia del elemento de derivación, el conjunto nunca se pone en cortocircuito del todo, lo que da lugar a cierta disipación de energía dentro del controlador.

Como su nombre indica, este tipo de controlador funciona en serie entre la matriz y la batería, en lugar de en paralelo como en el caso del controlador de derivación. Si bien este tipo de controlador se utiliza comúnmente en sistemas fotovoltaicos pequeños, también es la opción práctica para sistemas más grandes debido a las limitaciones de corriente de los controladores en derivación. En un diseño de controlador en serie, un relé o un interruptor de estado sólido abre el circuito entre el conjunto y la batería para interrumpir la carga, o limita la corriente de forma lineal en serie para mantener el voltaje de la batería en un valor alto.



**Figura 5-2.** Controlador de carga en serie

**Fuente:** (Ullah, 2018)

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

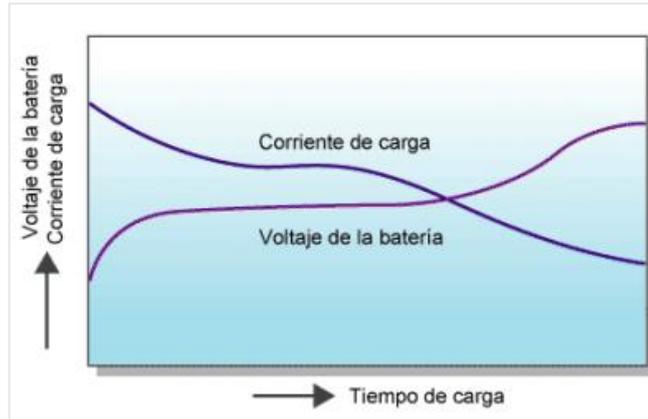
En el diseño más simple de la Figura 5-2, de interrupción en serie, el controlador reconecta el conjunto a la batería una vez que la batería cae al punto de ajuste de voltaje de reconexión del conjunto. A medida que estos ciclos de carga de encendido y apagado continúan, el tiempo de encendido se va acortando cada vez más a medida que la batería se carga completamente. Debido a que el controlador en serie abre los circuitos en lugar de cortocircuitar el conjunto como en los controladores de derivación, no se necesita un diodo de bloqueo para evitar que la batería se cortocircuite cuando el controlador regula.

El diseño escogido es el controlador de carga en serie, para la conmutación entre el panel fotovoltaico y la batería, y entre la batería hacia la carga.

#### **2.1.4 Determinación del método de carga**

##### **Con corriente semi constante**

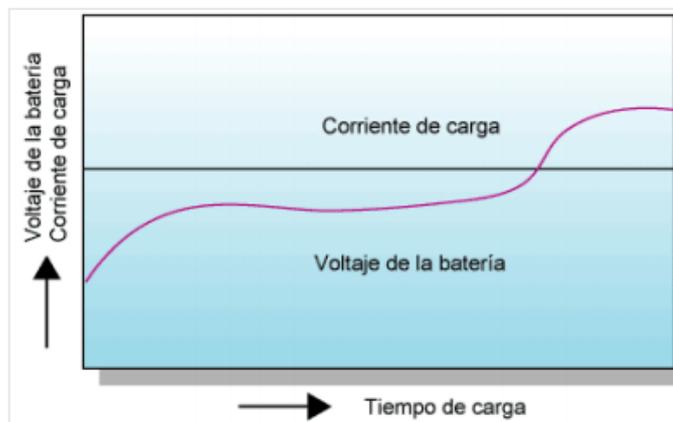
Este método, es fácil de utilizar y es ampliamente usado para baterías de uso cíclico. El cargador consta de un transformador, diodo y resistencia. La impedancia de estos elementos asegura que la batería se cargue sin cambios excesivos en la corriente de carga. Con este método, mientras que se hace la carga, el voltaje de la batería aumenta mientras que la corriente de carga disminuye. La dificultad con este método es que la corriente de carga circula en grandes cantidades en la etapa final y causa sobrecarga. Se debe tener cuidado de evitar cargar la batería por más tiempo que el período especificado.



**Gráfico 1-2.** Característica de carga con corriente semi constante  
Fuente: (Hitachi Chemical Energy Technology, sf)

### Con corriente constante

Este método consiste en cargar la batería con la corriente constante. Con este método es fácil calcular el período y la cantidad de carga. Para hacerlo un circuito costoso se requiere para obtener una corriente constante precisa. Por ello, este método de carga muy poco se usa para usos generales.

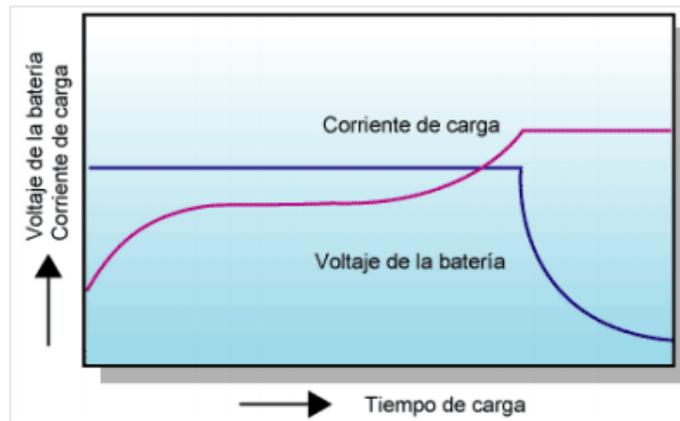


**Gráfico 2-2.** Característica de carga con corriente constante  
Fuente: (Hitachi Chemical Energy Technology, sf)

### Con voltaje constante

Este método consiste en aplicar un voltaje constante a la batería con una unidad de voltaje constante. Este método de carga utiliza un voltaje diferente entre su voltaje y el voltaje de la batería. Inicialmente la corriente de carga es alta y disminuye al ir completando la carga. Es necesario fijar el voltaje de carga de acuerdo con las características de carga y la temperatura de

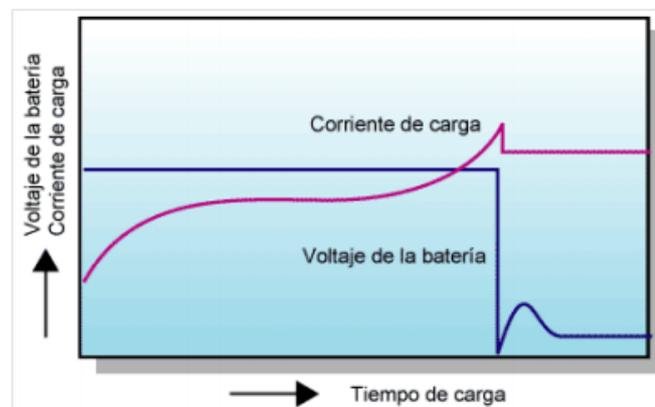
la batería. Un voltaje incorrecto puede provocar una sobrecarga o baja de carga. Debido a que existe una corriente alta al comienzo, este método requiere de una unidad de carga de alta capacidad que resultaría más costosa. Por ello, el método de carga con corriente-constante, voltaje-constante con corriente inicial limitada es la más usada para baterías de uso cíclico y de respaldo.



**Gráfico 3-2.** Característica de carga con voltaje constante  
Fuente: (Hitachi Chemical Energy Technology, sf)

### Con voltaje constante en dos etapas

Este método utiliza dos etapas de voltaje constante. Inicialmente se usa la fase con un alto voltaje fijo para la carga. Cuando casi se completa la carga y el voltaje de carga de la batería ha aumentado a un valor determinado, la segunda fase se utiliza un voltaje de carga menor. Este método permite carga rápida para servicio cíclico, sin la posibilidad de ocasionar una sobrecarga aún después de una carga por un largo período. Este método también permite carga rápida para usos de respaldo.



**Gráfico 4-2.** Característica de carga con voltaje en dos etapas  
Fuente: (Hitachi Chemical Energy Technology, sf)

La temperatura afecta las características de la carga. Se recomienda usar un circuito de compensación de la temperatura. (Hitachi Chemical Energy Technology, sf)

Una vez revisados los métodos de carga se concluye que el más adecuado es el de dos niveles de tensión constante, debido a la selección de la batería de plomo ácido sellada GEL. Se debe determinar cómo se va a cargar la batería con dos niveles de tensión constantes lo que se denomina la modalidad de utilización.

### ***2.1.5 Determinación de la modalidad de utilización del método de carga***

La mayoría de los controladores de carga de calidad tienen lo que se conoce como un ciclo de carga de 3 etapas, de la siguiente manera:

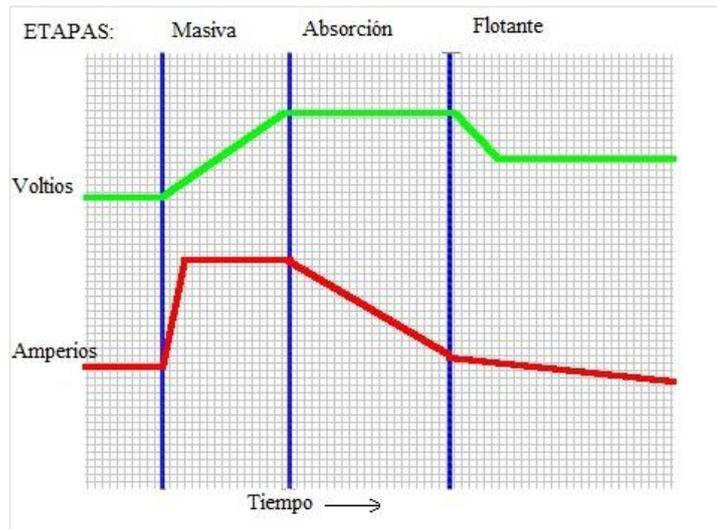
**Masiva:** En esta etapa, la batería aceptará toda la corriente proporcionada por el conjunto solar. El valor de esta corriente será igual a la corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ) del arreglo solar. Durante esta etapa, el voltaje se eleva gradualmente hasta el nivel masivo mientras que las baterías consumen la máxima corriente. Cuando se alcanza el nivel masivo de voltaje, comienza la etapa de absorción.

**Absorción:** Durante esta fase, el voltaje se mantiene constante durante un tiempo especificado (normalmente una hora) mientras que la corriente disminuye gradualmente a medida que las baterías se cargan. Esto es para evitar el sobrecalentamiento y el exceso de gas de la batería. La corriente se reducirá a niveles seguros a medida que la batería se cargue más completamente.

**Flotante:** Cuando una batería se carga completamente, bajará a la etapa de flotación proporcionará una tasa muy baja de mantenimiento de carga, mientras reduce el calentamiento y el gas de una batería completamente cargada. Cuando la batería se recarga completamente, no puede haber más reacciones químicas y toda la corriente de carga se convierte en calor y gas. El propósito de la flotación es proteger la batería de la sobrecarga a largo plazo.

Después de la fase de tiempo de absorción, el voltaje se reduce al nivel de flotación, y las baterías consumen una pequeña corriente de mantenimiento hasta el siguiente ciclo.

(DeGeyter, 2020)



**Figura 6-2.** Ciclos de carga

Fuente: (DeGeyter, 2020)

Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

La Figura 6-2 muestra la relación entre la corriente y el voltaje durante las 3 fases del ciclo de carga. Estos ciclos de carga manejan umbrales de tensión específicamente para el voltaje nominal de la batería a usar, de manera general en la Tabla 6-2 se presenta estos umbrales, así como el nivel de tensión considerado como sobrecarga.

**Tabla 6-2:** Umbrales de tensión de carga

Ciclo/Voltaje de batería	6 V	12 V	24 V	36 V	48 V
Masivo	7,4	14,8	29,6	44,4	59,2
Flotador	6,6	13,2	26,4	39,6	52,8
Sobrecarga	7,8	15,5	31	46,5	62

Fuente: (2020)

Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

Con la investigación e información adquirida se elige para el presente proyecto, tres etapas de carga: masiva, absorción y flotante, las cuales son controladas por niveles de tensión y por tiempo, para regular la conexión y desconexión del panel o la carga conectada, para evitar la carga excesiva o descarga profunda, de la batería de plomo ácido sellada gelificada (GEL), considerando a su vez las especificaciones de carga del fabricante para la batería seleccionada.

### 2.1.6 Diseño conceptual del controlador de carga

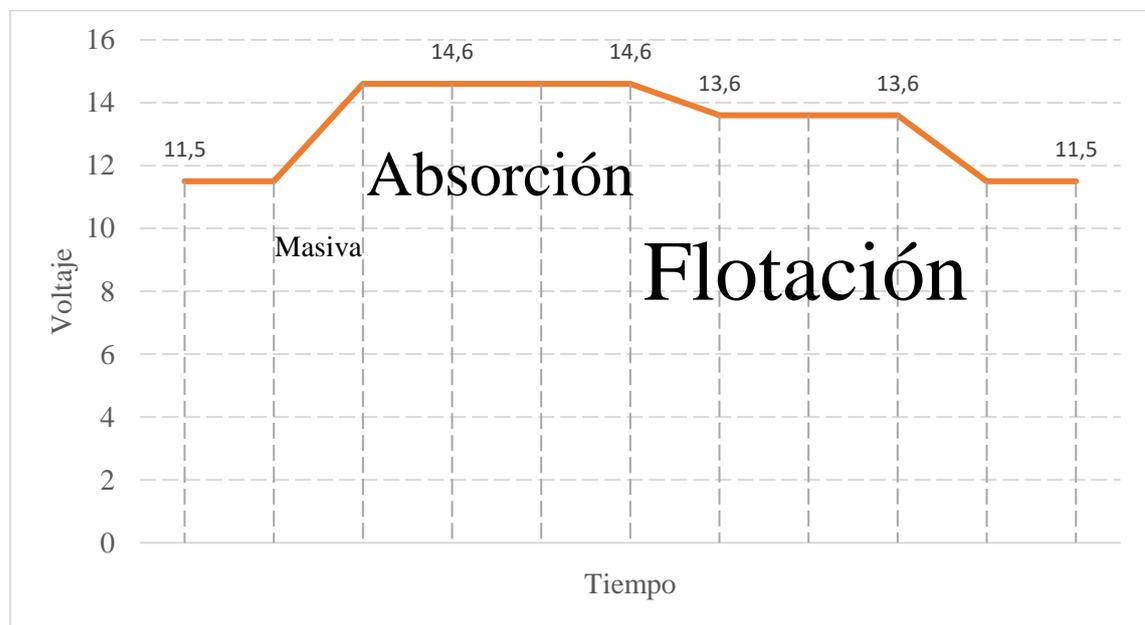
Una vez caracterizado el sistema fotovoltaico, determinado método y modalidad de carga se puede iniciar el diseño del controlador de carga en sí.

Para esto se debe tomar en cuenta las características del panel fotovoltaico, la tensión o voltaje de potencia máxima ( $V_{mp}$ ) es de 17,6 V, el cual será el umbral para trabajar con el sistema de 12V, en base a este valor el resto de los niveles de voltaje serán menores.

Con estos principios se definirá el modo de trabajo del circuito a implementar.

Cuando el controlador está conectado a la batería, iniciará la operación de carga de 3 etapas. El panel fotovoltaico se utilizará como sensor de luz, asumiendo el nivel de voltaje para la mañana o noche. Por la noche, cuando el nivel de voltaje del panel fotovoltaico sea menor de 5V y el voltaje de la batería es mayor que el ajuste de desconexión de baja tensión (LVD), el controlador conectará la iluminación led. Por la mañana, cuando el voltaje panel fotovoltaico sea mayor que 5V o cuando el voltaje de la batería es menor que el ajuste LVD, la iluminación led se desconectará.

Se detalla a continuación los ciclos de carga.



**Gráfico 5-2.** Ciclos de carga del controlador  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

La existencia de tres etapas de carga determina la utilización de niveles de tensión, inicia con la etapa masiva, en la que alcanza 14,6V mediante la conexión entre el panel y la batería, una vez

alcanzado este nivel permite la etapa de absorción que tiene un valor entre 14,4V y 14,6V que se mantiene en un intervalo de una hora, la etapa de flotación es la que protege la sobre carga de la batería, la cual permite cargar completamente la batería con el nivel de 13,6V si la batería es menor que 13,4V por 10 minutos se repite la etapa. Si la batería baja hasta el nivel de baja tensión que es 11,5V se desconecta la carga de iluminación LED.

## **2.2 Requerimientos Hardware del diseño**

Basado en el estudio realizado en el capítulo anterior se pueden definir los requerimientos de diseño que debe satisfacer el prototipo de controlador de carga. Estos son:

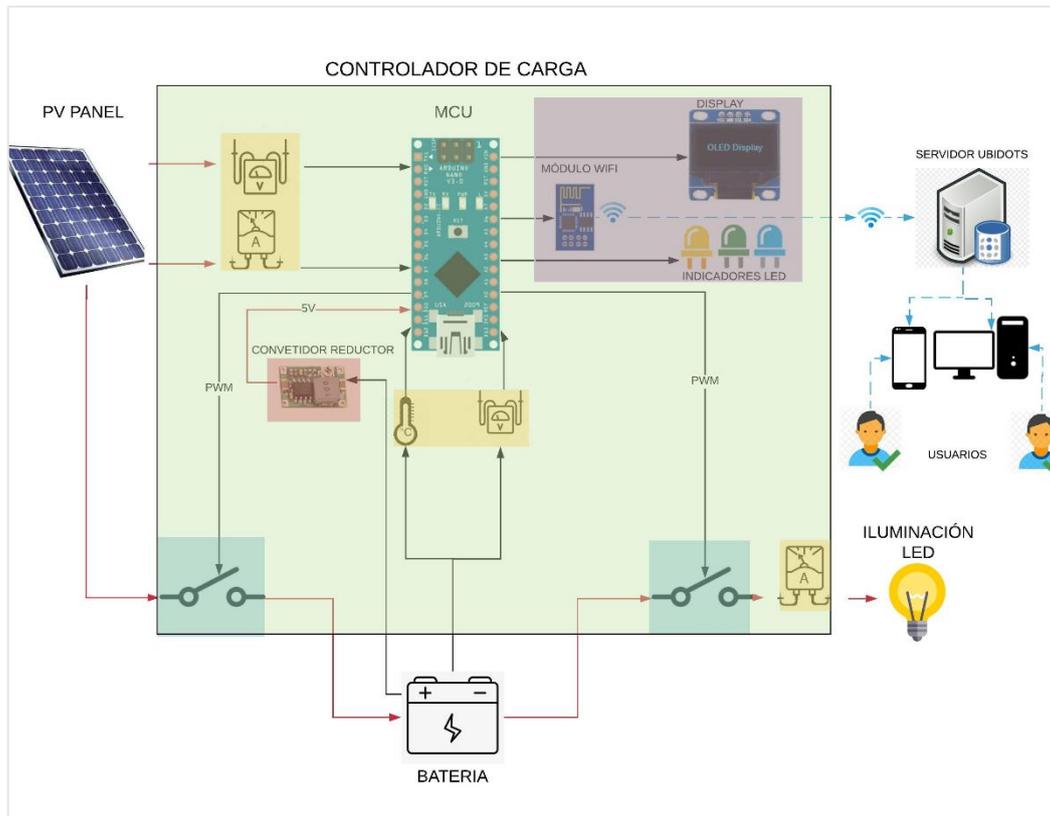
Proteger la sobretensión, corriente inversa de entrada desde el panel fotovoltaico y sobre corriente de la batería al panel solar.

Mostrar los parámetros energéticos: corriente y voltaje del panel solar, voltaje y temperatura de la batería y corriente en la carga conectada

Visualizar mediante indicadores, el estado de la energía solar, batería y carga conectada.

### ***2.2.1 Concepción de la arquitectura general del sistema***

La concepción general propuesta para el sistema se indica en la Figura 7-2, donde se encuentran los módulos fundamentales: Módulo de adquisición de parámetros energéticos (amarillo), control de carga (azul), visualización (violeta), y alimentación (rojo); estos módulos se conectan mediante cables, los de color rojo significan cables de alimentación y los de color negro son cables de control.

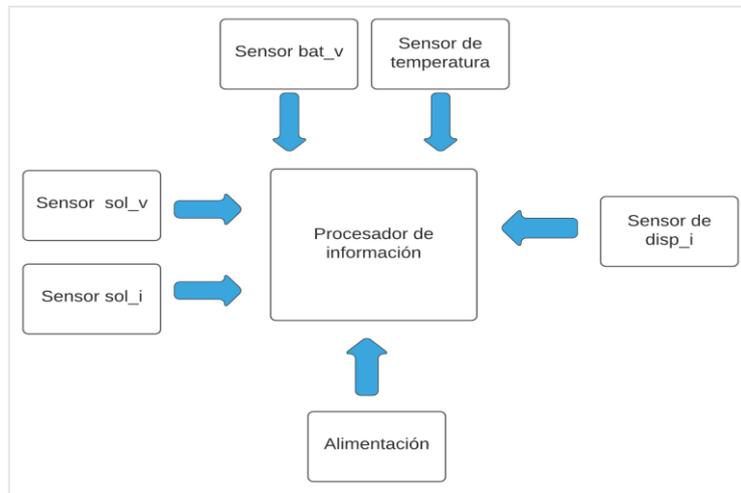


**Figura 7-2.** Concepción de la arquitectura general del sistema controlador de carga  
**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

### Módulo de adquisición de parámetros energéticos

En la Figura 8-2 se presenta el diagrama de bloques, con los sensores que obtienen datos de 5 variables (sol\_v, sol\_i, bat\_v, temperatura, disp\_i), el bloque de alimentación contiene un convertidor DC/DC para obtener los 5 V a partir de la batería de 12 V.

Donde sol\_v, es la variable para el voltaje del panel fotovoltaico, sol\_i es la corriente del panel, bat\_v es el voltaje de la batería, T su temperatura, disp\_i es la corriente en la carga conectada.



**Figura 8-2.** Módulo de adquisición de parámetros energéticos  
 Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

### Módulo de visualización

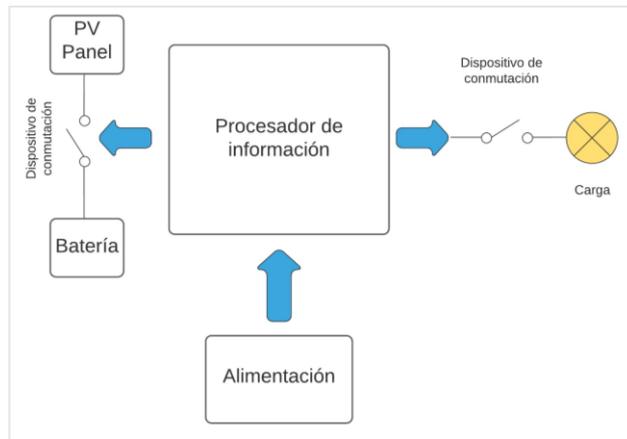
El procesador de información permite la comunicación para la visualización de datos en el LCD o display mediante el bus de circuito inter integrado (I2C) e indicadores LED, y el envío de datos a internet.



**Figura 9-2.** Módulo de visualización  
 Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

### Módulo de control de carga

Este bloque contiene los elementos necesarios para permitir la conexión y desconexión de la batería y la carga respectiva, que son controlados por las salidas PWM del procesador de información.



**Figura 10-2.** Módulo de control de carga  
**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

## 2.3 Selección de los elementos que conforman los módulos del prototipo

### 2.3.1 *Procesador de información en los módulos del prototipo*

Son varias las consideraciones a la hora de seleccionar una tarjeta de desarrollo, todo se basa en los objetivos y de los proyectos a realizar. Al final el objetivo es evaluar cuál tiene las características y funciones que más se adaptan al proyecto.

**Tabla 7-2:** Comparativa de tarjetas de desarrollo

Características\Tarjeta	Leonardo	Micro	Nano	UNO
Microcontrolador	Atmega32U4	Atmega32U4	Atmega328P	Atmega328P
Voltaje de funcionamiento	5 V	5 V	5 V	5 V
Corriente de salida con 5V	300 mA	300 mA	300 mA	300 mA
Voltaje de entrada	7-12 V	7-12 V	7-12 V	7-12 V
Corriente de salida con 7-12V	500 mA	500 mA	500 mA	500 mA
Terminales digitales PWM	7	7	6	6
Terminales analógicos	12	12	8	8
Memoria Flash	32 KB	32 KB	32 KB	32 KB
SRAM	2,5 KB	2,5 KB	2 KB	2 KB
EEPROM	1 KB	1 KB	1 KB	1 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz

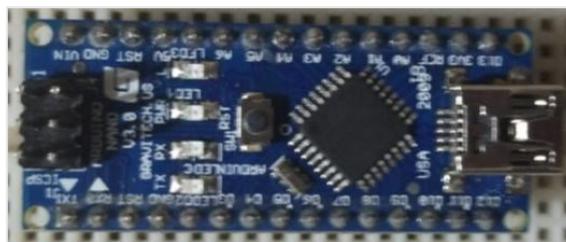
**Fuente:** (Arduino, 2021)

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

Al seleccionar la tarjeta y el microcontrolador obviamente, el siguiente paso es elegir el adecuado para el proyecto que debe cubrir los requisitos de hardware de la aplicación, también es importante estimar la velocidad y los requisitos de memoria de la aplicación y rendimiento suficiente. En

cuanto a la memoria, existe una regla general que establece que una aplicación no debe ocupar más del 80% de la memoria. (Guzmán, y otros, 2016)

Tomando en cuenta las entradas y salidas necesarias para la medición de los parámetros requeridos para el controlador de carga todas las tarjetas de la Tabla son ideales para su desarrollo, debido a que la placa Arduino Nano es la más pequeña, perfecta para integrarla en cualquier objeto que se quiera hacer inteligente o interactivo, es la placa elegida. Tomando en cuenta también la velocidad de procesamiento de 16 MHz, y capacidad de almacenamiento de su memoria flash.



**Figura 11-2.** Arduino nano  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

### **2.3.2 Sensores en los módulos del prototipo**

#### **Módulo de adquisición de parámetros energéticos**

Debido a que los controladores de carga manejan las variables de corriente y voltaje estos dos parámetros en corriente continua, además la variable de temperatura, se presenta los sensores más utilizados para estas mediciones

El medidor de voltaje FZ0430 es un simple divisor de tensión con resistencias de valores de 30 K $\Omega$  y 7,5 K $\Omega$ . La tensión máxima para medir es 25V, pero si se proporciona como alimentación 5V, y 16,5V si se alimenta con 3,3V; estos valores de voltaje son en corriente continua. (Reyes, 2013)

En la Tabla 8-2, se muestra las características más imprescindibles de estos sensores.

**Tabla 8-2:** Características de sensores de temperatura, voltaje y corriente continua

VOLTAJE						
Sensor	Voltaje de suministro (V)		Librería Arduino IDE			
FZ0430	3.3 a 5		Analog			
TEMPERATURA						
Sensor	Voltaje de suministro (V)	Temperatura (°C)	Precisión	Consumo de corriente (mA)		Librería Arduino IDE
DHT11	3 a 5,5	0-50	+/- 2°C	2,5		DHT11
LM35	4 a 30	-55 a 150	+/-0,5°C	0,06		Analog
DS18B20	3 a 5,5	-55 a 125	+/-0,5°C	1		One wire Dallas Temperature
CORRIENTE						
Sensor	Voltaje de suministro (V)	Temperatura (°C)	Corriente a medir (A)	Sensibilidad (mV/A)	Consumo de corriente (mA)	Librería Arduino IDE
ACS712						
05B-T	5	- 40 a 85	± 5	185	3	Analog
20A-T	5	- 40 a 85	± 20	100	3	Analog
30A-T	5	- 40 a 85	± 30	66	3	Analog

**Fuente:** (Allegro Microsystems Inc, sf) (Reyes, 2013) (Aosong, sf) (Maxim Integrated Product Inc.) (Texas Instruments, sf)

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

## Voltaje

Los sensores de voltaje se utilizan para detectar el voltaje del panel solar y la batería. Su implementación será mediante el uso de dos circuitos divisores de voltaje. Consiste en dos resistencias de 100 KΩ y 20 KΩ respectivamente, y de la misma forma para la batería. La conexión se indica en la Figura 26-2. Para un circuito divisor de voltaje el voltaje de salida se obtiene a través de la Ecuación 1-2.

### Ecuación 1-2. Divisor de voltaje

$$V_o = V_{in} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Donde:

R1, R2 son las resistencias con los valores antes mencionados.

Vin es el voltaje de entrada

Vo es el voltaje de salida

## Temperatura

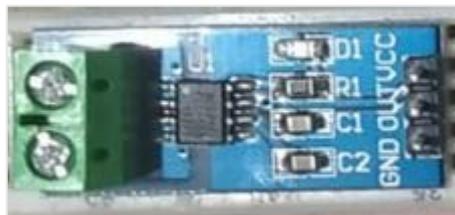
El sensor DS18B20 se utilizará para medir la temperatura de la batería, que utiliza el protocolo “one wire” o traducido de un solo cable para comunicarse con el microcontrolador y su resolución de medida de 9 a 12 bits. (Maxim Integrated Product Inc.)



**Figura 12-2.** DS18B20  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

## Corriente

Para la medición de corriente, se utilizará el sensor de corriente de efecto Hall variante ACS712-20 A. Lee el valor actual y lo convierte en un valor de voltaje relevante, el valor que vincula las dos mediciones es el valor de sensibilidad, el cual es de 100 mV/A y el voltaje de detección media es de 2,5 V cuando no hay corriente. (Allegro Microsystems Inc, sf)



**Figura 13-2.** ACS712-20A  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

## Módulo de control de carga

Este módulo contiene los dispositivos de conmutación y protección para el panel solar y la batería. Cada uno de estos dispositivos presenta características importantes, la Tabla las resume.

**Tabla 9-2:** Características de los componentes del módulo de control de carga

P-MOSFET's					
	VDSS (V)	RDS on (mΩ)	ID (A)	IDSS (μA)	Td on (ns)
IRF4905	55	20	42	25	20
IRF5305	55	60	31	25	14
TRANSISTORES					
	VCE (V)	VCB (V)	VEB (V)	IC (mA)	Td on (ns)
2N3904	40	60	6	200	35
2N2222	40	60	5	100	35
DIODOS SCHOTTKY					
	Tensión de retorno máxima (V)		Corriente de conducción máxima (A)		
MBR2045CT	45		20		
MBR1045CT	45		10		
DIODOS					
	Tensión de retorno máxima (V)		Corriente de conducción máxima (A)		
TVS P6KE36CA	30,8		20		
1N4007	50		50 u		

**Fuente:** (International Rectifier, sf) (FairChild Semiconductor, 2011) (FairChild Semiconductor, 2013)

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

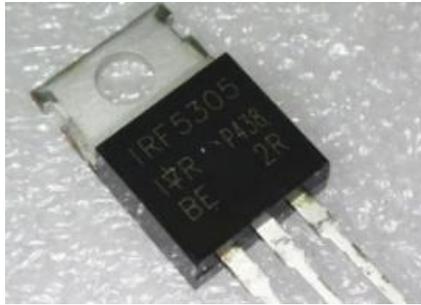
La conmutación realizada mediante las dos señales PWM se dan entre panel y batería, y entre batería y carga, el tiempo de conexión y desconexión depende del ciclo de trabajo de la señal PWM, el cuál varía dependiendo de la lógica en el algoritmo a programar en el microcontrolador y en respuesta a las variables de voltaje y corriente medidas por los sensores.

Es necesario implementar interruptores electrónicos de alta potencia, por ello se optó por utilizar transistores MOSFET y 2N3904.

### P-MOSFET IRF5305

Se utiliza principalmente para la conmutación rápida, capaz de proporcionar ultra baja resistencia. Este pequeño dispositivo viene con tres terminales llamados puerta, drenaje y fuente donde el terminal de la puerta se utiliza para controlar la corriente en los dos terminales restantes. El área

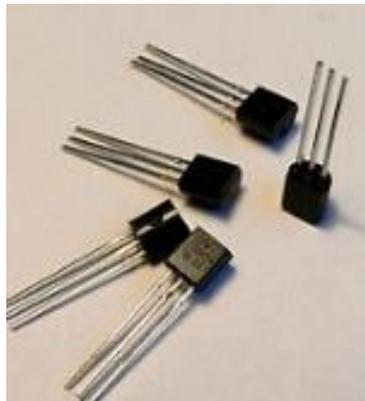
entre la fuente y el drenaje se conoce como un canal que depende ampliamente de la tensión aplicada al terminal de la puerta



**Figura 14-2.** P-MOSFET IRF5305  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

### Transistor 2N3904

Es básicamente un transistor de unión bipolar (BJT), NPN compuesto de material de silicio. Actúa como un amplificador e interruptor de propósito general. Cuando actúa como un interruptor, soporta la corriente de hasta 100 mA. Mientras que mientras actúa como un amplificador, tiene la capacidad de soportar la frecuencia de hasta 100MHz.



**Figura 15-2.** Transistor 2N3904  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

Los transistores MOSFET son ideales para implementar conmutaciones a altas frecuencias ya que no es audible su cambio de estado a alta velocidad, las señales PWM a implementar tienen una frecuencia de 980.39 Hz. Se seleccionó un transistor MOSFET tipo p IRF5305 con voltaje Drain-Source máximo de -55 V y corriente de drenado máxima de -42 A.

Las salidas PWM del microcontrolador tienen magnitud de voltaje máximo de 5 V, valor de voltaje de un nivel lógico alto. Sin embargo, para llevar los MOSFET a conducción es necesario un voltaje mayor, es por ello por lo que es necesario implementar una etapa de amplificación utilizando transistores BJT. Con el objetivo de obtener un voltaje mínimo de -6V en VGS para el disparo del MOSFET

Los valores de las resistencias necesarias se calculan mediante las ecuaciones teniendo en cuenta que el Beta de los transistores disponibles para implementar es de 100.

#### **Ecuación 2-1. Voltaje en Resistencia de colector**

$$V_{RC} = R_C \times I_C$$

VRC: voltaje en la resistencia del colector del transistor (V)

RC: resistencia en el colector del transistor ( $\Omega$ )

Ic: es corriente en el colector del transistor (A)

Tomando una resistencia RC de 10 K $\Omega$ , y un voltaje VRC de 6V, se obtiene:

#### **Ecuación 3-2. Corriente de colector**

$$I_C = I_B * \beta$$

Donde: Ib es corriente en la base del transistor (A)

$\beta$  es Beta específico del transistor.

Ib es corriente en la base del transistor con Beta igual a 100 (A)

#### **Ecuación 4-2. Resistencia de base**

$$5V - R_B \times I_B - 0.7 = 0$$

Donde: RB es el resistor en la base del transistor con Beta igual a 100 ( $\Omega$ )

De acuerdo con los resultados obtenidos, se optó por una resistencia de 1 K $\Omega$  como RB y 10 K $\Omega$  como RC en ambos circuitos de amplificación. La configuración para el transistor MOSFET IRF5305 se muestra en la Figura 29-2; para que este MOSFET tipo p se active debe aplicarse

un voltaje negativo entre sus terminales Gate y Source, por esta razón se conectaron estos terminales a la resistencia de colector del transistor BJT de tal manera que el voltaje es de  $-6\text{ V}$  en VGS cuando la salida del microcontrolador es de nivel alto. Entonces, se produce una señal PWM entre los terminales Source y Drain del MOSFET sincronizada con la señal PWM que genera la salida del microcontrolador. La conmutación se realiza entre los terminales positivos del panel, la batería y la carga, permitiendo de esta manera tener un terminal tierra común, interconectando los terminales negativos de los tres elementos principales en el sistema fotovoltaico.

Para la utilización de un disipador de calor considerando las resistencias térmicas del MOSFET, la corriente de drenaje que circula, y la temperatura del ambiente, se calcula con las siguientes ecuaciones.

**Ecuación 5-2. Potencia del dispositivo**

$$P_T = (I^2 * R_{on} + V_{DS} * I_{DSS}) + \left( \frac{1}{2} * V_{DS} * I_{peak} * td * Fc \right)$$

**Ecuación 6-2. Temperatura de operación**

$$T_J = R_{JC} * P_T + T_C$$

Donde:

I es la corriente de panel fotovoltaico, TC es la temperatura del case considerada como  $35\text{ °C}$  y RJC resistencia térmica. Los demás valores corresponden a especificaciones indicadas en el Anexo B. Con el resultado obtenido de la potencia total de  $1,55\text{ W}$ , se calcula la temperatura de operación de  $37,11\text{ °C}$ , y considerando la máxima disipación de potencia especificada en la hoja de datos, se puede omitir la utilización de un disipador.

**MBR2045CT**

Se utiliza para protección de sobre tensión, para uso en baja tensión, inversores de baja frecuencia y aplicaciones de polaridad.



**Figura 16-2.** Diodo Schottky MBR2045CT  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

## Fusible

Se utiliza para la protección de sobre corriente. Tiene una variedad debido al rango de ampacidad o amperaje requerido.



**Figura 17-2.** Fusible  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

Para su cálculo adecuado se utiliza la corriente de la batería a proteger, como se indica en la Ecuación 7-2.

### Ecuación 7-2. Corriente de protección

$$I_p = I \times 1,25$$

Donde:

$I_p$  es la corriente de protección (A)

$I$  es la corriente de la batería (A), y valor del fusible calculado es de 4,35 A.

## Diodo TVS P6KE36CA

El diodo supresor de tensión transitoria de la serie P6KE ofrece un pico de disipación de potencia de pulso de 600W (1ms). Cuenta con una excelente capacidad de limitación, tiempo de respuesta rápido de 1ps para unidireccional y de 5ns para bidireccional. Es apto para aplicaciones bipolares.



**Figura 18-2.** Diodo TVS P6KE36CA  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

## Módulo de visualización

Para la visualización de datos se utiliza comúnmente pantallas de cristal líquido, entre las variantes LCD16X2, LCD20X4 y las pantallas de diodo orgánico emisor de luz (OLED).

Contiene los elementos para la visualización de información de parámetros energéticos y estados antes mencionados, en la Tabla 10-2, se resume las características de los componentes.

**Tabla 10-2:** Características de los componentes del módulo de visualización

PANTALLAS				
	Voltaje de suministro (V)	Consumo de corriente (mA)	Terminales	Librería Arduino IDE
LCD 20X4	5	25	4	LiquidCrystal_I2C
OLED 128x96	3 – 5	16	4	SSD1306.h
INDICADORES				
LED	Voltaje de suministro (V)	Consumo de corriente (mA)	Terminales	Librería Arduino IDE
Bicolor	1,5	5-10	3	Digital
RGB	3,5	20	4	Digital
MÓDULOS WIFI				
Placa	Microcontrolador	Voltaje de funcionamiento (V)	Consumo de corriente (mA)	Memoria Flash (KB)
ESP01	ESP8266	3,3	300	16
NODE MCU	ESP8266	5	500	32

**Fuente:** (Mantech Electronics, 2017) (Asin, 2020) (Adafruit, sf)

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

## OLED 128X64

Es un dispositivo electrónico tipo led, que permite controlar cada píxel individualmente y mostrar tanto texto como gráficos. Además, por ser de tipo OLED no necesita de retroiluminación como los LCD, lo que hace que su consumo de energía sea mucho menor y aumenta su contraste.



**Figura 19-2.** OLED 128X64  
**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

## Indicadores

Un Diodo Emisor de Luz (LED) es un dispositivo electrónico que emite luz cuando se pasa una corriente eléctrica a través de él. Los primeros LED solo producían luz roja, pero los LED modernos pueden producir varios colores diferentes, incluyendo luz roja, verde y azul (RGB). Los recientes avances en la tecnología LED han hecho posible que los LED también produzcan luz blanca. Los LED se utilizan comúnmente para las luces indicadoras (como las luces de encendido/apagado) en dispositivos electrónicos. (Christensson, 2009)

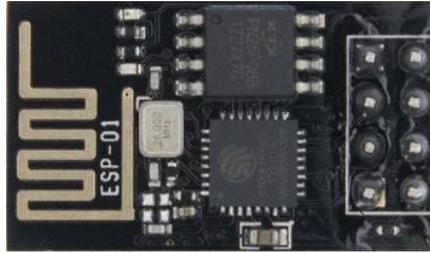


**Figura 20-2-1.** LED  
**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

## Módulo Wifi

El ESP8266 es un microcontrolador desarrollado por Espressif Systems. Conocido como un módulo WiFi, este microcontrolador tiene la capacidad de realizar actividades relacionadas con WiFi como aplicaciones de Internet de las cosas y domótica. Con un precio y características, hay muchos tipos de módulos ESP8266 disponibles, pero todos ellos son increíblemente útiles para el mundo de IoT. (Espressif,2021)

Para el envío de datos a internet se escoge la placa ESP01 por su capacidad de memoria flash y su número de terminales adecuado para la comunicación serial entre el Arduino nano.



**Figura 21-2-2. ESP01**  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

### Módulo de alimentación

Como se indicó en el párrafo 2.3 todos los sensores de los módulos correspondientes tienen una alimentación de 5V. Para lo cual se utiliza un convertidor reductor, que, a partir de los 12V de la batería seleccionada, permite la salida de 5V necesarios, que serán distribuidos para cada uno de los componentes.

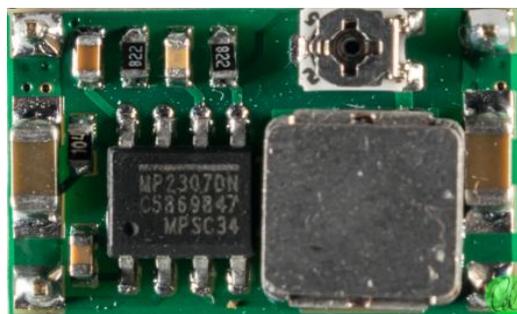
**Tabla 11-2:** Características del módulo de alimentación

Convertidor reductor		
Convertidor	Voltaje de entrada (V)	Voltaje de salida (V)
MP2307	4,75 – 23	0,925 – 20

**Fuente:** (Monolithic Power, 2008)

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

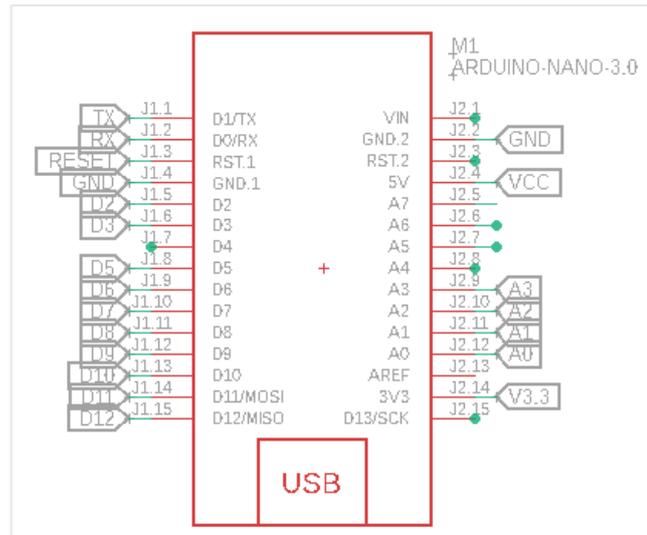
El chip MP2307 afirma tener un MOSFET integrado que puede proporcionar 3ª continuamente. Las salidas de 0.925V a 20V están disponibles con una eficiencia de hasta 95% con protección contra sobre corriente ciclo por ciclo y bloqueo de bajo voltaje. (Monolithic Power, 2008)



**Figura 22-2-3. Convertidor reductor MP2307**  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

## 2.4 Esquemas de conexión del prototipo

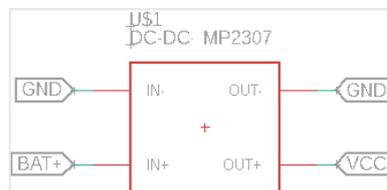
El esquema a implementar y el circuito impreso (PCB) se puede observar de mejor manera en el Anexo I. El cuál se basa en la arquitectura de la tarjeta de desarrollo Arduino nano que tiene como microcontrolador el ATMEGA328P, la configuración de terminales corresponde a una cápsula Thin Plastic Quad Flat Package TQFP o en español Cápsula Cuadrada Plástica Delgada.



**Figura 23-2.** Arduino nano distribución de terminales  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

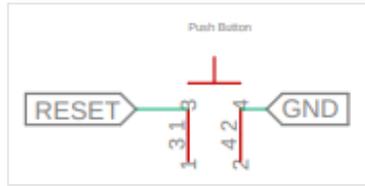
### 2.4.1 Módulo de alimentación

El convertidor reductor MP2307 seleccionado se conecta a la batería de 12 V y su salida de 5V se distribuye a los demás módulos.



**Figura 24-2.** Conexión MP2307  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

Indicado los 5V como el voltaje de alimentación de la tarjeta de desarrollo y los módulos a utilizar y etiquetado como voltaje de corriente continua (VCC) en el esquema del Anexo I, se requiere una señal de reset, que se conectan a los terminales especificados en la Figura 25-2.

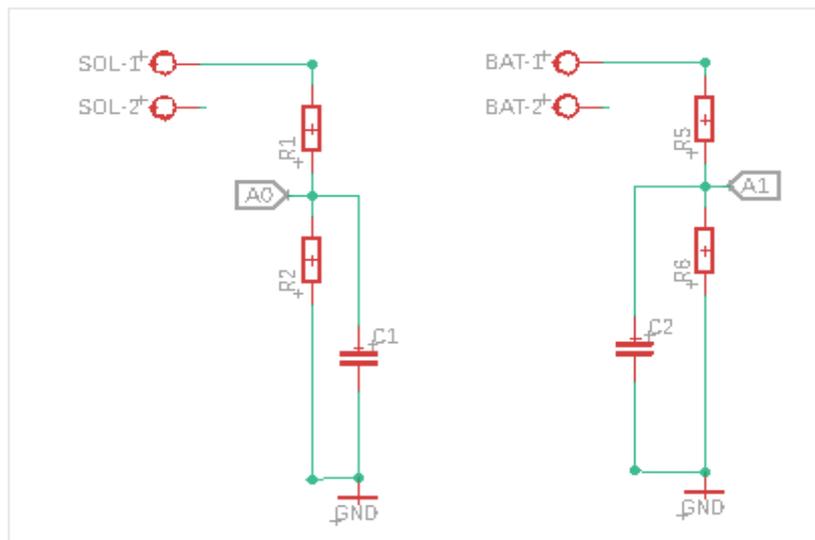


**Figura 25-2.** Circuito de reset  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

## 2.4.2 Módulo de adquisición de parámetros energéticos

### Voltaje

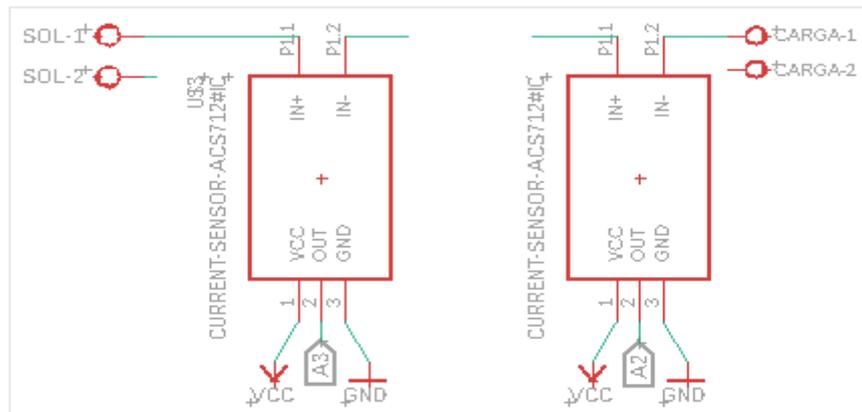
El microcontrolador ATMEGA328P posee un conversor analógico digital (ADC) de 8 canales con una resolución de 8 bits. Para la obtención de los valores de voltaje del panel solar y de la batería, se utiliza los canales ADC para el caso del voltaje del panel se utiliza el terminal A0 y para la batería el terminal A1



**Figura 26-2.** Conexión divisores de voltaje  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

## Corriente

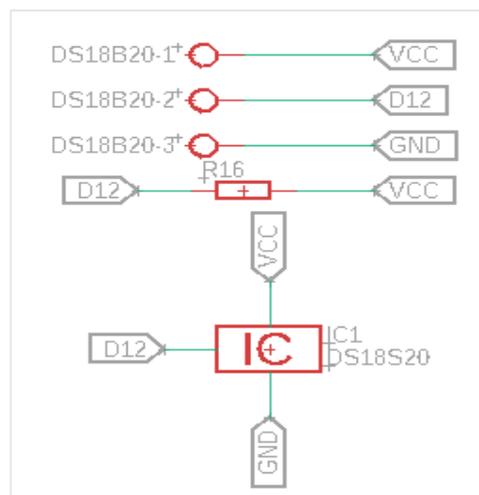
Para la medición de corriente la conexión es en serie con los sensores, para la corriente del panel solar se utiliza el terminal A3 y para la corriente de la carga conectada se utiliza el terminal A2



**Figura 27-2.** Conexión sensores ACS712  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

## Temperatura

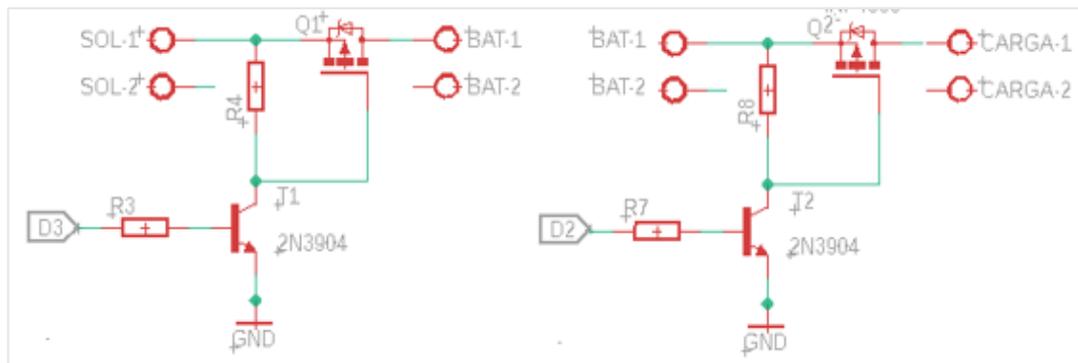
El sensor de temperatura utiliza una entrada digital, el terminal D12, el cual está polarizado debidamente con el voltaje correspondiente y con una resistencia de 4,7 K $\Omega$ .



**Figura 28-2.** Conexión sensor DS18B20  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

### 2.4.3 Módulo de Control de carga

El circuito de control de carga estará formado básicamente por dos MOSFET Q1 y Q2. El MOSFET Q1 se utiliza para enviar el pulso de carga a la batería y MOSFET Q2 se utiliza para conducir la carga. Además, para controlar estos MOSFETs se utiliza dos circuitos que cada uno consisten en dos transistores T1 y T2 con sus respectivas resistencias para controlar la corriente de base de los transistores. Para activar estos transistores se utiliza el terminal D3 para el MOSFET Q1 y el terminal D2 para el MOSFET Q2.



**Figura 29-2.** Conexión de MOSFET's

Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

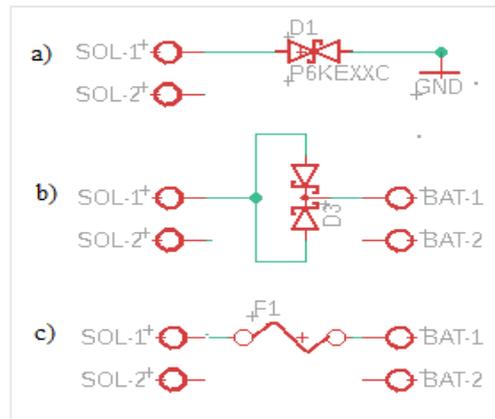
### Protecciones

En la Figura 30-2, se muestra las conexiones de las protecciones del controlador de carga.

La corriente inversa de la batería al panel solar está protegida por un diodo rectificador Schottky MBR2045CT (a).

La sobretensión de entrada desde el panel solar se protegerá mediante el uso de un diodo TVS P6KE36CA (b).

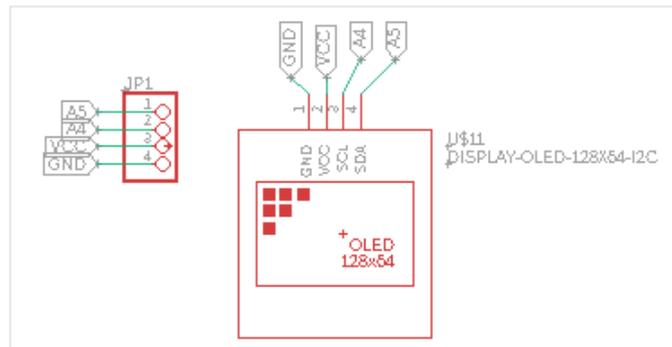
Para proteger de los picos de corriente se utiliza un fusible. El cuál se ha calculado mediante la corriente suministrada por la batería, y multiplicado por un factor de seguridad de 1,25.



**Figura 30-2.** Conexión de protecciones para panel solar y batería  
 Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

#### 2.4.4 Módulo de Visualización

Para la visualización de los parámetros energéticos, se utiliza el Display OLED ya mencionado anteriormente, con una conexión de circuito inter integrado (I2C), lo cual permite la utilización de 4 cables, 2 para datos, y 2 para alimentación. Los cables de datos se conectan a los terminales A5 y A4 que son los terminales de la señal de datos (SDA) y señal de reloj (CLK) respectivamente.



**Figura 31-2.** Conexión LCD 20X4 I2C  
 Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

#### Indicadores

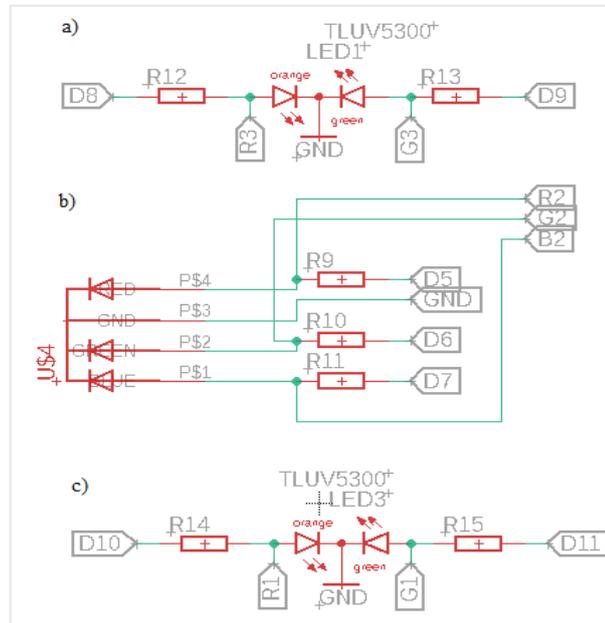
Para los indicadores se utiliza, 3 LED, para indicar el estado de la energía solar, la batería y la carga, respectivamente, como se muestra en la Figura .

LED Bicolor (a), para indicar la energía solar, si es de día o noche.

LED RGB (b), para indicar el estado de la batería, voltaje normal, carga completa y bajo voltaje.

LED Bicolor ©, para indicar si la carga está o no conectada.

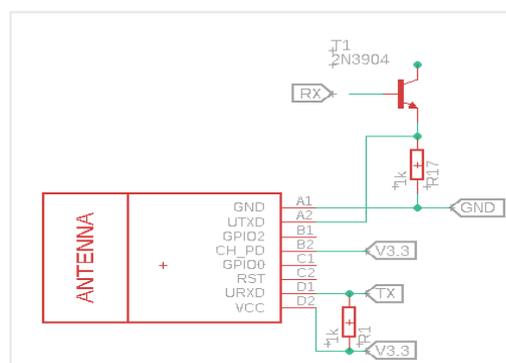
Como se observa en la Figura cada uno de los indicadores utiliza 2 o 3 salidas digitales respectivamente, desde el terminal D5 hasta el D11.



**Figura 32-2.** Conexión indicadores RGB y Bicolor  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

## Módulo Wifi

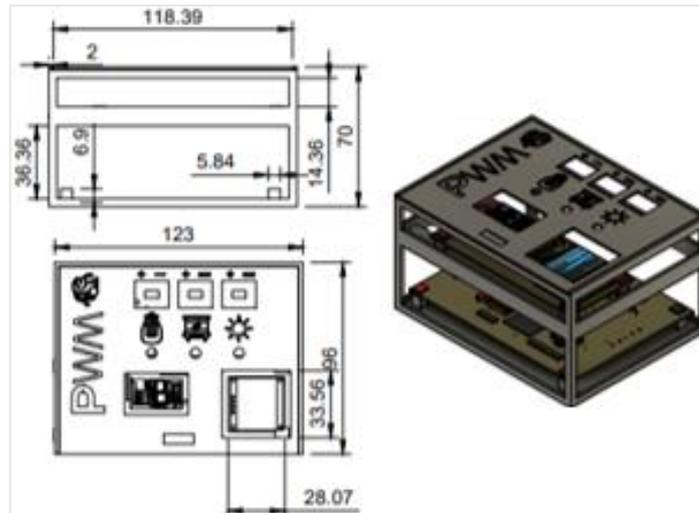
El módulo ESP01 posee 6 terminales de los cuales los indicados para alimentación se conectan a los terminales de 3,3 V y GND del Arduino, y los terminales RX y TX respectivamente para el envío y recepción de datos, para garantizar el envío de datos se utilizó un transistor 2N3904 para permitir la conmutación entre los terminales RX y TX del Arduino y ESP01



**Figura 33-2.** Conexión ESP01  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

## 2.5 Diseño de la estructura de la caja del Controlador de carga

Con la ayuda del software Fusion 360 de Autodesk se desarrolló el diseño de la caja del controlador de carga, el circuito impreso tiene unas medidas de 113.03 x 86.36 mm, para la caja se aumentó 5 mm en cada lado, una altura de 70 mm, y grosor de 2 mm. En la Figura se indica la parte frontal que muestra las siglas de PWM, iconos grabados de: panel solar, batería, carga cada una con un orificio para su indicador respectivamente, de igual forma para las borneras de conexión.



**Figura 34-2.** Estructura de la caja del controlador de carga  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

## 2.6 Diseño del software para el prototipo del controlador de carga

Una vez revisada la información de los entornos de programación en el Capítulo II, se escoge Arduino IDE, ya que posee las librerías, para los sensores seleccionados, el lenguaje de programación es C++, la versión actual del entorno es la Arduino IDE 1.8.13.

### 2.6.1 *Requerimientos del software a desarrollar*

Evitar la sobrecarga de la batería, limitar la energía suministrada a la batería por el panel solar cuando la batería se carga por completo

Evitar la descarga profunda de la batería, para desconectar la batería de las cargas eléctricas cuando la batería alcanza un estado de carga bajo.

Conectar y desconectar automáticamente la carga eléctrica conectada (iluminación LED). La carga se encenderá con la puesta de sol (voltaje de panel menor a 5 V) y se apagará al amanecer (voltaje de panel mayor a 5 V).

Monitorear los parámetros obtenidos de los sensores y mostrarlos en el servidor de Ubidots.

## **2.7 Descripción del software de desarrollo**

### **2.7.1 Programa principal**

#### **Inicialización**

Se define la librería OneWire.h, DallasTemperature.h, PID\_v1.h, para obtener los valores de temperatura del sensor DB18S20. Para la utilización del display OLED 128X64 I2C se utiliza las librerías Wire.h, Adafruit\_GFX.h, Adafruit\_SSD1306.h

Asignación de entradas analógicas A0, A1, A2, A3, para los valores del voltaje del panel solar, batería; valores de corriente del panel y de la carga eléctrica, respectivamente para los sensores de voltaje y corriente.

Asignación de entradas y salidas digitales, como entrada D12 para el sensor de temperatura, como salidas los terminales D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, respectivamente para los indicadores del estado de la batería, carga eléctrica y energía solar. Para el control de los dispositivos de conmutación se utiliza los terminales D3 y D4, para el MOSFET Q1 y Q2 respectivamente.

Se declara la variable PRM\_NUM 10, corresponde al número de iteraciones de la función ADC para promediar las lecturas ADC. BULK\_CHARGE\_SP 14.6, FLOAT\_CHARGE\_SP 13.6 y REINICIO\_SP 13.4 para el voltaje de las etapas del ciclo de carga, y para reiniciar la etapa de carga. MIN\_SOLAR 10, LVD 11.5, LVR 12.5, ABS\_LIM 3600000, NOCHE 3600000, son variables de control para la función de control. Offset 2.5 y sensibilidad 0.66 para la medición de los sensores ACS712.

Se declara variables de almacenamiento float: sol\_v, bat\_v, sol\_i, disp\_i, temperatura, tempc, pwm\_duty, massp, error, flotsp, load\_w, load\_wh, sol\_w, sol\_wh; int: est, bat\_t; unsigned long: abst, cargar\_millis, reinicio\_t; double: Setpoint, Input, Output.

Inicialización del puerto serial, asignación de frecuencia de 980.39 Hz para el terminal D3, inicio de la función myPID, v\_sp.

## **Bucle repetitivo**

Se inicia con la lectura de parámetros energéticos, voltaje, corriente y temperatura mediante la función `datos_sensores` y la función `leer_adc` para promediar las lecturas del convertidor analógico digital. Mediante la función `v_sp` se obtiene el punto de ajuste de la carga compensada por temperatura, para los valores de voltaje de flotación (`flotsp`), voltaje masivo (`massp`)

Una vez obtenido los valores de ajuste, y los parámetros energéticos se inicia la función, `cargador` que tiene como casos cada una de las etapas del ciclo de carga, según los niveles de tensión mencionados en el párrafo 2.1.6.

Mientras los niveles de tensión de la batería y del panel solar permitan las etapas del ciclo de carga, se ejecuta la función `control` para conectar o desconectar la carga eléctrica según el voltaje del panel solar, si el voltaje es superior a 5V se considera luz de día y se desconecta la carga, si es menor que 5V se considera luz de noche y se activa la carga.

Para obtener los valores de potencia y energía del panel y la carga se realizan los cálculos respectivos en la función `datos_potencia`, considerando la unidad de energía en Wh.

En la función `indicadores` se controlan los LED mediante los niveles de tensión del panel, batería y los niveles de tensión de desconexión y reconexión asignados anteriormente en la inicialización. Si no cumple ninguna de estas condiciones se desactivan todos los LED con la función `indicadores_apagados`.

Para imprimir los datos de parámetros energéticos, potencia y energía a través del puerto serial se utiliza la función `datos_serial`. y para su visualización en el LCD, con la función `datos_display`.

Los datos enviados de manera serial, se utilizan para el envío de datos al servidor de Ubidots mediante el módulo Wifi ESP01. Los datos enviados de manera serial se envían a través de un protocolo de comunicación, que separa cada parámetro con un signo de admiración y al finalizar el envío de todos los datos un espacio.

### **2.7.2 Diagrama de flujo del programa principal**

Se presenta el algoritmo denominado `cargador` en el cual se presenta el ciclo de carga de 3 etapas, antes mencionado.

Este algoritmo se maneja a través de una estructura *switch case* con las siguientes variables.

Est: estado del cargador

V1: voltaje del panel solar

V2: voltaje de la batería

I1: corriente del panel solar

I2: corriente de la carga conectada

SP1: voltaje consigna etapa masiva (M)

SP2: voltaje consigna etapa flotante (F)

SP3: voltaje consigna etapa absorción (A)

T1: tiempo de inicio de reloj

T2: tiempo de carga

T3: tiempo de variable noche

T4: tiempo de reinicio

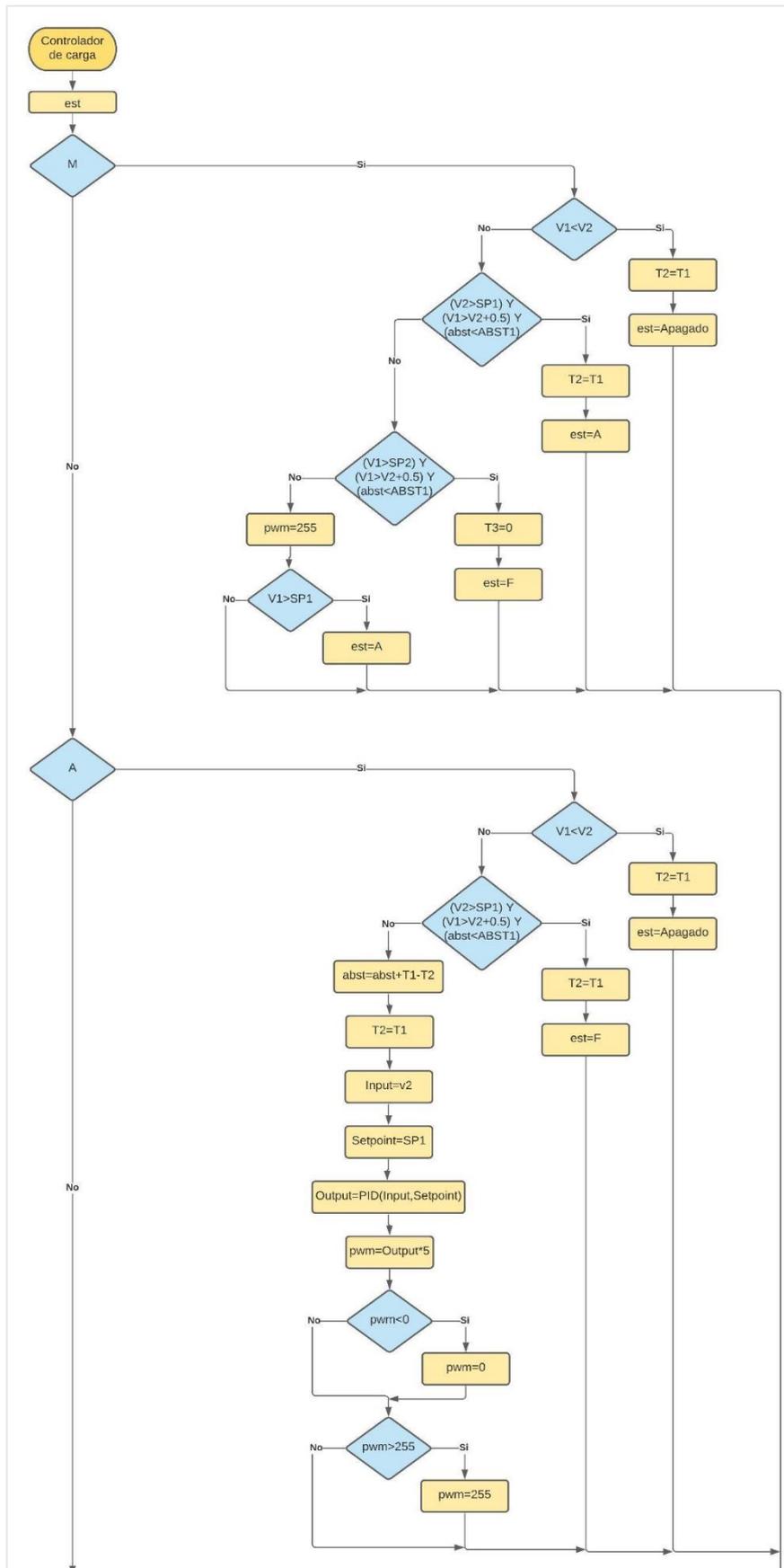
Abst: tiempo de inicio de etapa absorción

ABST1: tiempo límite de la etapa absorción

CRT: tiempo de reinicio del cargador

Ft: tiempo final

Fi: tiempo inicial



**Figura 35-2.** Parte del algoritmo de carga del controlador de carga  
 Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

### 2.7.3 Bibliotecas que integran el programa principal

#### **Onewire**

Permite acceder a los dispositivos de un solo cable fabricados por Maxim/Dallas, como sensores de temperatura; se puede utilizar la biblioteca de DallasTemperature. Permite que el sensor se comunique con dispositivos de un solo cable. Para lo cual como requerimiento de hardware se necesita una única resistencia de 4,7 K $\Omega$ , conectada entre el terminal de medición y su fuente de alimentación. (Arduino, 2018)

#### **Wire**

Esta biblioteca le permite comunicarse con dispositivos I2C. En la placa Arduino nano, el terminal SDA (línea de datos) y SCL (línea de reloj) son los terminales A4 y A5 respectivamente. A partir de Arduino 1.0, la biblioteca hereda de las funciones Stream, lo que la hace coherente con otras bibliotecas de lectura y escritura. Debido a esto, send() y receive() se han reemplazado por read() y write(). La implementación de la biblioteca Wire utiliza un búfer de 32 bytes, por lo tanto, cualquier comunicación debe estar dentro de este límite. Exceder bytes en una sola transmisión simplemente serán eliminados. (Arduino, 2020)

#### **PID**

Hay muchas maneras de escribir el algoritmo (Proporcional Integral Derivativo) PID. El algoritmo de esta biblioteca tan sólido como cualquier otro encontrado en la industria. Todo el código PID es autónomo. Esto hace que el código a implementar sea más fácil de entender. Permite hacer cosas más complejas, como por ejemplo tener 8 PIDs en el mismo programa. Hay 3 Parámetros de Sintonía constante proporcional (Kp), constante integral (Ki) y constante derivativa (Kd). Ajustar estos valores cambiará la forma en que se ajusta la salida. No hay una respuesta correcta para valores correctos. Los valores que funcionan para una aplicación pueden no funcionar para otra. (Arduino, 2020) Esta librería se utiliza para calcular el voltaje de carga compensada por temperatura.

#### **Analog I/O**

*Analog read*, se utiliza para leer el valor del terminal analógico especificado. Las placas Arduino contienen un convertidor analógico a digital multicanal de 10 bits. Esto significa que asignará voltajes de entrada entre 0 y la tensión de funcionamiento (5V o 3.3V) en valores enteros entre 0

y 1023. En un Arduino nano, por ejemplo, esto produce una resolución entre las lecturas de: 5 voltios / 1024 unidades o, 0.0049 voltios (4.9 Mv) por unidad. (Arduino, 2020)

## **Time**

La función delay pausa el programa durante la cantidad de tiempo (en milisegundos) especificada como parámetro. (Hay 1000 milisegundos en un segundo). La función millis devuelve el número de milisegundos pasados desde que la placa Arduino comenzó a ejecutar el programa actual. Este número se desbordará (volver a cero), después de aproximadamente 50 días. (Arduino, 2020)

### **2.7.4 Programa para envío de datos al servidor Ubidots**

#### **Inicialización**

Se define las librerías ESP8266, WiFi.h, DNSServer.h, ESP8266WebServer.hWiFiManager.h, Ubidots.h, necesarias para que el prototipo puede ser conectado a la red Wifi de preferencia mediante un dispositivo ya conectado a la red como un teléfono o computador.

Se declara las variables de tipo carácter: UBIDOTS\_TOKEN y DEVICE\_LABEL; variables de almacenamiento tipo float: solar\_volt, solar\_current, bat\_volt, 78emperatura, load\_current, pwm\_duty, solar\_wattHours, load\_wattHours, efi; de tipo string: solar\_volt1, solar\_current1, bat\_volt1, temperature1, load\_current1, pwm\_duty1, solar\_wattHours1, load\_wattHours1, efi1; y tipo int: cont = 0.

Se inicializa el puerto serial y la función para crear el punto de acceso de internet.

#### **Bucle repetitivo**

Se verifica si está conectado a internet.

Se obtiene los datos del puerto serial a través de una función que valida el protocolo de comunicación antes mencionado en la inicialización del programa principal.

Una vez obtenido los parámetros energéticos se envía a través del protocolo de internet UDP

### 2.7.5 Diagrama de flujo para envío de datos al servidor Ubidots

Se presenta el algoritmo denominado envío de datos, en el cual se presenta la creación del punto de acceso a internet, la lectura de datos desde la placa Arduino nano y el envío de éstos al servidor de Ubidots.

Sol\_v: voltaje del panel fotovoltaico

Sol\_i: corriente del panel fotovoltaico

Bat\_v: voltaje de la batería

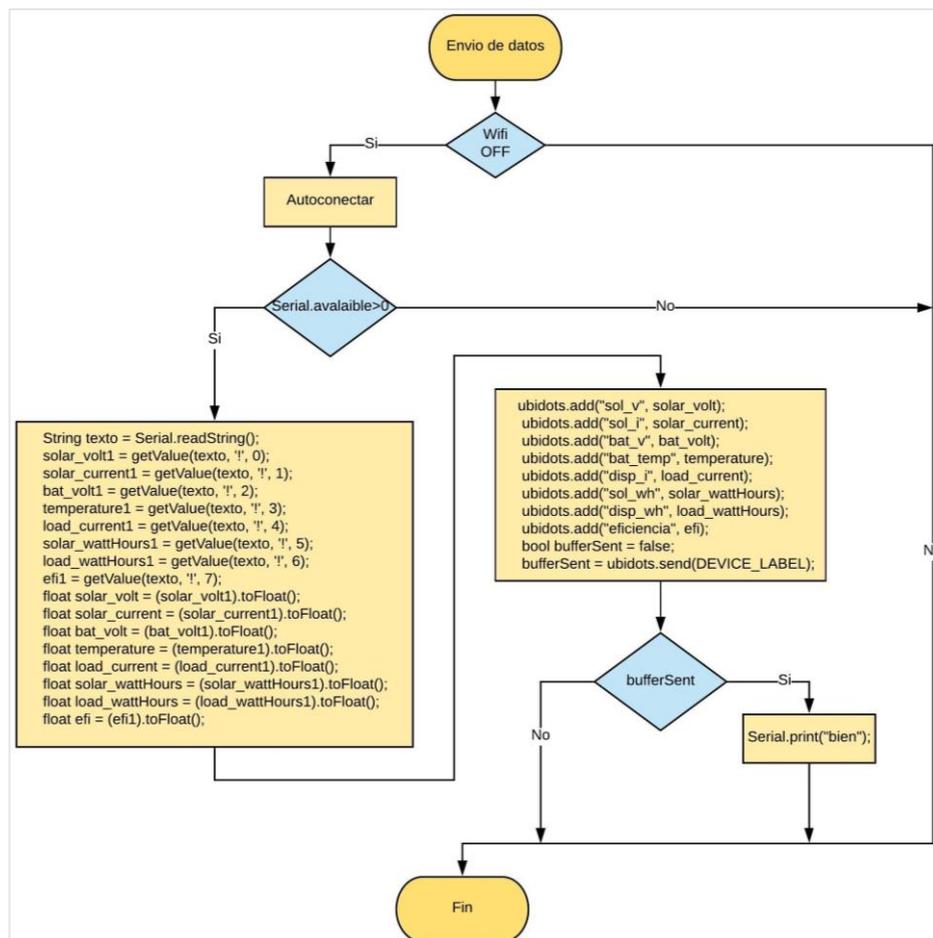
Bat\_temp: temperatura de la batería

Disp.\_i: corriente de la carga conectada (iluminación LED)

Sol\_wh: energía del panel fotovoltaico

Disp.\_wh: energía de la carga conectada

Eficiencia: eficiencia del controlador de carga



**Figura 36-2.** Diagrama de flujo de envío de datos  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

### **2.7.6 Bibliotecas que integran el programa de envío de datos al servidor Ubidots**

#### **Wifi Manager**

Cuando se inicia el módulo ESP, se configura en modo de estación e intenta conectarse a un punto de acceso previamente guardado si esto no tiene éxito, redirige el ESP al modo de punto de acceso y activa un DNS y un WebServer (ip predeterminado 192.168.4.1) utilizando cualquier dispositivo con wifi habilitado con un navegador (ordenador, teléfono, tableta), al conectarse al punto de acceso recién creado debido al Portal Cautivo y el servidor DNS obtendrá un tipo de ventana emergente “Unirse a la red” o conseguir cualquier dominio al que intente acceder redirigido al portal de configuración elija uno de los puntos de acceso escaneados, introduzca la contraseña, haga clic en guardar ESP intentará conectarse. (Expressif, 2021)

#### **Serial I/O**

Lee los datos serie entrantes. (Arduino, 2021)

#### **Ubidots**

Permite enviar datos de forma insegura, a través del protocolo de internet UDP. Como Ubidots hace todo lo posible para proteger los datos, no garantiza ningún problema, error de datos o olfativo externo proveniente del cliente seguro nativo o errores en la biblioteca. Agrega un punto con su valor relacionado, contexto y marca de tiempo para a un origen de datos determinado. La longitud máxima de carga útil es de 700 bytes, si la carga es mayor no se enviará correctamente.

(Ubidots, 2021)

### **2.7.7 Trama de datos**

Al utilizar el protocolo de datagramas de usuario (UDP), permite la transmisión sin conexión de datagramas en redes basadas en IP. Para obtener los servicios deseados en los hosts de destino, se basa en los puertos que están listados como uno de los campos principales en la cabecera UDP. Como muchos otros protocolos de red, UDP pertenece a la familia de protocolos de Internet, por lo que debe clasificarse en el nivel de transporte y, en consecuencia, se encuentra en una capa intermedia entre la capa de red y la capa de aplicación. La trama de datos enviadas al servidor de Ubidots tiene una longitud de 716 bytes como se muestra en la siguiente imagen.

```

Data (716 bytes)
Data: 000002c87b0a0922686561646572223a097b0a09092276657273696f6e223a092254502d...
[Length: 716]
0020 ff ff b4 9e 74 72 02 d4 3d d1 00 00 02 c8 7b 0a .....tr... = .....{
0030 09 22 68 65 61 64 65 72 22 3a 09 7b 0a 09 09 22 .."header " : { ..
0040 76 65 72 73 69 6f 6e 22 3a 09 22 54 50 2d 4c 49 ..version" : "TP-LI
0050 4e 4b 20 45 43 53 20 76 65 72 20 31 2e 30 2e 30 ..NK ECS v er 1.0.0
0060 22 2c 0a 09 09 22 6d 61 63 22 3a 09 22 64 38 3a ..", .."ma c": "d8:
0070 30 64 3a 31 37 3a 32 65 3a 37 64 3a 39 63 22 2c ..0d:17:2e :7d:9c",
0080 0a 09 09 22 74 79 70 65 22 3a 09 31 2c 0a 09 09 .."type" : "1, ..
0090 22 65 72 72 6f 72 22 3a 09 30 0a 09 7d 2c 0a 09 .."error": "0.", ..
00a0 22 62 6f 64 79 22 3a 09 7b 0a 09 09 22 64 65 76 .."body": { .."dev
00b0 69 63 65 49 6e 66 6f 22 3a 09 7b 0a 09 09 09 22 ..iceInfo" : { ..
00c0 6d 6f 64 65 6c 22 3a 09 22 45 41 50 31 31 30 22 ..model": "EAP110
00d0 2c 0a 09 09 09 22 6e 61 6d 65 22 3a 09 22 45 41 .., .."na me": "EA
00e0 50 31 31 30 2d 44 38 2d 30 44 2d 31 37 2d 32 45 ..P110-D8- 0D-17-2E
00f0 2d 37 44 2d 39 43 22 2c 0a 09 09 09 22 66 69 72 ..-7D-9C", .."fir
0100 6d 77 61 72 65 56 65 72 73 69 6f 6e 22 3a 09 22 ..mwareVer sion": "
0110 33 2e 31 2e 30 20 42 75 69 6c 64 20 32 30 31 38 ..3.1.0 Bu ild 2018
0120 30 34 31 38 20 52 65 6c 2e 20 37 34 37 31 39 22 ..0418 Rel . 74719"
0130 2c 0a 09 09 09 22 6d 6f 64 65 6c 56 65 72 73 69 .., .."mo delVersi

```

**Figura 37-2.** Trama de datos enviados a Ubidots  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

## CAPÍTULO III

### 3 VALIDACIÓN DE PROTOTIPO

En este apartado se analizan los resultados obtenidos mediante las pruebas realizadas, para el cumplimiento de los objetivos, pruebas de medición de variables a través de los sensores, el tiempo de carga de la batería, y control de la carga conectada.

#### 3.1 Comparación de mediciones de los sensores.

La medición de las variables se realiza mediante los sensores de corriente ACS712 el cual mediante software se calibra con la sensibilidad de 100 mV, según el modelo de 20 A, la medición de voltaje a través de los circuitos divisores de voltaje y la calibración según el número de resolución de bits de los canales analógicos, estos valores se corroboran mediante la utilización de un multímetro Proskit.



**Figura 1-3.** Comparación de medidas eléctricas  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

En la Figura 1-3, se muestra el valor medido por un multímetro y en display el valor medido por el controlador de carga, teniendo un error de medición de 0,03.



**Figura 2-3.** Comparación de mediciones de temperatura  
**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

En la Figura 2-3, se compara la medición entre los sensores DS18B20 con una precisión de +/- 0.5 °C, respecto al sensor de temperatura y humedad con una precisión de +/- 2 °C

Para la tabulación de datos se utilizó el módulo wifi ESP8266 para enviar las mediciones al servidor de Ubidots.

A continuación, en la Tabla 1-3 se muestra las mediciones de las variables mencionadas anteriormente.

**Tabla 1-3:** Tabulación de mediciones

temp	disp_i	bat_v	disp_wh	efi	sol_i	sol_v	sol_wh
21,06	0,11	12,87	0,65	99,46	0,11	12,94	0,05
21,06	0,11	12,84	0,68	99,00	0,11	12,97	0,52
20,06	0,16	12,84	1,25	89,67	0,21	10,91	0,82
20,06	0,11	12,84	1,33	82,89	0,16	10,65	0,86
19,75	0,05	12,84	1,73	81,55	0,08	9,84	1,01
19,87	0,03	12,82	0,18	80,38	0,05	9,57	1,04
19,69	0,05	12,84	2,11	81,39	0,08	9,86	1,18
19,81	0,05	12,84	2,16	86,48	0,08	9,28	0,12
19,87	0,13	12,84	2,42	98,62	0,21	8,06	1,29
19,81	0,08	12,82	2,47	80,71	0,18	7,06	1,31
19,94	0,05	12,84	3,29	96,31	0,11	6,06	1,53
19,94	0,05	12,84	3,44	95,99	0,11	6,08	1,57
19,87	0,08	12,84	4,58	93,86	0,18	6,08	1,89
19,81	0,05	12,84	0,46	95,99	0,11	6,08	0,19
19,75	0,11	12,84	5,98	95,69	0,24	6,15	2,26
19,87	0,08	12,84	6,01	92,79	0,18	6,15	2,28
19,87	0,08	12,84	7,42	93,86	0,18	6,08	2,64
19,87	0,05	12,84	7,47	96,31	0,11	6,06	2,65
19,75	0,08	12,84	8,94	93,86	0,18	6,08	3,05
19,62	0,05	12,87	9,36	95,43	0,11	6,13	3,16
19,44	0,05	12,82	10,23	81,10	0,13	6,08	3,34
19,31	0,08	12,82	10,34	92,95	0,18	6,13	3,43

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

Donde:

temp: Temperatura de la batería (°C)

bat\_v: Voltaje de la batería (V)

disp\_i: Corriente de la carga conectada (A)

disp\_wh: Energía de la carga conectada (Wh)

efi: eficiencia

sol\_i: Corriente del panel fotovoltaico (A)

sol\_v: Voltaje del panel fotovoltaico (V)

sol\_wh: Energía del panel fotovoltaico (Wh)

Después de obtener datos de las mediciones realizadas durante la implementación del controlador PWM diseñado, la eficiencia se calculó utilizando la Ecuación 1-3, tomando 374610 mediciones de cada una de las variables antes mencionadas. Generando los valores promedios de la medición de 10 días, indicados en la siguiente Tabla 2-3.

De igual forma estos valores se visualizan en el servidor de Ubidots como en la Figura 3-3.

Permite la utilización de iconos y widgets para su interfaz, que se añade título, rango de la variable a mostrar.



**Figura 3-3.** Parámetros energéticos mostrados en Ubidots  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

**Tabla 2-3: Valores promedios**

Variable	Valor	Unidad
Batería temperatura	16,9275	°C
Batería voltaje	12,8999	V
Dispositivo corriente	0,1081	A
Dispositivo energía	143,2988	Wh
Eficiencia	94,4967	%
PV corriente	0,5814	A
PV voltaje	7,7475	V
PV energía	297,0344	Wh

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

A continuación, se muestra las gráficas correspondientes a la eficiencia.

**Ecuación 1-3. Eficiencia**

$$Eficiencia(\%) = \frac{b_v \times b_i}{s_v \times s_i} \times 100\%$$

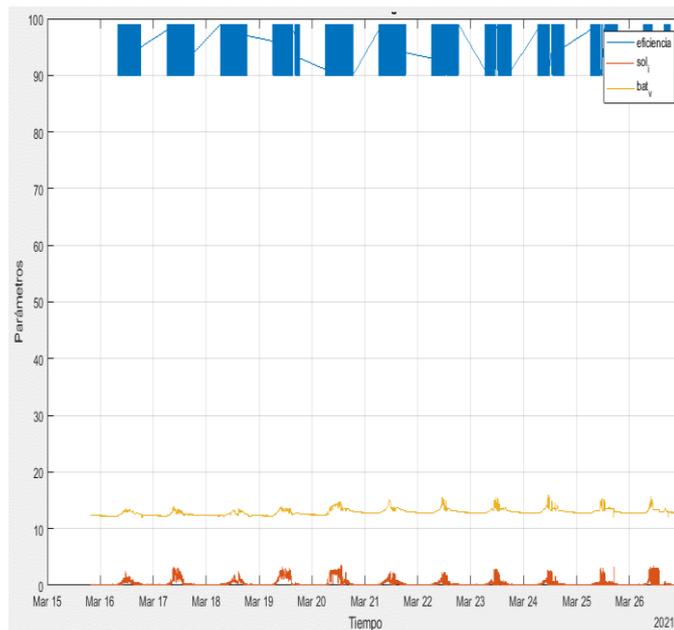
Donde:

Bv: voltaje de la batería (V)

Bi: corriente de la batería (A)

Sv: voltaje del panel solar (V)

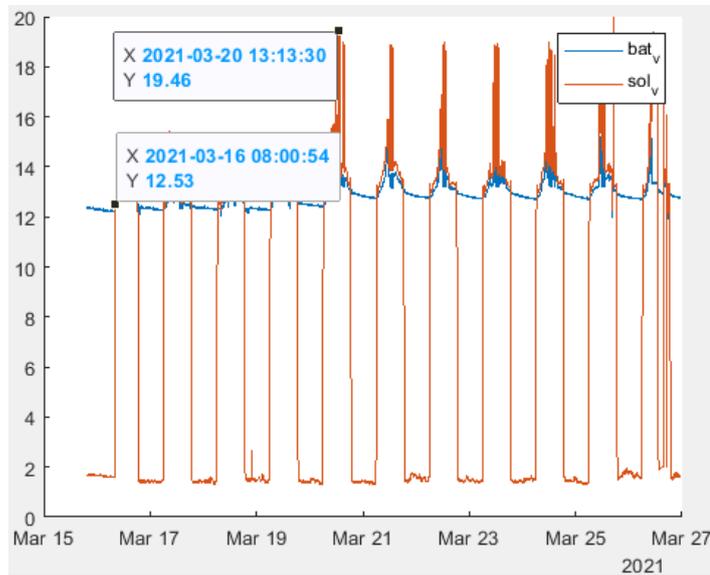
Si: corriente del panel solar (A)



**Gráfico 1-3. Eficiencia**

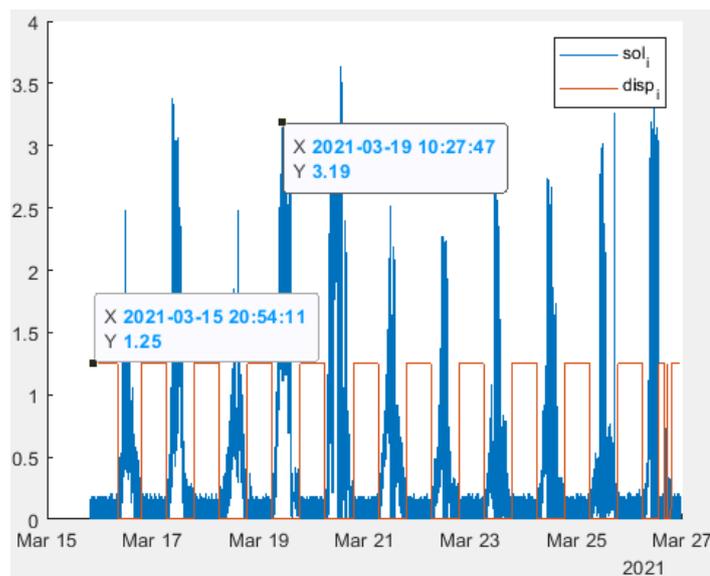
**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

Como se observa en el Gráfico 1-3, la eficiencia tiene un valor promedio de 94,4 % esta evaluación se la realiza entre la potencia suministrada por el panel fotovoltaico y la potencia de la carga conectada.



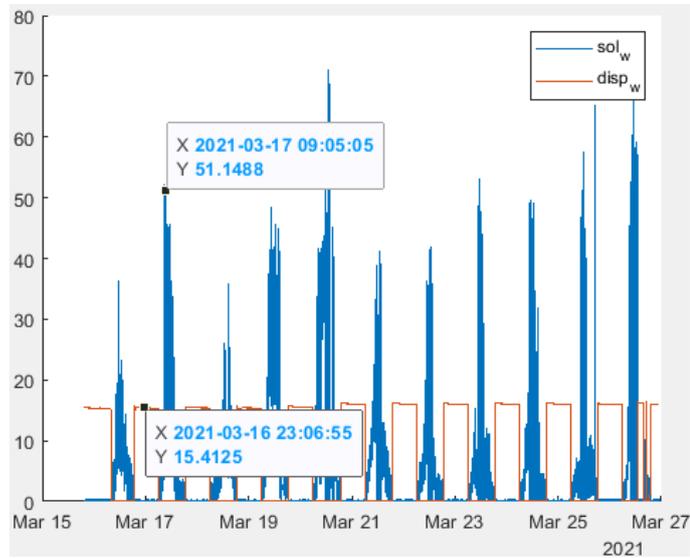
**Gráfico 2-3.** Voltaje de batería y panel solar  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

El Gráfico 2-3, indica la variación del voltaje de la batería y el panel en un intervalo de tiempo de 10 días.



**Gráfico 3-3.** Corriente de batería y panel solar  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

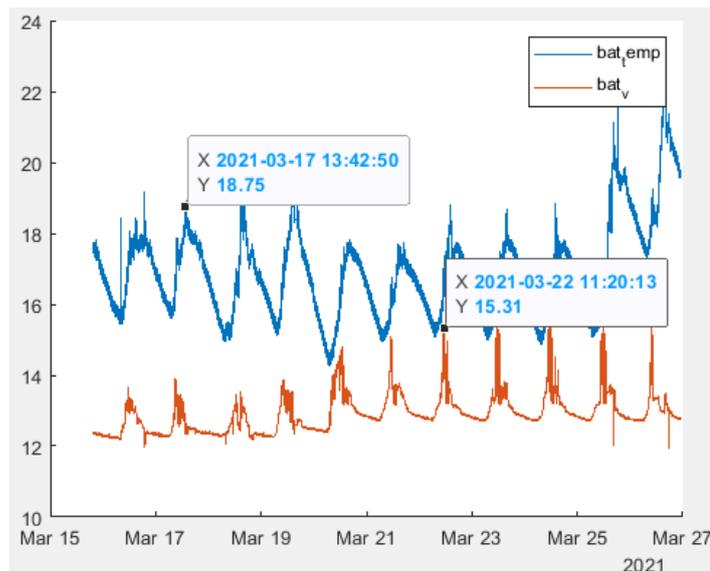
En este intervalo de 10 días se verificó la corriente de suministro promedio en 0,25 A, al igual que la corriente de consumo promedio igual a 0,1349 A



**Gráfico 4-3.** Potencia entregada y recibida  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

La potencia suministrada por el panel alcanza los 50 Wp especificados en la etiqueta, y de la misma manera se verifica la potencia de 15 W para la carga de iluminación LED.

La energía suministrada y de salida, permite realizar una comparación con el costo de esta, por parte de la empresa eléctrica. Considerando que la carga conectada, es iluminación de 15W existe un ahorro de 0,50 dólares en la planilla.



**Gráfico 5-3.** Temperatura y voltaje de la batería  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

Las temperaturas frías aumentan la resistencia interna y disminuyen la capacidad. La disminución de la capacidad es lineal con la temperatura. Mediante el código implementado, si la temperatura está por encima de la temperatura ambiente, el punto de ajuste de la carga se reduce. Si la temperatura está por debajo de la temperatura ambiente, el punto de ajuste de la carga aumenta.

### 3.2 Tiempo de carga de la batería

La batería tiene una capacidad de 33 Ah, la carga se realiza mediante el panel fotovoltaico, que suministra una corriente de 1,6 A.

#### Ecuación 2-3. Tiempo de carga de una batería

$$T_c = \frac{C}{I_c}$$

Tiempo de carga: tiempo en horas

C: capacidad en amperios hora de la batería (Ah)

I<sub>c</sub>: corriente del panel fotovoltaico en amperios (A)

La corriente de carga debe ser entre 5% y 10% de la capacidad en Ah de la batería.

#### Ecuación 3-3. Corriente de carga

$$I_c = (5\% \text{ a } 10\%) * C$$

La corriente promedio de carga tiene el valor de 1.65 A. En el caso de ser ideal, el valor de tiempo de carga es de 20 horas, en el caso de carga de baterías se registra un 40% de pérdidas. Ahora el tiempo de carga tomando en cuenta las pérdidas.

#### Ecuación 4-3. Tiempo de carga real de una batería

$$T_{CR} = \frac{C \times 140\%}{I_c}$$

T<sub>cr</sub>: tiempo de carga real en horas (h)

Con los valores de la corriente de máxima potencia del panel fotovoltaico el tiempo de carga es de 16,110 horas.

### 3.3 Tiempo de descarga de la batería

#### Ecuación 5-3. Tiempo de descarga

$$T_D = \frac{X \times C}{I \times 100\%}$$

TD: tiempo de descarga (h)

X: porcentaje de descarga esperada (%)

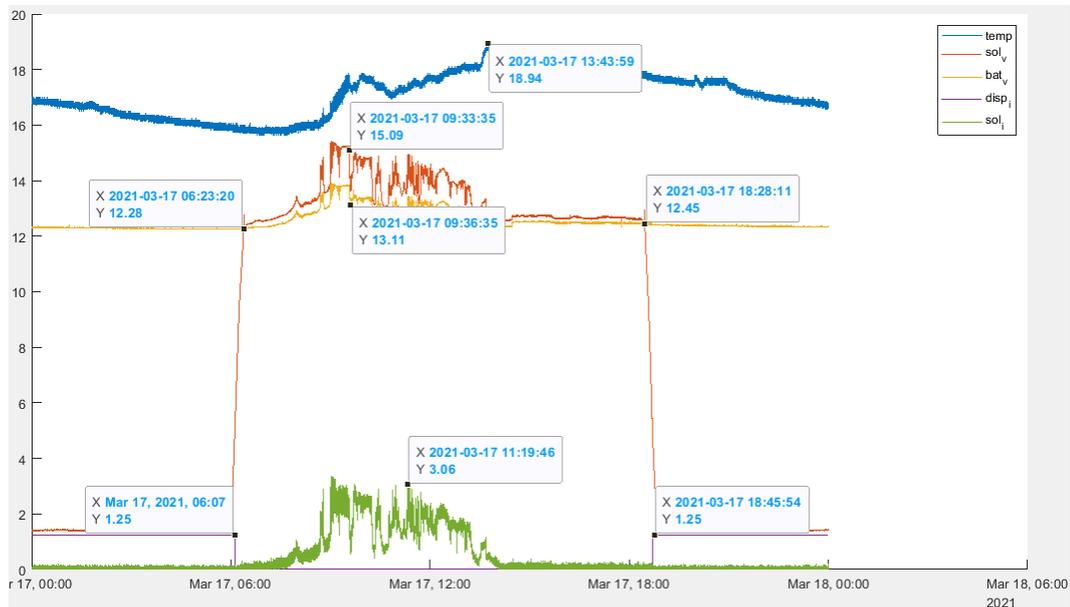
C: capacidad nominal de batería (Ah)

I: corriente de consumo de la a batería (A)

$$T_D = \frac{90\% \times 33}{0,1349 \times 100\%} = 220,16 \text{ h}$$

El tiempo de descarga sin que la carga sea activada es de 220,16 h, la corriente de consumo solo por parte de la batería es de 0,1349 A.

Si la carga (iluminación) está activada, la corriente de consumo es de 1,25 A, la iluminación es de 15W. El tiempo de descarga es igual a 74,26 horas.

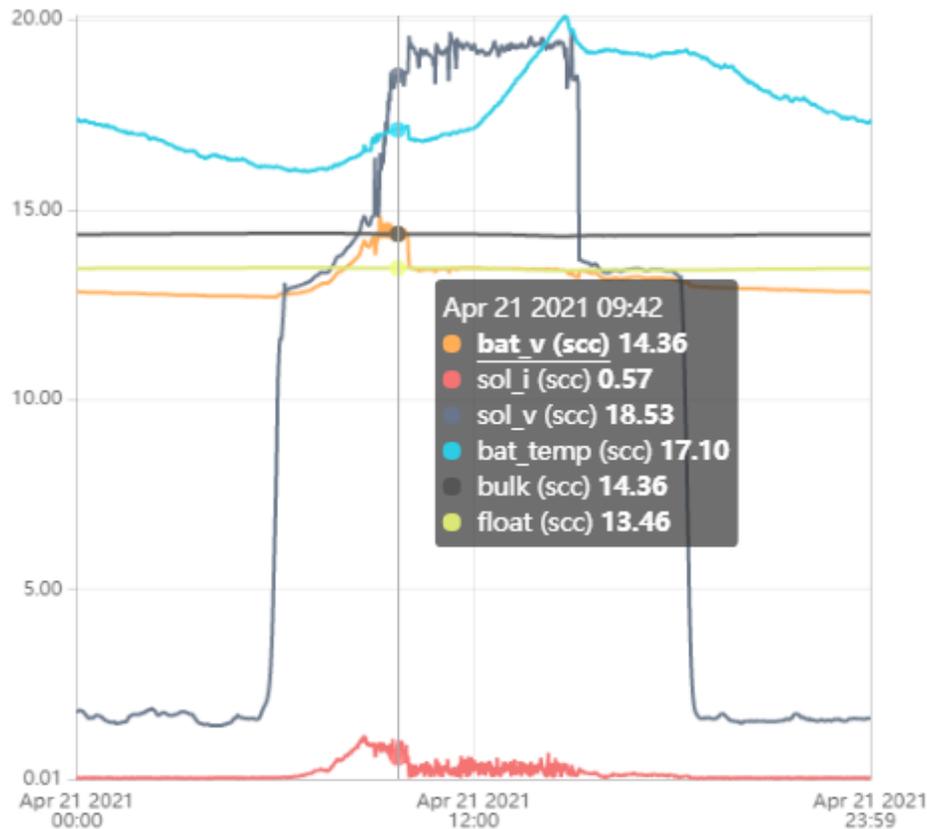


**Gráfico 6-3. Parámetros energéticos**  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

En el Gráfico 6-3, se indica los valores de los parámetros energéticos para notar el proceso de carga y descarga de la batería, la radiación solar promedio en los meses Febrero, Marzo en la

ciudad de Riobamba es de 5,3 kWh a 5 kWh, los estados de carga permiten mantener la salud de la batería, protegiendo de la sobrecarga y descarga profunda.

Para una mejor apreciación del ciclo de carga durante un día, se muestra en el Gráfico 7-3 las etapas de carga, notándose los niveles de voltaje o tensión de cada etapa, calculados de acuerdo con la temperatura de la batería.



**Gráfico 7-3.** Ciclo de carga de un día  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

Considerando la hora cuando el voltaje del panel fotovoltaico es mayor que la batería, inicia la etapa masiva a las 6h17 hasta alcanzar su voltaje de consigna de 14,36 V a las 9h 10, iniciando la etapa de absorción que mantiene este nivel de voltaje hasta las 9h 58, continuando con la etapa de flotación que reduce gradualmente el nivel de voltaje hasta 13,46 V de consigna de la etapa actual a las 10h14 y manteniendo el voltaje constante mientras el panel fotovoltaico suministre los valores de voltaje y corriente para la carga de la batería, hasta las 15h15.

PWM son las siglas de Modulación de Ancho de Pulso, que representa el método que utiliza para controlar o regular la carga. Su función es bajar el voltaje del panel solar hasta acercarla a la de la batería para asegurar que ésta se cargue correctamente. Mediante los MOSFET IRF5305 para conectar y desconectar el panel solar con la batería, conmutando a alta frecuencia con varios

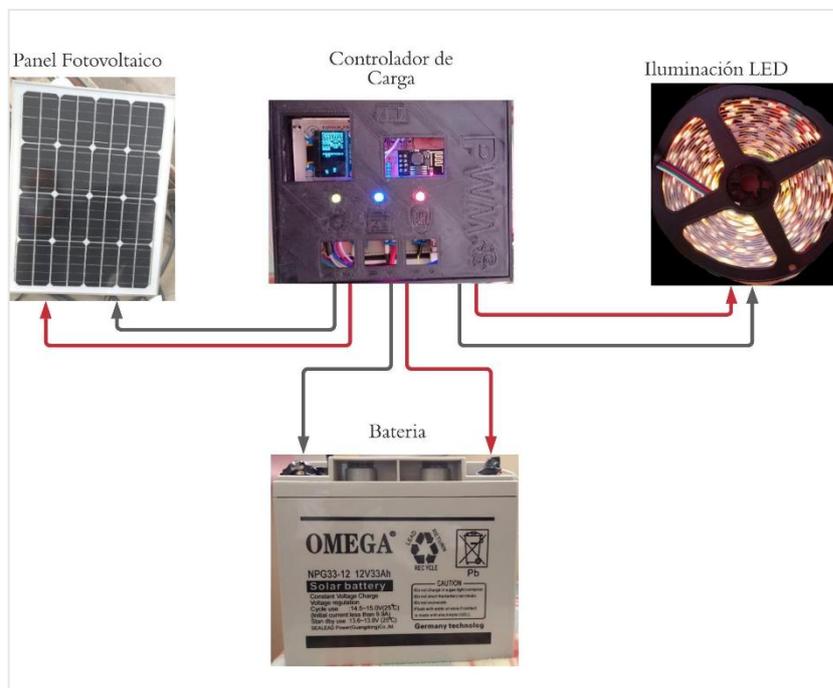
anchos de pulso, mantiene una tensión constante. El controlador PWM se autoajusta variando el ancho y la frecuencia de los pulsos enviados a la batería.

Cuando el ancho de pulso está al 100%, el MOSFET está a pleno rendimiento, permitiendo que el panel solar cargue la batería. Cuando la anchura está al 0%, el transistor está apagado, lo que hace que el panel solar no pase ninguna corriente a la batería cuando ésta está completamente cargada. La tensión final para alcanzar el estado de carga completa debe ser mayor cuanto menor sea la temperatura, ya que las reacciones químicas tienen más dificultades de tener lugar y, por lo tanto, requieren más energía para que el proceso funcione.

### Control de iluminación

Consiste en evaluar si responde al funcionamiento de la carga de iluminación conectada, similar a la iluminación de alumbrado público, centrándose en la presencia y no de luz para que se active la iluminación.

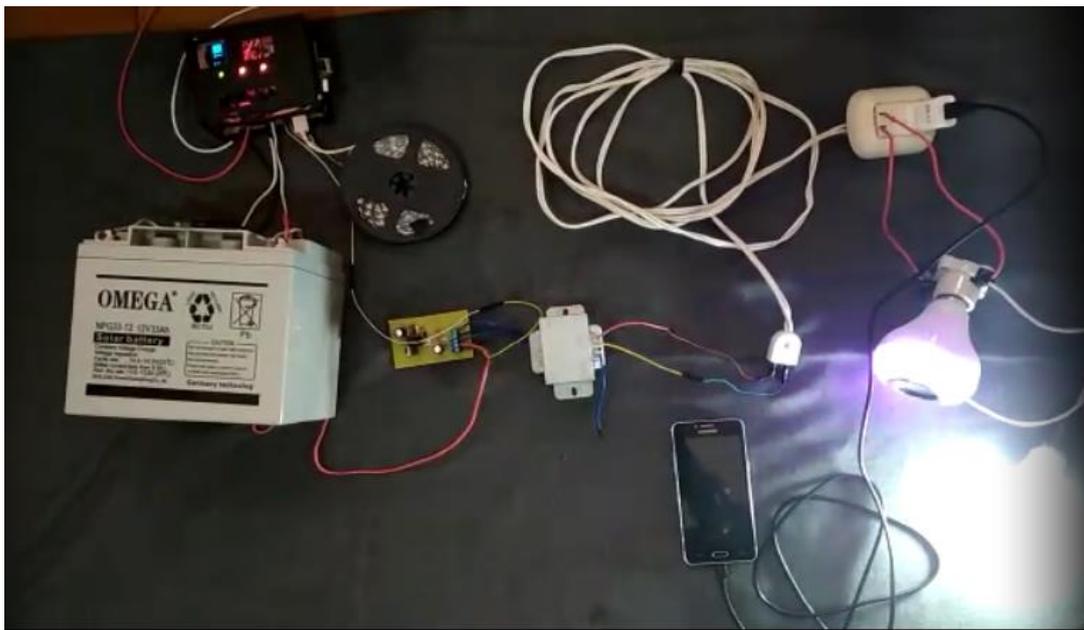
Se verificó las condiciones indicadas en el código si el voltaje del panel es mayor que 5 V, existe presencia de luz, por lo cual se permite el funcionamiento para la carga de la batería, en el caso contrario, de ser menor el voltaje se activa la iluminación LED.



**Figura 4-3.** Conexión: Panel, controlador, batería  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

La iluminación se activa aproximadamente a las 18h03 en la que el voltaje suministrado por el panel fotovoltaico es inferior a 5 voltios. Ésta se desactiva alrededor de las 06h18.

Además, de utilizar como carga, la iluminación LED de corriente continua; para corroborar el uso del sistema fotovoltaico aislado de la red tanto para cargas en corriente continua y alterna, se conectó una carga de corriente alterna de 15 Watts, mediante un inversor de baja potencia, que consta de dos dispositivos de conmutación y un transformador reductor de 110 a 12 voltios en AC y 2 amperios, el circuito se encuentra en el Anexo I.



**Figura 5-3.** Carga de corriente alterna  
Realizado por: (Cruz y Jaramillo, 2021)

En la Figura 5-3, además se muestra el diagrama de conexión entre el controlador de carga, batería y las cargas de iluminación de corriente continua y alterna. Se resalta que la conexión entre la batería y el inversor debe ser directa.

## CAPÍTULO IV

### 4 EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este apartado se analiza la relación beneficio costo, en el cual se detalla los costos de los componentes del prototipo, así como la comparación del prototipo con un dispositivo comercial.

**Tabla 1-4:** Precio de componentes

Controlador de carga PWM					
No	Nombre	Identificador	Cantidad	Precio U. \$	Total \$
1	IRF5305	Q1, Q2	2	3,5	7
2	MBR2045	D2	1	1,5	1,5
3	Convertidor reductor-MP2307	X1	1	6,5	6,5
4	Sensor de corriente - ACS712	U2, U3	2	8	16
5	Diodo 1N4007	D1	1	0,05	0,05
6	Transistor - 2N3904	T1, T2	2	0,15	0,3
7	Resistencia -100K	R1, R3	2	0,05	0,1
8	Resistencia-20K	R2, R4	2	0,05	0,1
9	Resistencia-10K	R6, R8	2	0,05	0,1
10	Resistencia-1K	R5, R7	2	0,05	0,1
11	Resistencia-4.7K	R16	1	0,05	0,05
12	Resistencia- 330R	R9-R15	3	0,05	0,15
13	Capacitores - 0.1uF 50v	C1, C2	2	0,1	0,2
14	RGB LED	LED2	1	0,45	0,45
15	Bicolor LED	LED1, LED3	2	0,2	0,4
17	Fusible	F1	1	0,6	0,6
18	Botón	RST	1	0,4	0,4
19	Borneras 1x6	P4	6	0,25	1,5
20	Borneras 1x3	T	3	0,25	0,75
21	Espadines rectos hembra	Espadines	2	0,4	0,8
22	Puerto USB hembra	USB	1	0,5	0,5
23	Sensor de temperatura - DS18B20	ds18b20	1	7,5	7,5
24	128x64 I2C OLED	OLED	1		0
25	Arduino nano	NANO	1	10	10
26	Cables	Cables	4	3	12
OTROS					

27	Batería	NPG12V-33Ah	1	133	133
28	Panel solar	ECO12V-50WP	1	56	56
29	Focos	F12V-5W	3	5,6	16,8
30	Caja	PLA	1	21	21
TOTAL \$					277,05

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

#### 4.1 Relación beneficio costo

No es una mala inversión adquirir un controlador de mayor amperaje, si se pretende ampliar el sistema fotovoltaico. En las hojas de datos de los controladores de carga PWM comerciales no se facilita la eficiencia, en comparación con los controladores MPPT tienen un 20% a 15% de eficiencia menor, siendo la eficiencia estándar de estos controladores entre un 80 y 90%.

El costo en sí solo del controlador de carga es de 67,05\$. El controlador de carga elaborado por los autores ofrece un rango más alto de amperaje, en relación con el costo de los existentes en el mercado. Con un valor de 94,49% de eficiencia.

**Tabla 2-4:** Precios de controladores de carga PWM

Controlador	Amperaje (A)	Eficiencia (%)	Costo (\$)
Autores	20	94,4	67,05
SHS6	6	80	50,40
SHS10	10	80	67,20
SHSPWM6	6	85	84,00
SHSPWM10	10	85	123,20

**Fuente:** (Morningstar Corporation, sf)

**Realizado por:** (Cruz y Jaramillo, 2021)

## CONCLUSIONES

La información bibliográfica clave para el diseño e implementación de un controlador de carga es el dimensionamiento del sistema fotovoltaico a utilizar, la ubicación de instalación y la selección de componentes electrónicos.

Los datos o características eléctricas de los componentes de un sistema fotovoltaico se encuentran en sus hojas de datos del fabricante, para la medición y utilización de estos valores se debe utilizar sensores adecuados, que estén en el rango de medición y que ésta sea confiable.

Mediante los valores obtenidos por los sensores, se convierten en variables manipulables dentro del código implementado, lo cual permite realizar cálculos, en este caso específico los valores de tensión, corriente, temperatura y energía; permiten controlar los niveles de tensión utilizados en el algoritmo de carga, así como proteger de la sobrecarga y descarga profunda, activando o desactivando los dispositivos de conmutación. Por lo tanto, la tensión final recomendada para alcanzar el estado de carga completa debe ser mayor cuanto menor sea la temperatura, ya que las reacciones químicas tienen más dificultades de tener lugar y, por lo tanto, requieren más energía para que el proceso funcione.

El microcontrolador gracias a sus características de memoria, entradas y salidas digitales y analógicas permite obtener los valores de las variables antes mencionadas, para lograr el objetivo de diseñar un controlador de carga, regulando la carga de la batería. Las mediciones de voltaje y corriente, durante la validación de prototipo, permitieron hallar que el valor de eficiencia promedio es de 94,49%, a través de 374610 datos obtenidos del panel y batería en el proceso de carga, durante 10 días. Dependiendo con la radiación solar presente en la ubicación de instalación, se notó que en las horas que existía una radiación mayor a  $300 \text{ W/m}^2$ , el panel produce potencia suficiente para la carga de la batería. La implementación del controlador de carga PWM, en la descarga de la batería, registró una corriente de consumo promedio de 0,1349 A. Con la carga de iluminación de 15 W, el voltaje de la batería disminuye con el pasar del tiempo, con estos valores se corroboró la autonomía del sistema fotovoltaico de 72 horas. Con la Tabla 2-3 se pudo comprobar que el objetivo de diseñar un controlador de carga para optimizar un sistema de

generación fotovoltaico aislado de la red, se cumple, en referencia al valor de eficiencia obtenido, ya que los valores de eficiencia de los controladores comerciales son inferiores al diseñado.

La corriente inversa de la batería al panel solar está protegida por un diodo rectificador Schottky MBR2045CT. La sobretensión de entrada y polaridad inversa desde el panel solar se protege mediante el uso de un diodo TVS P6KE36CA. Para proteger de los picos de corriente de la batería se utiliza un fusible. el cual se ha calculado mediante la corriente suministrada por la batería, y multiplicado por un factor de seguridad de 1,25.

El tiempo de vida estimado de los componentes del sistema fotovoltaico, por parte del panel indica que 25 años es su tiempo de vida, por parte de la batería gelificada son 9 a 12 años, el regulador de carga permite que este tiempo de vida de la batería, no sea menor, los dispositivos de conmutación utilizados, según sus fabricantes en general especifican un voltaje VGS inferior al máximo que soporta el dispositivo. Por un lado, esto se debe a que el tiempo de vida del MOSFET decrece sustancialmente cuando VGS se incrementa. Por otra parte, aplicando una tensión VGS mayor a la especificada, no se obtendrá más corriente, por lo cual la importancia del circuito denominado driver de MOSFET para asegurar el nivel de tensión típico VGS para su correcto funcionamiento.

## RECOMENDACIONES

En los sistemas fotovoltaicos aislados de la red se utilizan baterías de plomo ácido sellado VRLA, AGM y GEL, en este caso específico se utilizó la batería gelificada (GEL) de descarga profunda, que también soporta temperaturas bajas, la conexión inicial del controlador de carga es conectar primero la batería, en segundo lugar, el panel, para su desconexión es en orden inverso.

El controlador de carga se diseñó para un sistema fotovoltaico aislado de la red con voltaje de 12 voltios y una batería de capacidad de 33 Ah. Si se desea utilizar el controlador o modificar para que trabaje con voltajes mayores a 12 voltios, principalmente se debe calcular los componentes del divisor de tensión, para garantizar la lectura correcta de estos valores, así como los niveles de tensión para cada etapa de carga, especificados en el código.

Para monitorear las variables en un servidor sea este Ubidots o ThingsSpeak es necesario tener una suscripción de pago, ya que la membresía gratuita tiene algunas limitantes, como el número de datos para subir, por lo cual, al tener una suscripción de pago, se puede mirar las variables en tiempo real 24 horas, 7 días a la semana, además de la protección de datos y exportación de estos, para su posterior análisis

## GLOSARIO

**Ánodo:** Electrodo de un componente (diodo, tubo de vacío, tubo catódico, condensador electrolítico...) que capta electrones, al ser positivo con respecto a otros electrodos. (Francia, 2012)

**Bit:** Del Inglés binary digit. Unidad elemental de información representada por un símbolo con dos valores, generalmente denotados por 0 y 1, asociados a los dos estados posibles de un dispositivo. (Reisinger)

**Cátodo:** Aquél de los electrodos de un componente que emite o inyecta electrones, siendo normalmente negativo con respecto a los otros electrodos. (Limitada, y otros, 2011)

**Diodo Emisor de Luz:** Diodo que irradia luz de colores como el rojo, verde, amarillo, etc. o bien luz invisible como la infrarroja. (Peng, y otros, 2002)

**Diodo Schottky:** Diodo de uso especial sin zona de depleción, tiempo de recuperación inverso extremadamente corto y capacidad para rectificar señales de alta frecuencia. (Zeljami, y otros, 2010)

**Efecto Hall:** Producción en un conductor o un semiconductor de un campo eléctrico proporcional al producto vectorial de la densidad de corriente por la inducción magnética. (Vacas, 1964)

**MOSFET:** El transistor MOSFET (del inglés Metal-oxide-semiconductor FET) cuenta con un canal de semiconductor tipo n, una región tipo p y una puerta aislada. Los electrones libres pueden fluir desde el surtidor al drenador a través del material tipo n. La región p recibe el nombre de sustrato y reduce físicamente la trayectoria de conducción a un canal muy estrecho. Los electrones fluyen en la forma indicada y deben pasar este angosto canal cuya anchura efectiva se controla mediante el potencial aplicado a la puerta. Como la puerta está aislada del canal, la corriente de entrada a la puerta es despreciable. (Simulación de Mosfet de potencia en carburo de silicio., 2014)

**PCB:** Circuito constituido por una placa aislante, en una o en sus dos caras, de conductores planos metalizados cuyo objeto es asegurar las conexiones eléctricas entre el conjunto de los componentes electrónicos dispuestos en su superficie.

**Potencial eléctrico:** es el trabajo que debe realizar una fuerza externa para atraer una carga positiva unitaria que, desde el punto de referencia hasta el punto considerado, va en contra de la fuerza eléctrica y a velocidad constante. Magnetismo: la corriente eléctrica produce campos magnéticos, y los campos magnéticos variables en el tiempo generan corriente eléctrica. (Pagoaga, y otros, 2008)

**Rendimiento:** Potencia útil en la carga dividida entre la potencia suministrada al circuito por la batería y multiplicada por 100. (Marquez, 1995)

**Transistor de potencia:** Transistor que puede disipar más de 0.5 W. Los transistores de potencia son físicamente mayores que los transistores de pequeña señal. (Estudio de eficiencia en los MOSFET e IGBT para su utilización en convertidores de potencia conmutados, 2004)

## BIBLIOGRAFIA

**ACOSTA, Li; & ZARATE, Andres.** Diseño de un sistema de adquisición de datos para medir la temperatura y voltaje en celdas solares (Trabajo de titulación) (Maestría). Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, México 2004. pp. 15-18

**ALJURE, Mauricio; & PEÑUELA, Carlos.** “Resistencia y pérdidas de potencia en líneas de transmisión”. [En línea], 2008, (Colombia) 35(2), pp. 35-40. [Consulta: 2 febrero 2021] Disponible en: <https://revistas.upb.edu.co/index.php/investigacionesaplicadas/article/view/152>.

**AREQUIPA, Alquina; & CATALINA, Fanny.** Desarrollo e implementación de un dispositivo wearable” para el análisis de temperatura, humedad, incidencia de rayos ultravioletas(uv) y presión atmosférica para personas que realizan montañismo (Trabajo de titulación) (Maestría). Unidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador 2017. pp. 42-45

**ARCONEL 057/18.** *Reforma a la Regulación Nro. ARCONEL-003/18, denominada «Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica»*

**ARCONEL 003/18.** *Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica.*

**ASIN, Francisco.** *Diodes LED.* [blog]. [Consulta: 10 abril 2020]. Disponible en: <https://fjasin.wixsite.com/electronica-asin/semiconductores-cdwb>.

**BARTLETT, Jonathan.** *Electrónica para principiantes.* Tulsa-USA : O’Reilly, 2020. [Consulta: 20 de 10 de 2020]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5979-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5979-5_1)

**BENE** *Balance Energético Nacional del Ecuador.*

**BETHEL, Afewor.** *Energy Education.* [blog] [Consulta: 25 de 10 de 2020]. Disponible en: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic\\_cell](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_cell).

**BOLAÑOS, Armando.** “Transistor NPN 2SC5411 Salida Horizontal”. *Electrónica Líder.* [En línea], 2015, (Toronto) 43(4), pp. 31-36. [Consulta: 7 noviembre 2020.] Disponible en: <http://electronicalider.com/es/product/transistor-npn-2sc5411-salida-horizontal>.

**BOTINA, Oscar; & JURADO, Oscar.** Desarrollo de un controlador electrónico con MPPT para sistemas fotovoltaicos [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de Nariño,

Colombia. 2015. pp. 67-70. [Consulta: 2020-11-09]. Disponible en: <http://sired.udenar.edu.co/2822>

**CAICEDO, Peñafiel; & Adrián, Joseph.** Estudio de un sistema de Acoplamiento híbrido inteligente para energía solar fotovoltaica y la red eléctrica de una vivienda [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Ecuador. 2018. pp. 87-90. [Consulta: 2020-12-19]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10178>

**CAJAS, Raúl; et al.** Diseño e implementación de una tarjeta de adquisición de datos de alta velocidad y su aplicación en el diseño de laboratorios académicos basados en software y hardware libre [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. 2012. pp. 2-4. [Consulta: 23 diciembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1107>

**CANO, Javier; et al.** Accurate Simulation of MPPT Methods Performance When Applied to Commercial Photovoltaic Panels [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica de Madrid, España. 2015. [Consulta: 2020-12-09]. Disponible en: <http://oa.upm.es/34709>.

**CERVERA, Luis; & TEJERO, José.** Electronic lock controlled by a microcontroller STM32F4xx [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica de Valencia, España. 2017. [Consulta: 2020-12-01]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/87881>.

**CHRISTENSSON, P.** *Definición de LED*. [blog]. [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: <https://techterms.com>.

**CONCEPCIÓN, Ricardo.** *Tarjetas de desarrollo*. [blog]. [Consulta: 30 enero 2020]. Disponible en: <https://www.rjconcepcion.com/podcast/tarjetas-de-desarrollo-en-detalle-episodio-10/>.

**CONELEC 017/12.** *Reforma a la Regulación de Energías Renovables*.

**CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN ENERGÉTICA (CIE).** *Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica*. Quito-Ecuador, 2008, pp. 4-6

**DEGEYTER, Stoney.** *Battery Stuff*. [blog]. [Consulta: 08 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.batterystuff.com/>.

**DS New Energy.** *DS New Energy*. [blog] [Consulta: 10 agosto 2020]. Disponible en: <http://m.dsisolar.com/info/mppt-solar-charge-controller-30576131.html>.

**DURÁN, Richard; & et al.** “Implementación de un experimento cualitativo para la enseñanza del efecto fotoeléctrico a estudiantes de educación, mención física y matemática” *Latin-American Journal of Physics Education*, vol. 11, nº 1 (2017), (Estados Unidos) pp. 6-8.

**EBERT, S.** *Base Regional de Recursos Energéticos Regionales y Nacionales*. [blog]. [Consulta: 1 de 11 de 2020]. Disponible en: <https://energypedia.info/>.

**ECHEVERRÍA, Carlos.** *Energía para el futuro*. [blog]. [Consulta: 2 noviembre 2020]. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/>.

*El pro cus.* [blog]. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.elprocus.com/solar-charge-controller-using-mppt-technology/>.

*Energypedia.* [blog]. [Consulta: 1 enero 2021]. Disponible en: [www.polarpowerinc.com/info/operation20/operation25.htm](http://www.polarpowerinc.com/info/operation20/operation25.htm).

**ESTÉVEZ, Ismael; et al.** Diseño e implementación del controlador de carga y descarga de una batería dentro de un sistema autónomo de iluminación pública a partir de fuentes de energía renovable [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría) Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. 2017. pp. 76-81. [Consulta: 2021-09-11]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17371>.

**FRANCIA, Samuel.** “Protección catódica diseño de ánodos de sacrificio” Revista del Instituto de Investigación FIGMMG Universidad Nacional Mayor de San Marcos [En línea], 2012, (Perú), 7(13), p. 37-44. [Consulta: 11 febrero 2021]. ISSN 1628-8097. Disponible en: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol7\\_n13/pdf/a06.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol7_n13/pdf/a06.pdf).

**GARCÉS, María; & PRECIADO, Ana.** Diseño y cálculo de estructura soporte para paneles solares. [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría) Escuela Politécnica de Valencia, España. 2017. pp. 86-92. [Consulta: 2020-11-26]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/89571>.

**GARCÍA, José.** Sistemas de Unidades Físicas. [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría) Universidad de Murcia, España. 1959. pp. 21-24. [Consulta: 2021-02-11]. Disponible en: [https://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/4713/1/sistemas de unidades físicas.pdf](https://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/4713/1/sistemas%20de%20unidades%20f%C3%ADsicas.pdf).

**GARCÍA, Sofía; & MARTÍNEZ, María.** Análisis y caracterización de un pmosfet como sensor dosimétrico. [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría) Universidad de la Rioja, España. 2014. pp. 71-74. [Consulta: 2021-02-11]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/serlet/tesis?codigo=57437>.

**GERZHEL, Julio; & et al.** Controlador en modo deslizante del punto máximo de potencia en la carga de batería de un sistema fotovoltaico (sfv). [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de Guajira, Colombia. 2014. pp. 67-72. [Consulta: 9 de 11 de 2020.] Disponible en: <http://revistas.uniguajira.edu.co/rev/index.php/cei/article/view/2>.

**GONZÁLEZ, José; & CARDENAS, Andres.** Análisis e implemente implementación de un sistema electrónico para alcanzar el punto máximo de potencia en los paneles solares de la Universidad Politécnica Salesiana (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. 2016. pp. 21-24.

**GUACHAMIN, Fernando; & VARGAS, Juan.** Diseño y simulación de la optimización en la generación de energía en una central fotovoltaica mediante convertidores DC/DC y la técnica de control MPPT. [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. 2018. pp. 51-53. [Consulta: 2020-11-09]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19591/1/cd-8988.pdf>.

**GUZMÁN, Josymar; & MERCADO, I.** Event driven LIN protocol state machine using s12x microcontroller. [En línea] (Trabajo de titulación) (Especialista en sistemas embebidos). Universidad Jesuitade Guadalajara, México. 2016. pp. 31-34. [Consulta: 2020-12-01]. Disponible en: <https://rei.iteso.mx/handle/11117/4137>.

**HERMAN, Fernández; & et al.** Obtención de la máxima potencia en paneles fotovoltaicos mediante control directo: corriente a modulación por ancho de pulsos. [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de Zaragoza, España. 2006. pp. 134-138. [Consulta: 2021-03-28]. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S131648212006000300009&lng=es&nrm=iso](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S131648212006000300009&lng=es&nrm=iso)

**INSA, Jorge.** *MonSolar*. [blog] [Consulta: 1 enero 2021]. Disponible en: <https://www.monsolar.com/blog/comparativa-de-baterias-solares/>.

**JAMES, P.** *Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems. Fundamentals and Application*. [blog]. [Consulta: 21 enero 2021]. Disponible en: <https://www.sunscsaver.com/>.

**KEIM, Robbert.** *Todo sobre circuitos*. [blog]. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.allaboutcircuits.com/>.

**LANE, Catherine.** *SolarReviews*. [blog]. [Consulta: 20 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.solarreviews.com/>.

**MARQUEZ, José; & COBOS, Antonio.** Estudio y desarrollo de convertidores CC/CC conmutados de alta densidad de potencia y baja tensión de salida. [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría) Universidad de la Rioja, España. 1995. pp. 54-58. [Consulta: 2021-02-11]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=236510>.

**MICROCHIP, Technology.** *8-Bit MCUs*. [blog]. [Consulta 11 febrero 2021]. <https://www.microchip.com/design-centers/8-bit/avr-mcus>.

- MUÑOZ, Victor.** *Suelo Solar*. [blog] [Consulta: 30 noviembre 2020]. <https://suelosolar.com/>.
- NATIONAL, Instruments.** *National Instruments*. [blog] [Consulta: 15 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>.
- NEC 2011-14.** Norma Ecuatoriana de Construcción, Capítulo 14: Energías Renovables
- PAGOAGA, Luís; & HUESO, José.** Campo y potencial eléctrico creado por un dipolo. [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica de Valencia, España. 2008. [Consulta: 2021-02-11]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/713>.
- PAIPA, Eduardo; & et al.** “Controlador de carga PWM eficiente y de bajo costo para sistemas fotovoltaicos autónomos”. *Respuestas, Journal of Engineering Sciences* [En línea], 2018, (España) 23(1), pp. 6-13. [Consulta: 9 noviembre 2020]. Disponible en: <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/1491>.
- PENG, Koay; & et al.** *Tendencias en LEDs (diodos emisores de luz) visibles*. [blog]. [Consulta: 11 de 2 de 2021.] Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=857202>.
- PICKEREL, Kelly.** *Solar Power World*. [blog]. [Consulta: 09 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.solarpowerworldonline.com/>.
- PLANAS, Oriol.** *Industrial Technical Engineer, specialty in mechanics*. [blog]. [Consulta: 30 mayo 05 de 2020]. Disponible en: <https://www.solartechindustry.com/>.
- PLATAFORMIO, Labs.** *PlataformIO*. [blog]. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://plataformio.org>.
- PLANEE 2016-2035.** *Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador*
- PME2016-2025.** *Plan Maestro de Electricidad del Ecuador*
- PRATAP, Chandra; & et al.** Controlador PID borroso optimizado por algoritmo Firefly para AGC de sistemas de energía multi-área y multi-fuente con UPFC y SMES (Trabajo de Titulación) (Maestría) Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. 2016. pp. 122-125.
- PURTSCHERT, Norberto.** Módulo para calibración y análisis de características estáticas y dinámicas de sensores de temperatura (Trabajo de Titulación) (Maestría) Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. 2014. pp. 101-104.
- RANGEL, Mario; & ENRIQUEZ, Vanny.** Diseño implementación e instalación de lámparas LED alimentadas con sistemas fotovoltaicos con monitoreo remoto vía GPRS en la Unidad Educativa Particular Francisco Salitre. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Maestría) Universidad

Politécnica Salesiana, Ecuador. 2017. pp. 42-45. [Consulta: 2021-02-11]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14154>

**RODRÍGUEZ, P; & et al.** “Obtención de máxima transferencia de potencia a una carga eléctrica por métodos de optimización”. Udistrital [En línea], 2012, (Colombia) 12(1), pp. 19-25. [Consulta: 11 febrero 2021]. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/article/view/3880/6022>.

**SARMIENTO, Fredy; & MARTÍNEZ, Hernán.** “Estudio de eficiencia en los MOSFET e IGBT para su utilización en convertidores de potencia conmutados” *Tecnura* [En línea], 2004, (Colombia), 15(8), p. 84-96. [Consulta: 9 febrero 2021]. ISSN 2004-0701. Disponible en: <https://doi.org/10.14483/22487638.6162>

**SOLICLIMA.** *News Soliclima*. [blog]. [Consulta: 12 diciembre 2020]. Disponible en: <https://soliclimate.com/>

**SUNFIELDS, Europe.** *Sunfields Europe*. [blog]. [Consulta: 2 enero 2021]. Disponible en: <https://www.sfe-solar.com/baterias-solares/>.

**SUNMASTER.** *SunMaster Solar Light Manufacturer*. [blog]. [Consulta: 06 enero 2021]. Disponible en: <https://www.solarlightsmanufacturer.com/solar-charge-controller/>.

**TEJADA, J; & et al.** *Problemas de electrónica básica (130 problemas con soluciones)*. [En línea]. España: Edinet, 2008. [Consulta: 11 febrero 2021.] Disponible en: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/17733>.

*Textos científicos*. [blog]. [Consulta: 24 diciembre 2020]. Disponible en: [www.textos-cientificos.com](http://www.textos-cientificos.com).

**TSIARESHCHANKA, Darya.** Unidad de monitorización para el sistema de alimentación fotovoltaico de una vivienda unifamiliar aislada de la red. (Trabajo de Titulación) (Maestría) Universidad Politécnica de Catalunya, España. 2019. pp. 16-21.

**UGENA, Alejandro.** Diseño de un circuito cargador de baterías para panel solar con seguimiento del punto óptimo de carga (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Carlos III de Madrid, España. 2014. pp. 118.

**VACA, Diego; & ORDOÑEZ, Freddy.** *Mapa Solar del Ecuador*. Ecuador, 2019, pp. 16-18

**VACAS, Fernando.** *Dispositivos basados en el efecto Hall. Parte II*. [blog]. [Consulta: 11 febrero 2021.] Disponible en: <http://oa.upm.es/22337>.

**VALENCIA, Diego; & et al.** Cálculo del campo eléctrico bajo líneas de transmisión [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. 2008. pp. 43. [Consulta: 2021-02-11]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/1084>.

**VALENCIA, Manuel; & et al.** Diseño conceptual y básico de un prototipo de celda solar híbrida, fabricada vía recubrimiento por inmersión [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría) Universidad de la Rioja, España. 2013. pp. 54-58. [Consulta: 2020-02-11]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6684879.pdf>.

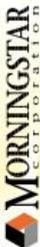
**VEGA, Antonio.** Operation of the Three Terminal Heterojunction Bipolar Transistor Solar Cell. [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría) Universidad Politécnica de Madrid, España. 2017. pp. 24-28. [Consulta: 2021-01-12]. Disponible en: <http://oa.upm.es/48176>.

**VIVEK, Kaundal; & et al.** “Trazado del efecto de sombreado en la célula fotovoltaica de bajo rendimiento de una red fotovoltaica”. Engineering Science and Technology, an International Journal [En línea], 2015, (India) 18(2), pp. 474-478. [Consulta: 11 febrero 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2015.03.008>

**ZELJAMI, Kaoutar; & et al.** Modelado de diodos Schottky para aplicaciones a frecuencias de terahercios [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría) Universidad de las Canarias, España. 2010. pp. 4-6. [Consulta: 2021-01-12]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/3116>.

# ANEXOS

## Anexo A: Hoja de datos SHS



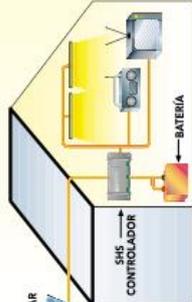
### SHS™

**PARA SISTEMAS HOGAREÑOS DE ENERGÍA SOLAR DE HASTA 170 VATTOS**

La reconocida alta calidad y confiabilidad de los equipos Morningstar ahora están disponibles en un controlador solar de bajo costo. El **Controlador SHS** es ideal para sistemas de electrificación rural con uno a tres paneles solares. Este controlador cumple con las especificaciones del Banco Mundial y proporciona muchas prestaciones y beneficios.



6 A o 10 A

**SHS™ CONTROLADOR SOLAR**



### INFORMACIÓN TÉCNICA

**CAPACIDADES NOMINALES: (TODOS A 12 VOLTIOS)**

SHS-6      100 W ó 6 A PARA EL SISTEMA DE CARGA SOLAR Y LA CARGA

SHS-10    170 W ó 10 A PARA EL SISTEMA DE CARGA SOLAR Y LA CARGA

- Punto de regulación
- Desconexión por bajo voltaje
- Recarga por bajo voltaje
- Tipo de carga
- Protecciones electrónicas
- Tropicalización

14.3 V

11.5 V

12.6 V

PWM. Sección (modulación de ancho de pulso) 4 etapas: En carga, PWM, por incremento o "Boost" y flotante.

Carga compensada en temperatura

Corriente y exceso de corriente — sistema de carga solar y carga

Polaridad inversa — en sistema de carga solar en la carga y en la batería

Corriente inversa por la noche

Paros — en sistema solar, en la carga y en la batería

Placa de circuito — recubrimiento

Terminales — protegidos contra corrosión

- Indicaciones de los LED
- Terminales
- Dimensiones
- Peso
- Consumo propio
- Temperatura
- Humedad
- Encapsulado
- Cumple con normas de

Verde: en carga

Niveles de batería: verde, amarillo y rojo

Rojo: advertencia de bajo nivel de batería

Las 3 LED despalillado — indicación de errores

Para tamaños de cable de hasta 4 mm<sup>2</sup>

15.1 x 6.6 x 3.6 cm

113 g

8 mA máximo

-25°C a +50°C

100% sin condensación

IP 22

CE, Banco Mundial

**GARANTÍA : Período de dos años de garantía. Póngase en contacto con Morningstar o su distribuidor autorizado para conocer los términos completos.**

**DISTRIBUIDOR MORNINGSTAR AUTORIZADO:**



1008 Washington Center Road  
Washington Crossing, PA 19377, EUA  
Tel: +1 215-321-4457 Fax: +1 215-321-4458  
E-mail: info@morningstarcorp.com  
Website: www.morningstarcorp.com

MORNINGSTAR ES UN PRODUCTO MARCA DE 210418-002



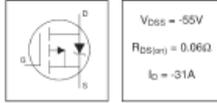
# Anexo B: Hoja de datos P-MOSFET 5305



PD-913858

## IRF5305

HEXFET™ Power MOSFET



$V_{DS} = -55V$

$R_{DS(on)} = 0.06\Omega$

$I_D = -31A$



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

### Description

HEXFET™ 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, $V_{GS} = 0V$ , $V_{DS} = -16V$	-31
$I_D$ @ $T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} = 0V$ , $V_{DS} = -16V$	-25
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current	-140
$P_{tot}$ @ $T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	140
$\theta_{JA}$	Junction-to-Air Thermal Resistance	0.71
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy	200
$E_{AV}$	Average Avalanche Energy	10
$E_{RS}$	Repetitive Avalanche Energy	11
$t_{RRM}$	Peak Diode Recovery dv/dt	0.5
$T_j$	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +175
$T_{SOJ}$	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)
	Mounting Temp. 6 to 30 sec	260 (0.8mm x 1.6mm)

### Thermal Resistance

Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{JC}$	Junction-to-Case	1.4	$^\circ C/W$
$R_{JA}$	Case-to-Air, Flat, Gullwing Surface	0.58	$^\circ C/W$
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	62	$^\circ C/W$

51000

## IRF5305



### Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ C$ (unless otherwise specified)

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{DS(BO)}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	-55	—	V	$V_{GS} = 0V$ , $I_D = 250\mu A$
$V_{DS(BR)}$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	-0.84	—	$^\circ C^{-1}$	Reference to $25^\circ C$ , $I_D = -100\mu A$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	0.06	0.1	$\Omega$	$V_{GS} = -10V$ , $I_D = -10A$
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	-4.0	—	V	$V_{DS} = V_{GS}$ , $I_D = -250\mu A$
$\beta_{FS}$	Forward Transconductance	3.8	—	S	$V_{DS} = -20V$ , $I_D = -10A$
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	-25	—	$\mu A$	$V_{GS} = -20V$ , $V_{DS} = 0V$
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Forward Leakage	180	—	$\mu A$	$V_{GS} = 20V$
$I_{DSS}$	Gate-to-Source Reverse Leakage	100	—	nA	$V_{GS} = -20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	63	—	nC	$I_D = -10A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	13	—	nC	$V_{GS} = -40V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	26	—	nC	$V_{GS} = -10V$ . See Fig. 6 and 13. @
$t_{turn-on}$	Turn-On Delay Time	14	—	ns	$V_{GS} = -20V$
$t_{turn-off}$	Turn-Off Delay Time	66	—	ns	$I_D = -10A$
$t_{fall}$	Fall Time	39	—	ns	$R_{\theta JA} = 62$
$t_r$	Rise Time	63	—	ns	$R_{\theta JA} = 1.43$ . See Fig. 10. @
$L_D$	Internal Drain Inductance	4.5	—	nH	Between leads, even package and center of die contact
$L_G$	Internal Gate Inductance	2.4	—	nH	
$C_{iss}$	Input Capacitance	1200	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	520	—	pF	$V_{GS} = -20V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	250	—	pF	$f = 1.0MHz$ . See Fig. 5

### Source-Drain Ratings and Characteristics

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_{CS}$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	-31	A	MOSFET symbol shows the internal reverse p-n junction diode.
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode)	—	-118	A	
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ C$ , $I_D = -10A$ , $V_{GS} = 0V$ @
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	21	ns	$T_J = 25^\circ C$ , $I_D = -10A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	138	nC	diode = 185Ays @

- Notes:  
 @ Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Fig. 11).  
 @  $I_{CS} = -10A$ ,  $dI/dt = 200A/\mu s$ ,  $V_{GS} = 0V$ ,  $T_J = 175^\circ C$ .  
 @  $V_{GS} = -20V$ ,  $dI/dt = 25^\circ C$ ,  $L = 2.1nH$ .  
 @  $R_{\theta JA} = 250$ ,  $I_D = -10A$  (See Figure 12).  
 @ Pulse width  $\leq 700\mu s$ , duty cycle  $\leq 2\%$ .

2

www.irf.com



## IRF5305

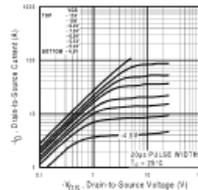


Fig 1. Typical Output Characteristics

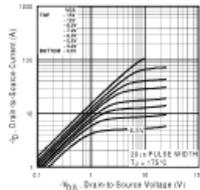


Fig 2. Typical Output Characteristics

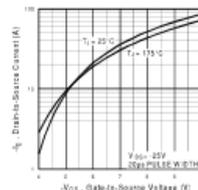


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

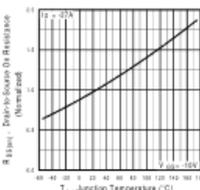


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

www.irf.com

3

## IRF5305

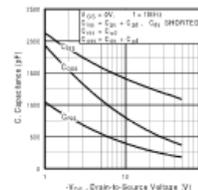


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

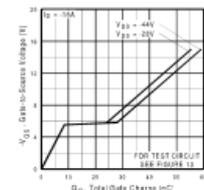


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

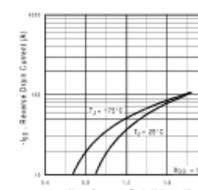


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

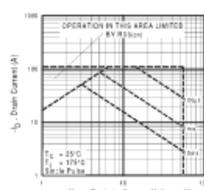


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

4

www.irf.com

# Anexo C: Hoja de datos Transistor 2N3904

**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR

October 2011

**2N3904 / MMBT3904 / PZT3904**  
**NPN General Purpose Amplifier**

**Features**

- This device is designed as a general purpose amplifier and switch.
- The useful dynamic range extends to 103 mA as a switch and to 100 MHz as an amplifier.

**Absolute Maximum Ratings\***  $T_J = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CE0}$	Collector-Emitter Voltage	40	V
$V_{CB0}$	Collector-Base Voltage	40	V
$V_{EB0}$	Emitter-Base Voltage	6.0	V
$I_C$	Collector Current - Continuous	200	mA
$T_J, T_{stg}$	Operating and Storage Junction Temperature Range	$-55$ to $+150$	$^\circ\text{C}$

\* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

**NOTES:**

- These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

**Thermal Characteristics**  $T_J = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Max.	Units		
$\theta_{JA}$	Total Device Dissipation Dwatts above 25 $^\circ\text{C}$	625	360	1,300	mW
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	5.0	2.8	8.0	$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	387	125	$^\circ\text{C}/\text{W}$

\* Device mounted on FR-4 PCB 1.27" X 1.27" X 0.062"

\*\* Device mounted on FR-4 PCB 36 mm X 18 mm X 1.5 mm, mounting pad for the collector lead min. 4 mil.

©2011 Fairchild Semiconductor Corporation  
2N3904 / MMBT3904 / PZT3904 Rev. 90

2N3904 / MMBT3904 / PZT3904 — NPN General Purpose Amplifier

**Electrical Characteristics**  $T_J = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1.0\text{mA}, I_B = 0$	40		V
$V_{CB(sat)}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10\mu\text{A}, I_B = 0$	60		V
$V_{EB(sat)}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10\mu\text{A}, I_B = 0$	6.0		V
$I_{B(sat)}$	Base Cutoff Current	$V_{CE} = 30\text{V}, V_{EB} = 3\text{V}$		50	mA
$I_{C(sat)}$	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = 30\text{V}, V_{EB} = 3\text{V}$		50	mA
<b>ON CHARACTERISTICS*</b>					
$\beta_{DC}$	DC Current Gain	$I_C = 5.0\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$ $I_C = 1.0\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$ $I_C = 10\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$ $I_C = 50\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$ $I_C = 100\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$	40	75	100
$\beta_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{mA}, I_B = 1.0\text{mA}$ $I_C = 50\text{mA}, I_B = 5.0\text{mA}$	0.2	0.3	V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{mA}, I_B = 1.0\text{mA}$ $I_C = 50\text{mA}, I_B = 5.0\text{mA}$	0.65	0.85	V
<b>SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS</b>					
$f_T$	Current Gain - Bandwidth Product	$V_{CE} = 10\text{V}, V_{BE} = 20\text{V}$ $I_C = 1.0\text{mA}$	300		MHz
$C_{ob}$	Output Capacitance	$V_{CE} = 5.0\text{V}, I_C = 0$ $f = 1.0\text{MHz}$		4.0	pF
$C_{ib}$	Input Capacitance	$V_{CE} = 0.5\text{V}, I_C = 0$ $f = 1.0\text{MHz}$		8.0	pF
NF	Noise Figure	$I_C = 100\mu\text{A}, V_{CE} = 5.0\text{V}$ $R_N = 1.0\text{k}\Omega$ $f = 100\text{Hz to }10.7\text{MHz}$		5.0	dB
<b>SWITCHING CHARACTERISTICS</b>					
$t_d$	Delay Time	$V_{CE} = 5.0\text{V}, V_{BE} = 0.5\text{V}$		35	ns
$t_r$	Rise Time	$V_{CE} = 10\text{V}, I_B = 1.0\text{mA}$		35	ns
$t_s$	Storage Time	$V_{CE} = 3.0\text{V}, I_C = 10\text{mA}$		250	ns
$t_f$	Fall Time	$I_B = I_C = 1.0\text{mA}$		20	ns

\* Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$

**Ordering Information**

Part Number	Marking	Package	Packing Method	Pack Qty
2N3904SU	2N3904	TO-18	BULK	10000
2N3904TA	2N3904	TO-18	AMMO	2500
2N3904TAR	2N3904	TO-18	AMMO	2500
2N3904TF	2N3904	TO-18	TAPE REEL	2500
2N3904TFR	2N3904	TO-18	TAPE REEL	2500
MMBT3904	1A	SOT-23	TAPE REEL	3000
MMBT3904_DWZ	1A	SOT-23	TAPE REEL	10000
PZT3904	3904	SOT-223	TAPE REEL	2500

©2011 Fairchild Semiconductor Corporation  
2N3904 / MMBT3904 / PZT3904 Rev. 90

2N3904 / MMBT3904 / PZT3904 — NPN General Purpose Amplifier

**Typical Performance Characteristics**

©2011 Fairchild Semiconductor Corporation  
2N3904 / MMBT3904 / PZT3904 Rev. 90

2N3904 / MMBT3904 / PZT3904 — NPN General Purpose Amplifier

**Typical Performance Characteristics (continued)**

©2011 Fairchild Semiconductor Corporation  
2N3904 / MMBT3904 / PZT3904 Rev. 90

2N3904 / MMBT3904 / PZT3904 — NPN General Purpose Amplifier

# Anexo D: Hoja de datos Diodo TVS P6K6A

## P6KE6.8A Series

### 600 Watt Peak Power Littelfuse® Voltage Suppressors Unidirectional<sup>1</sup>

The P6KE6.8A series is designed to protect voltage sensitive components from high voltage, high energy transients. They have excellent clamping capability, high surge capability and fast response time. These devices are the Littelfuse exclusive, cost-effective, highly reliable axial leaded package and is widely used for use in communication systems, numerical controls, process controls, medical equipment, business machines, power supplies and many other industrial/consumer applications.

- Features:**
- Working Peak Reverse Voltage Range - 5.8 to 171 V
  - Peak Power - 600 W @ 1 ms
  - ESD Rating of Class 3 (±16 kV) per Human Body Model
  - Maximum Clamp Voltage at Peak Pulse Current
  - Low Leakage < 5 µA above 10 V
  - Maximum Temperature Coefficient Specified
  - UL 497B for Induced Loop Clamp Protection
  - Response Time is Typically < 1 ns
  - Pb-Free Packages are Available

**Mechanical Characteristics:**  
**CASE:** Mold-free, Transfer molded, Thermosetting plastic  
**FINISH:** All external surfaces are corrosion resistant and are readily solderable.

**MAXIMUM LEAD TEMPERATURE FOR SOLDERING:**  
 300 °C, 1/10" from the case for 10 seconds

**POLARITY:** Cathode indicated by polarity band

**MOUNTING POSITION:** Any

#### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Peak Power Dissipation (Pulse) (at T <sub>a</sub> = 25°C)	P <sub>PM</sub>	600	W
Steady State Power Dissipation (at T <sub>a</sub> = 25°C, Lead Length = 38 mm, Mounted above T <sub>a</sub> = 25°C)	P <sub>SM</sub>	5.0	W
Thermal Resistance Junction-to-Lead	R <sub>θ(j-l)</sub>	25	°C/W
Forward Surge Current (Pulse 2) (at T <sub>a</sub> = 25°C)	I <sub>FSM</sub>	500	A
Clamping and Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	-55 to +150	°C

Notes:  
 1. Non-repetitive (see equivalent square wave), PPM = 8.3 ms, duty cycle = 4 pulses per minute maximum.  
 2. 50 sine waves (or equivalent square wave), PPM = 8.3 ms, duty cycle = 4 pulses per minute maximum.

**OBSELETE/EOL**  
 DATE June/30/2018 PCN/ECN# LFPCN1246  
 REPLACED BY **P6KE6.8A Series**



Expertise Across Industries | Answers Delivered

Littelfuse.com



#### MARKING DIAGRAM



- A = Assembly Location  
 P6KE6.8A = Device Number  
 YY = Year  
 WW = Week  
 \* = Pb-Free Package  
 (Note: Marking may be on either location)

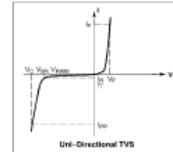
#### ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
P6KE6.8A	AXIAL LEAD	5000 Units / Box
P6KE6.8AG	AXIAL LEAD	5000 Units / Box
P6KE6.8AL	AXIAL LEAD	4800/Tape & Reel
P6KE6.8ARL	AXIAL LEAD	4800/Tape & Reel

## P6KE6.8A Series

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>a</sub> = 25°C unless otherwise noted, V<sub>R</sub> = 3.5 V Min, @ I<sub>R</sub> (P6KE6) = 50 µA)

Symbol	Parameter
I <sub>RM</sub>	Maximum Reverse Peak Pulse Current
V <sub>C</sub>	Clamping Voltage @ I <sub>CP</sub>
V <sub>WM</sub>	Working Peak Reverse Voltage
I <sub>SM</sub>	Maximum Surge Current @ V <sub>WM</sub>
V <sub>0</sub>	Breakdown Voltage @ I <sub>R</sub>
T <sub>10</sub>	Test Current
α <sub>max</sub>	Maximum Temperature Coefficient of V <sub>0</sub>
I <sub>F</sub>	Forward Current
V <sub>F</sub>	Forward Voltage @ I <sub>F</sub>



### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>a</sub> = 25°C unless otherwise noted, V<sub>R</sub> = 3.5 V Min, @ I<sub>R</sub> (P6KE6) = 50 µA)

Device*	Device Marking	V <sub>0</sub> (Min to Max)					Breakdown Voltage					I <sub>CP</sub> by Pulse 2
		V <sub>0</sub>	Min	Max	Min	Max	V <sub>0</sub>	Min	Max	Min	Max	
P6KE6.8A_G	P6KE6.8A	5.8	1000	6.80	7.14	10	10.3	17	0.207			
P6KE6.8AL_G	P6KE6.8A	6.4	500	7.15	7.51	7.80	10	11.2	0.201			
P6KE6.8AG	P6KE6.8A	8.55	10	9.5	10	10.5	1	14.5	41	0.273		
P6KE6.8AL_G	P6KE6.8A	10.2	5	11.4	12	12.6	1	16.7	36	0.276		
P6KE6.8ARL_G	P6KE6.8A	11.1	5	12.4	13.35	13.7	1	18.2	33	0.281		
P6KE6.8AG	P6KE6.8A	12.8	5	14.3	15.05	15.9	1	21.2	20	0.284		
P6KE6.8AL_G	P6KE6.8A	13.8	5	15.2	16	16.8	1	23.9	27	0.286		
P6KE6.8ARL_G	P6KE6.8A	15.3	5	17.1	18	19.9	1	26.2	24	0.289		
P6KE6.8AG	P6KE6.8A	17.1	5	19	20	21	1	27.7	22	0.288		
P6KE6.8AL_G	P6KE6.8A	18.8	5	20.8	22	23.1	1	30.4	20	0.288		
P6KE6.8ARL_G	P6KE6.8A	20.5	5	22.8	24	25.2	1	33.2	18	0.284		
P6KE6.8AG	P6KE6.8A	23.1	5	25.7	27.85	28.4	1	37.5	16	0.286		
P6KE6.8AL_G	P6KE6.8A	25.6	5	28.5	30	31.5	1	41.4	14.4	0.287		
P6KE6.8AG	P6KE6.8A	28.2	5	31.4	33.95	34.7	1	45.7	13.2	0.286		
P6KE6.8AL_G	P6KE6.8A	30.8	5	34.2	36	37.8	1	49.9	12	0.288		
P6KE6.8ARL_G	P6KE6.8A	33.3	5	37.1	39.95	41	1	53.9	11.2	0.1		
P6KE6.8AG	P6KE6.8A	36.8	5	40.9	43.95	45.2	1	59.3	10.1	0.101		
P6KE6.8AL_G	P6KE6.8A	40.3	5	44.7	47.65	49.4	1	64.8	9.3	0.101		
P6KE6.8ARL_G	P6KE6.8A	43.8	5	48.5	51.95	53.8	1	71.1	8.6	0.102		
P6KE6.8AG	P6KE6.8A	47.8	5	52.2	56	58	1	77.8	7.8	0.102		
P6KE6.8AL_G	P6KE6.8A	53	5	58.9	62	65.1	1	85	7.1	0.104		
P6KE6.8ARL_G	P6KE6.8A	58.1	5	64.9	68	71.4	1	93	6.5	0.104		
P6KE6.8AG	P6KE6.8A	64.1	5	71.2	75.05	76.8	1	103	5.8	0.102		
P6KE6.8AL_G	P6KE6.8A	70.1	5	77.9	82	86.1	1	113	5.3	0.105		
P6KE6.8ARL_G	P6KE6.8A	77.8	5	86.5	91	95.5	1	125	4.6	0.106		
P6KE6.8AG	P6KE6.8A	85.5	5	95	100	105	1	137	4.4	0.106		
P6KE6.8AL_G	P6KE6.8A	93.2	5	104	110	116	1	146	3.6	0.107		
P6KE6.8ARL_G	P6KE6.8A	101	5	114	120.5	127	1	159	3.2	0.107		
P6KE6.8AG	P6KE6.8A	109	5	124	130.5	138	1	170	2.8	0.109		
P6KE6.8AL_G	P6KE6.8A	118	5	134	142	148	1	182	2.7	0.108		
P6KE6.8ARL_G	P6KE6.8A	124	5	141	148	156	1	194	2.4	0.108		
P6KE6.8AG	P6KE6.8A	131	5	149	158	165	1	206	2.2	0.108		

1. A transient surge current is not allowed to occur at the maximum working peak reverse voltage (V<sub>WM</sub>), which should be equal to or greater than V<sub>0</sub> or continuous peak clamping voltage (V<sub>C</sub>).  
 2. Storage current waveform per Figure 4 and device per Figure 1 and 2.  
 3. 100 sine waves (or equivalent square wave), PPM = 8.3 ms, duty cycle = 4 pulses per minute maximum.  
 \*The "G" suffix indicates Pb-Free package or Pb-Free Packages are available.

## P6KE6.8A Series

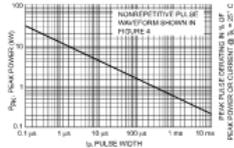


Figure 1. Pulse Rating Curve

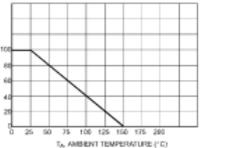


Figure 2. Pulse Derating Curve

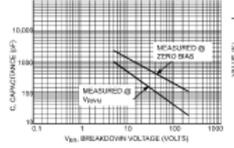


Figure 3. Capacitance versus Breakdown Voltage

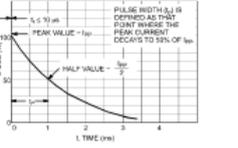


Figure 4. Pulse Waveform

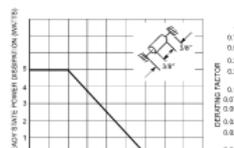


Figure 5. Steady State Power Derating

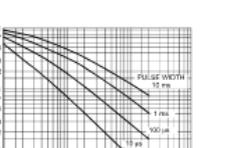


Figure 6. Typical Derating Factor for Duty Cycle

## P6KE6.8A Series

### APPLICATION NOTES

**RESPONSE TIME**  
 In most applications, the transient suppressor device is placed in parallel with the equipment or component to be protected. In this situation, there is a time delay associated with the capacitance of the device and an overshoot condition associated with the inductance of the device and the inductance of the connection media. The capacitance effect is of minor importance in the parallel protection scheme because it only produces a time delay in the transition from the operating voltage to the clamp voltage as shown in Figure 7.

The inductive effects in the device are due to actual surge current (time required for the device to go from zero current to full current) and lead inductance. This inductive effect produces an overshoot in the voltage across the equipment or component being protected as shown in Figure 8. Minimizing this overshoot is very important in the application, since the main purpose for adding a transient suppressor is to clamp voltage spikes. The P6KE6.8A series has very good response times, typically < 1 ns and negligible inductance. However, external inductive effects could produce unacceptable overshoot. Proper circuit layout, minimum lead lengths and placing the

suppressor device as close as possible to the equipment or components to be protected will minimize this overshoot. Since input impedance represented by Z<sub>in</sub> is essential to prevent overshoot of the protection device, this impedance should be as high as possible, without restricting the circuit operation.

**DUTY CYCLE DERATING**  
 The data of Figure 1 applies for non-repetitive conditions and as a lead temperature of 25°C. If the duty cycle increases, the peak power must be reduced as indicated by the curves of Figure 6. Average power must be derated as the lead or ambient temperature rises above 25°C. The average power derating curve normally given on data sheets may be normalized and used for this purpose.

At first glance the derating curves of Figure 6 appear to be in error as the 10 ms pulse has a higher derating factor than the 10 µs pulse. However, when the derating factor for a given pulse of Figure 6 is multiplied by the peak power value of Figure 1 for the same pulse, the results follow the expected trend.

#### TYPICAL PROTECTION CIRCUIT

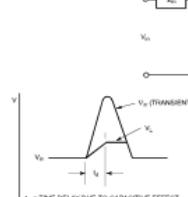


Figure 7.

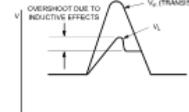


Figure 8.

#### UL RECOGNITION<sup>1</sup>

The entire series including the bidirectional CA series has Underwriters Laboratories Recognition for the classification of protection (PVSQD) under the UL standard for safety 497B and File #E128612. Many competitors only have one or two devices recognized or have recognition in a non-protective category. Some competitors have no recognition at all. With the UL 497B recognition, our parts successfully passed several

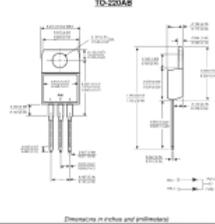
tests including Spike Voltage Breakdown test, Endurance Climbing, Temperature test, Dielectric Voltage-Withstand test, Discharge test and several more. Whereas, some competitors have only passed a durability test for the package material, we have been recognized for much more to be included in their protective category. <sup>1</sup>Applies to P6KE6.8A - P6KE200A.

# Anexo E: Hoja de datos Diodo Schottky MBR2045

## MBR2035CT THRU MBR2060CT

### SCHOTTKY RECTIFIER

**Reverse Voltage - 35 to 60 Volts    Forward Current - 20.0 Amperes**



Dimensions in inches and millimeters

#### FEATURES

- Plastic package has Underwriters Laboratory Flammability Classification 94V-0
- Dual rectifier construction, positive center tap
- Metal silicon junction, majority carrier conduction
- Low power loss, high efficiency
- High current capability, low forward voltage drop
- High surge capability
- Guardring for overvoltage protection
- For use in low voltage, high frequency inverters, free wheeling, and polarity protection applications
- High temperature soldering guaranteed: 250°C/10 seconds, 0.35" (8.38mm) from case

#### MECHANICAL DATA

Case: JEDEC TO-220AB molded plastic  
 Terminals: Leads solderable per MIL-STD-750, Method 2026  
 Polarity: As marked  
 Mounting Position: Any  
 Mounting Torque: 5 in. lbs. max.  
 Weight: 0.08 ounce, 2.24 grams

#### MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

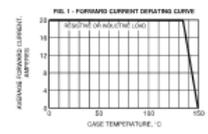
Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified

	MBR2035CT	MBR2045CT	MBR2055CT	MBR2060CT	UNIT	
Maximum repetitive peak reverse voltage	V <sub>RRM</sub>	35	45	50	60	Volts
Maximum working peak reverse voltage	V <sub>WRM</sub>	35	45	50	60	Volts
Maximum DC blocking voltage	V <sub>DC</sub>	35	45	50	60	Volts
Maximum average forward rectified current at T <sub>C</sub> =25°C	I <sub>AV</sub> (A)	20.0			Amps	
Peak repetitive forward current per leg at T <sub>C</sub> =150°C (rated V <sub>RRM</sub> or lower 2.0 kHz)	I <sub>FRM</sub>	20.0			Amps	
Peak forward surge current 0.1ms single half sine wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	I <sub>FSM</sub>	100.0			Amps	
Peak repetitive reverse surge current (single 100µs)	I <sub>RSM</sub>	1.0	0.5		Amps	
Maximum instantaneous forward voltage per leg at I <sub>F</sub> =10A, T <sub>C</sub> =25°C (note 1)	V <sub>F</sub>	0.57	0.90		Volts	
Maximum instantaneous forward voltage per leg at I <sub>F</sub> =10A, T <sub>C</sub> =125°C (note 1)	V <sub>F</sub>	0.84	0.96		Volts	
Maximum instantaneous forward voltage per leg at I <sub>F</sub> =20A, T <sub>C</sub> =125°C (note 1)	V <sub>F</sub>	0.72	0.95		Volts	
Maximum instantaneous reverse current at rated DC blocking voltage per leg T <sub>C</sub> =25°C	I <sub>R</sub>	0.1	0.15		mA	
Maximum instantaneous reverse current at rated DC blocking voltage per leg T <sub>C</sub> =125°C	I <sub>R</sub>	15.0	15.0		mA	
Voltage rate of change (rated V <sub>RRM</sub> )	dV/dt	10,000			V/µs	
Typical thermal resistance per leg (note 2)	R <sub>θJC</sub>	2.0			°C/W	
Operating junction temperature range	T <sub>J</sub>	-45 to +152			°C	
Storage temperature range	T <sub>STG</sub>	-65 to +175			°C	

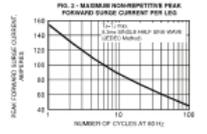
NOTES:  
 (1) 1.0µs pulse with 1:1 duty cycle  
 (2) Pulse test; duty cycle width: 1% duty cycle

### RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES MBR2035CT THRU MBR2060CT

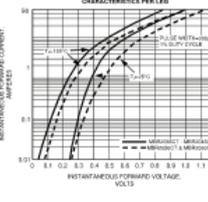
**FIG. 1 - FORWARD CURRENT DEGRADING CURVE**



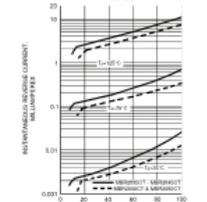
**FIG. 2 - MAXIMUM NONREPETITIVE PEAK FORWARD SURGE CURRENT PER LEG**



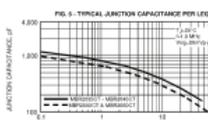
**FIG. 3 - TYPICAL NONREPEATING FORWARD CHARACTERISTICS PER LEG**



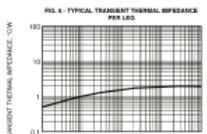
**FIG. 4 - TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS PER LEG**



**FIG. 5 - TYPICAL JUNCTION CAPACITANCE PER LEG**



**FIG. 6 - TYPICAL TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE PER LEG**



# Anexo F: Hoja de datos MP2307



## MP2307 3A, 23V, 340kHz Synchronous Rectified Step-Down Converter

### DESCRIPTION

The MP2307 is a monolithic synchronous buck regulator. The device integrates 100mΩ MOSFETs that provide 3A of continuous load current over a wide operating input voltage of 4.75V to 23V. Current mode control provides fast transient response and cycle-by-cycle current limit.

An adjustable soft-start prevents inrush current at turn-on and in shutdown mode, the supply current drops below 1µA.

This device, available in an 8-pin SOIC package, provides a very compact system solution with minimal reliance on external components.

### EVALUATION BOARD REFERENCE

Board Number	Dimensions
EV2307DN-00A	2.0" x 1.5" x 0.5"

### FEATURES

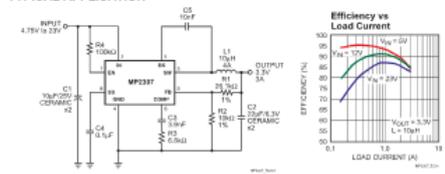
- 3A Continuous Output Current, 4A Peak Output Current
- Wide 4.75V to 23V Operating Input Range
- Integrated 100mΩ Power MOSFET Switches
- Output Adjustable from 0.925V to 20V
- Up to 95% Efficiency
- Programmable Soft-Start
- Stable with Low ESR Ceramic Output Capacitors
- Fixed 340kHz Frequency
- Cycle-by-Cycle Over Current Protection
- Input Under Voltage Lockout
- Thermally Enhanced 8-Pin SOIC Package

### APPLICATIONS

- Distributed Power Systems
- Networking Systems
- FPGA, DSP, ASIC Power Supplies
- Green Electronics/Appliances
- Notebook Computers

MPS and The Future of Analog IC Technology are Trademarks of Monolithic Power Systems, Inc.

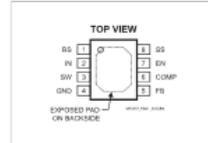
### TYPICAL APPLICATION



MP2307 Rev. 1.7  
3/14/2006  
www.MonolithicPower.com  
MPS Proprietary Information. Use Authorized Protocols and Duplication Prohibited.  
© 2006 MPS. All Rights Reserved.

## MP2307 – 3A, 23V, 340kHz SYNCHRONOUS RECTIFIED STEP-DOWN CONVERTER

### PACKAGE REFERENCE



Part Number	Package	Temperature
MP2307DN	SOIC8N	-40° to +85°C

\* For Tape & Reel, add suffix -L (eg. MP2307DN-L)  
† For Lead-Free, add suffix -LF (eg. MP2307DN-LF-2)

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>(1)</sup>

Supply Voltage $V_{IN}$	-0.3V to +26V
Switch Voltage $V_{SW}$	-1V to $V_{IN} + 0.3V$
Boost Voltage $V_{BOOT}$	-0.3V to $V_{IN} + 0.3V$
All Other Pins	-0.3V to +40V
Junction Temperature	150°C
Lead Temperature	260°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C

### Recommended Operating Conditions<sup>(2)</sup>

Input Voltage $V_{IN}$	4.75V to 23V
Output Voltage $V_{OUT}$	0.925V to 20V
Ambient Operating Temp	-40°C to +85°C

### Thermal Resistance<sup>(3)</sup>

	$\theta_{JA}$	$\theta_{JC}$
SOIC8N	50	10

Note:  
1) Exceeding these ratings may damage the device.  
2) The device is not guaranteed to function outside of its operating conditions.  
3) Measured at approximately 1" square of 1 or copper.

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{IN} = 12V$ ,  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Units
Shutdown Supply Current	$I_{SD}$	$V_{IN} = 0V$		1.3	3.0	µA
Supply Current		$V_{IN} = 2.0V$ , $V_{OUT} = 1.0V$		1.3	1.5	mA
Feedback Voltage	$V_{FB}$	$4.75V \leq V_{IN} \leq 23V$	0.900	0.925	0.950	V
Feedback Overvoltage Threshold				1.1		V
Error Amplifier Voltage Gain <sup>(1)</sup>	$A_{VOL}$			400		V/V
Error Amplifier Transconductance	$G_{EA}$	$I_{LOAD} = 10\mu A$		820		µA/V
High-Side Switch On Resistance <sup>(1)</sup>	$R_{DS(on)}$			100		mΩ
Low-Side Switch On Resistance <sup>(1)</sup>	$R_{DS(on)}$			100		mΩ
High-Side Switch Leakage Current		$V_{IN} = 0V$ , $V_{OUT} = 0V$		0	10	µA
Upper Switch Current Limit		Minimum Duty Cycle	4.0	5.8		A
COMP to Current Sense Transconductance	$G_{CS}$	From Drain to Source		0.9		A
Oscillation Frequency	$F_{osc}$		300	340	380	kHz
Short Circuit Oscillation Frequency	$F_{osc}$	$V_{OUT} = 0V$		110		kHz
Maximum Duty Cycle	D <sub>max</sub>	$V_{IN} = 1.0V$		90		%
Minimum On Time <sup>(1)</sup>	$T_{on}$			220		ns
EN Shutdown Threshold Voltage		$V_{IN}$ Rising	1.1	1.5	2.0	V
EN Shutdown Threshold Voltage Hysteresis				220		mV

MP2307 Rev. 1.7  
3/14/2006  
www.MonolithicPower.com  
MPS Proprietary Information. Use Authorized Protocols and Duplication Prohibited.  
© 2006 MPS. All Rights Reserved.

## MP2307 – 3A, 23V, 340kHz SYNCHRONOUS RECTIFIED STEP-DOWN CONVERTER

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

$V_{IN} = 12V$ ,  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Units
EN Lockout Threshold Voltage			2.2	2.5	2.7	V
EN Lockout Hysteresis				210		mV
Input Under Voltage Lockout Threshold		$V_{IN}$ Rising	3.80	4.05	4.40	V
Input Under Voltage Lockout Threshold Hysteresis				210		mV
Soft-Start Current		$V_{OUT} = 0V$		6		µA
Soft-Start Period		$C_{OUT} = 0.1\mu F$		15		ms
Thermal Shutdown <sup>(1)</sup>				160		°C

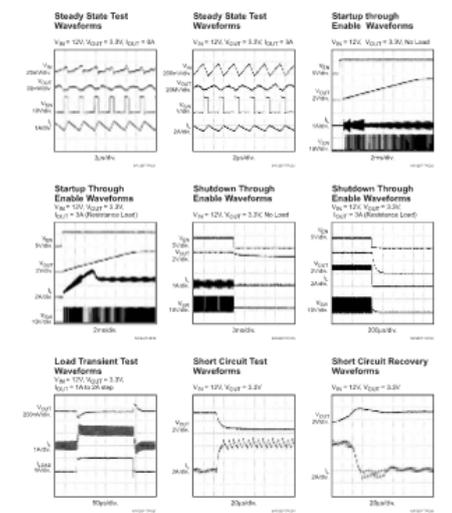
Note:  
1) Guaranteed by design, not tested.

MP2307 Rev. 1.7  
3/14/2006  
www.MonolithicPower.com  
MPS Proprietary Information. Use Authorized Protocols and Duplication Prohibited.  
© 2006 MPS. All Rights Reserved.

## MP2307 – 3A, 23V, 340kHz SYNCHRONOUS RECTIFIED STEP-DOWN CONVERTER

### TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

$C_1 = 2 \times 10\mu F$ ,  $C_2 = 2 \times 22\mu F$ ,  $L = 10\mu H$ ,  $C_{12} = 0.1\mu F$ ,  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.



MP2307 Rev. 1.7  
3/14/2006  
www.MonolithicPower.com  
MPS Proprietary Information. Use Authorized Protocols and Duplication Prohibited.  
© 2006 MPS. All Rights Reserved.

# Anexo G: Hoja de datos Sensor de temperatura DB18S20



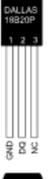
**DS18B20-PAR**  
1-Wire Parasite-Power  
Digital Thermometer

www.maxim-ic.com

**FEATURES**

- Unique 1-Wire<sup>®</sup> interface requires only one port pin for communication
- Derives power from data line ("parasite power")—does not need a local power supply
- Multi-drop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- ±0.5°C accuracy from -10°C to +85°C
- Measures temperatures from -55°C to +100°C (-67°F to +212°F)
- Thermometer resolution is user-selectable from 9 to 12 bits
- Converts temperature to 12-bit digital word in 750 ms (max.)
- User-definable non-volatile temperature alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Software compatible with the DS1822-PAR
- Ideal for use in remote sensing applications (e.g., temperature probes) that do not have a local power source

**PIN ASSIGNMENT**



TO-92  
(DS18B20-PAR)

**PIN DESCRIPTION**

GND - GROUND  
DQ - Data In/Out  
NC - No Connect

**DESCRIPTION**

The DS18B20-PAR digital thermometer provides 9 to 12-bit centigrade temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20-PAR does not need an external power supply because it derives power directly from the data line ("parasite power"). The DS18B20-PAR communicates over a 1-Wire bus, which by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. It has an operating temperature range of -55°C to +100°C and is accurate to ±0.5°C over a range of -10°C to +85°C.

Each DS18B20-PAR has a unique 64-bit identification code, which allows multiple DS18B20-PARs to function on the same 1-wire bus; thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20-PARs distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment or machinery, and process monitoring and control systems.

DS18B20-PAR

**DETAILED PIN DESCRIPTIONS Table 1**

PIN	SYMBOL	DESCRIPTION
1	GND	Ground.
2	DQ	Data Input/Output pin. Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasite power mode (see "Parasite Power" section.)
3	NC	No Connect. Doesn't connect to internal circuit.

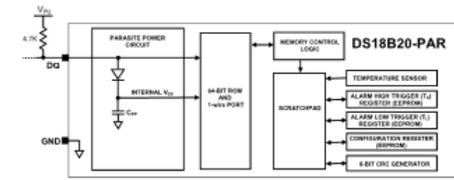
**OVERVIEW**

The DS18B20-PAR uses Dallas' exclusive 1-Wire bus protocol that implements bus communication using one control signal. The control line requires a weak pullup resistor since all devices are linked to the bus via a 3-state or open-drain port (the DQ pin in the case of the DS18B20-PAR). In this bus system, the microprocessor (the master device) identifies and addresses devices on the bus using each device's unique 64-bit code. Because each device has a unique code, the number of devices that can be addressed on one bus is virtually unlimited. The 1-Wire bus protocol, including detailed explanations of the commands and "time slots," is covered in the 1-WIRE BUS SYSTEM section of this datasheet.

An important feature of the DS18B20-PAR is its ability to operate without an external power supply. Power is instead supplied through the 1-Wire pullup resistor via the DQ pin when the bus is high. The high bus signal also charges an internal capacitor (C<sub>int</sub>), which then supplies power to the device when the bus is low. This method of deriving power from the 1-Wire bus is referred to as "parasite power".

Figure 1 shows a block diagram of the DS18B20-PAR, and pin descriptions are given in Table 1. The 64-bit ROM stores the device's unique serial code. The scratchpad memory contains the 2-byte temperature register that stores the digital output from the temperature sensor. In addition, the scratchpad provides access to the 1-byte upper and lower alarm trigger registers (T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub>). The T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub> registers are nonvolatile (EEPROM), so they will retain their data when the device is powered down.

**DS18B20-PAR BLOCK DIAGRAM Figure 1**



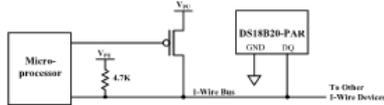
DS18B20-PAR

**PARASITE POWER**

The DS18B20-PAR's parasite power circuit allows the DS18B20-PAR to operate without a local external power supply. This ability is especially useful for applications that require remote temperature sensing or that are very space constrained. Figure 1 shows the DS18B20-PAR's parasite-power control circuitry, which "steals" power from the 1-Wire bus via the DQ pin when the bus is high. The stolen charge powers the DS18B20-PAR while the bus is high, and some of the charge is stored on the parasitic power capacitor (C<sub>int</sub>) to provide power when the bus is low.

The 1-Wire bus and C<sub>int</sub> can provide sufficient parasitic power to the DS18B20-PAR for most operations as long as the specified timing and voltage requirements are met (refer to the DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS and the AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS sections of this data sheet). However, when the DS18B20-PAR is performing temperature conversions or copying data from the scratchpad memory to EEPROM, the operating current can be as high as 1.5 mA. This current can cause an unacceptable voltage drop across the weak 1-Wire pullup resistor and is more current than can be supplied by C<sub>int</sub>. To assure that the DS18B20-PAR has sufficient supply current, it is necessary to provide a strong pullup on the 1-Wire bus whenever temperature conversions are taking place or data is being copied from the scratchpad to EEPROM. This can be accomplished by using a MOSFET to pull the bus directly to the rail as shown in Figure 2. The 1-Wire bus must be switched to the strong pullup within 10 μs (max) after a Convert T [44h] or Copy Scratchpad [48h] command is issued, and the bus must be held high by the pullup for the duration of the conversion (t<sub>conv</sub>) or data transfer (t<sub>data</sub> = 10 ms). No other activity can take place on the 1-Wire bus while the pullup is enabled.

**SUPPLYING THE DS18B20-PAR DURING TEMPERATURE CONVERSIONS Figure 2**



**OPERATION - MEASURING TEMPERATURE**

The core functionality of the DS18B20-PAR is its direct-to-digital temperature sensor. The resolution of the temperature sensor is user-configurable to 9, 10, 11, or 12 bits, which corresponds to increments of 0.5°C, 0.25°C, 0.125°C, and 0.0625°C, respectively. The default resolution at power-up is 12-bit.

The DS18B20-PAR powers-up in a low-power idle state; to initiate a temperature measurement and A-to-D conversion, the master must issue a Convert T [44h] command. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20-PAR returns to its idle state. The DS18B20-PAR output data is calibrated in degrees centigrade; for Fahrenheit applications, a lookup table or conversion routine must be used. The temperature data is stored as a 16-bit sign-extended two's complement number in the temperature register (see Figure 3). The sign bits (S) indicate if the temperature is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. If the DS18B20-PAR is configured for 12-bit resolution, all bits in the temperature register will contain valid data. For 11-bit resolution, bit 0 is undefined. For 10-bit

DS18B20-PAR

resolution, bits 1 and 0 are undefined, and for 9-bit resolution bits 2, 1 and 0 are undefined. Table 2 gives examples of digital output data and the corresponding temperature reading for 12-bit resolution conversions.

**TEMPERATURE REGISTER FORMAT Figure 3**

LS Byte	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	2 <sup>-1</sup>

MS Byte	bit 15	bit 14	bit 13	bit 12	bit 11	bit 10	bit 9	bit 8
	S	S	S	S	S	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>

**TEMPERATURE/DATA RELATIONSHIP Table 2**

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Hex)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
-85°C	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625°C	0000 0001 0001 0001	0191h
+10.125°C	0000 0000 1010 0010	00A2h
-0.5°C	0000 0000 0000 1000	0008h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125°C	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625°C	1111 1100 0110 1111	FF6Fh
-55°C	1111 1100 1001 0000	FC90h

\*The power-on reset value of the temperature register is +85°C.

**OPERATION - ALARM SIGNALING**

After the DS18B20-PAR performs a temperature conversion, the temperature value is compared to the user-defined two's complement alarm trigger values stored in the 1-byte T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub> registers (see Figure 4). The sign bit (S) indicates if the value is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. The T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub> registers are nonvolatile (EEPROM) so they will retain data when the device is powered down. T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub> can be accessed through bytes 2 and 3 of the scratchpad as explained in the MEMORY section of this datasheet.

**T<sub>1</sub> AND T<sub>2</sub> REGISTER FORMAT Figure 4**

bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
S	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>

Only bits 11 through 4 of the temperature register are used in the T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub> comparison since T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub> are 8-bit registers. If the result of a temperature measurement is higher than or equal to T<sub>1</sub> or lower than or equal to T<sub>2</sub>, an alarm condition exists and an alarm flag is set inside the DS18B20-PAR. This flag is updated after every temperature measurement; therefore, if the alarm condition goes away, the flag will be turned off after the next temperature conversion.

## **Anexo H:** Código fuente del controlador de carga

```
//Definición de librerías
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <PID_v1.h>
#define sol_v_sensor 0 // pin A0 para leer el voltaje del panel solar
#define bat_v_sensor 1 //pin A1 para leer el voltaje de la batería
#define disp_i_sensor 2 //pin A2 para medir la corriente de carga
#define sol_i_sensor 3 //pin A3 para medir la corriente de carga
#define PRM_NUM 10 // número de iteraciones de la rutina adc para promediar las lecturas adc
#define ONE_WIRE_BUS 12 // pin D12 Data wire del sensor de temp DS18B20
#define pwm_pin 3 // pin D9 para conducir el MOSFET principal Q1 @ 1KHz
#define disp_pin 2 // Definir el pin de control de carga para accionar el MOSFET Q2
//Definir terminales de led para indicación
#define bat_low_led 5
#define bat_normal_led 6
#define bat_full_led 7
#define load_red_led 8
#define load_green_led 9
#define solar_red_led 10
#define solar_green_led 11
#define BULK_CHARGE_SP 14.4
#define FLOAT_CHARGE_SP 13.5
#define REINICIO_SP 13.2
#define MIN_SOLAR_VOLT 10
#define LVD 11.5
#define LVR 12.5
#define ABS_LIM 3600000 // 1 hora en milisegundos
#define NOCHE 3600000 // 1 hora en milisegundos
#define CHARGER_RESTART_TIME 600000 // 10 minutos en milisegundos
#define offset 2.5 // para sensor ACS712
#define sensibilidad 0.66 // 66mV/A para la variante ACS712-20A
//Declaración de las variables globales
float sol_v = 0; // voltaje del panel solar
float bat_v = 0; // tensión de la batería
float disp_i = 0;
```

```

float solar_i = 0;
float temp = 0; // temp
float tempc = 0; // diferencia de temperatura entre la corriente y la referencia ( 25 degC)
float pwm_duty = 0; // Ciclo de trabajo PWM (0 a 1024)
float bulk_charge_sp = 0; // Punto de ajuste de carga a granel
float error = 0; // calcular la diferencia entre el voltaje de la batería y el punto de ajuste de carga
masiva
float float_charge_sp = 0; // Punto de ajuste de carga flotante
int disp_estado; // 0-off, 1- on
const int bat_tipo= 0; //Inundado=0,GEL=1
unsigned long tiempo_de_absorción; // para llevar la cuenta del tiempo de hoy en estado de
absorción
unsigned long charger_millis; // para llevar la cuenta del tiempo del cargador
float load_w = 0;
float load_wh = 0;
float sol_w= 0;
float sol_wh = 0;
float efi=0;
unsigned long time = 0;
unsigned long last_time = 0;
unsigned long current_time = 0;
float lvd=LVD;
// Variables para el controlador PID
//Definir las variables a las que nos conectaremos
double Setpoint, Input, Output;
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); // Configurar una instancia oneWire para comunicarse
con cualquier dispositivo OneWire
DallasTemperature sensors(&oneWire); // Pasar nuestra referencia oneWire al sensor de
temperatura de Dallas
//Especificar los enlaces y los parámetros iniciales de ajuste
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, 2, 5, 1, DIRECT); // Kp= 2 , Ki= 5 y Kd=1 // aggKp=4,
aggKi=0.2, aggKd=1;
enum cargador_estado {off, bulk, absorción, Float} cargador_estado ;
Función de configuración
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  sensores.begin();

```

```

pinMode(pwm_pin, OUTPUT);
pinMode(disg_pin, OUTPUT);
pinMode(bat_low_led, OUTPUT);
pinMode(bat_normal_led, OUTPUT);
pinMode(bat_full_led, OUTPUT);
pinMode(load_red_led, OUTPUT);
pinMode(load_green_led, OUTPUT);
pinMode(solar_red_led, OUTPUT);
pinMode(solar_verde_led, OUTPUT);
TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | 0x03; // frecuencia PWM del terminal 3 de 980,39 Hz
//inicializar las variables a las que estamos vinculados
Entrada = 12;
Setpoint = 14.5;
//iniciar el PID
myPID.SetMode(AUTOMATIC);
datos_temp();
v_sp(); // Lectura de la consigna de carga compensada por la temperatura
while ((temp > 50 ) || (temp < -20 ) || (bat_v < 9)) { // Si la temp está más allá del límite permisible
o la batería está dañada/desconectada
cargador_estado = off; // arranca el cargador apagado
cargador_millis = millis() ; // inicializar el reloj local
cargador_millis = millis();
delay(1000); // pausa para arrancar correctamente el Arduino }
Bucle principal
void loop() {
datos_sensores();// Lectura de la tensión de los sensores
datos_temp();
v_sp(); // Lectura de la consigna de carga compensada por temperatura
cargador();
control();
datos_potencia();
indicadores();
datos_serial();
pantalla();}

```

Esta función lee los divisores de voltaje y el sensor de temperatura (sonda DS18B20), da valores adc de fila entre 0-1023. Luego se calibra el valor adc para obtener los voltajes y corrientes reales

LEE Y PROMEDIA LAS ENTRADAS ANALÓGICAS (VOLTAJE PANEL SOLAR, VOLTAJE DE LA BATERÍA)

```
int read_adc(int adc_parameter){
    int suma = 0;
    int muestra ;
    for (int i = 0; i < PRM_NUM; i++){
        sample = analogRead(adc_parameter); // lee el terminal de entrada
        sum += sample; // almacena la suma para promediar
        delay(1); // hace una pausa de 1 milisegundo }
    return (sum / PRM_NUM); // divide la suma por PRM_NUM para obtener el promedio y
    devolverlo}

```

LEER LOS DATOS

```
void datos_sensores(void) {
    lectura de temperatura
    datos_temp();
    lectura de voltaje
    //5V = Valor ADC 1024 => 1 Valor ADC = (5/1024)Volt= 0.0048828Volt
    //  $V_{out}=V_{in} \cdot R_2 / (R_1+R_2) \Rightarrow V_{in} = V_{out} \cdot (R_1+R_2) / R_2$  R1=100 y R2=20
    sol_v = read_adc(sol_v_sensor) * 0.0048828 * (120 / 20);
    bat_v = read_adc(bat_v_sensor) * 0,0048828 * (120 / 20);
}

```

Lectura de corriente

```
disp_i = ((analogRead(disp_i_sensor) * 0.0048828 - offset) / sensibilidad );
solar_i = ((analogRead(sol_i_sensor) * 0.0048828 - offset) / sensibilidad );
if (disp_i < 0) {
    disp_i = 0; }
if (solar_i < 0) {
    solar_i = 0;}}

```

```
void datos_temp(void) {
    sensors.requestTemperatures(); // obtiene las lecturas de temp
    temp = sensors.getTempCByIndex(0) ; } // 0 se refiere al primer IC del cable

```

PUNTO DE AJUSTE DE LA CARGA

// compensación de temperatura = -20mv/degC

// Si la temperatura está por encima de la temperatura ambiente, el punto de ajuste de la carga debe reducirse.

// Si la temperatura está por debajo de la temperatura ambiente, el punto de ajuste de la carga debe aumentar.

```
void v_sp(void){
}

```

```

datos_sensores(); // para medir la tensión y la corriente de los sensores
tempc = temp - 25.0; // 25deg cel se toma como temperatura ambiente estándar ( STC)
// para cargar la batería
if (bat_tipo== 0) {
    bulk_charge_sp = BULK_CHARGE_SP - (0.020 * tempc) ;
    float_charge_sp = FLOAT_CHARGE_SP - (0.020 * tempc) ;
    lvd=LVD; }
// para la batería GEL // el punto de ajuste se reduce para evitar el exceso de gases
si no {
    bulk_charge_sp = (BULK_CHARGE_SP - 0.2) - (0.020 * tempc) ;
    float_charge_sp = (FLOAT_CHARGE_SP - 0.2) - (0.020 * tempc) ; }}
CICLO DE CARGA PRINCIPAL
void cargador() {
    switch (cargador_estado) {
        case off :
            if ( ( bat_v < float_charge_sp) && ( sol_v > ( bat_v + 0.5) ) ) {
                cargador_millis = millis() ;
                cargador_estado = bulk ;}
            else if ( ( bat_v > float_charge_sp) && ( sol_v > ( bat_v + 0.5) ) && ( absorption_time >
ABS_LIM ) {
                charger_millis = millis() ;
                tiempo_de_reinicio = 0 ;
                cargador_estado = Float ;    }
            si no {
                if (millis() - charger_millis > NOCHE) absorption_time = 0 ;
                pwm_duty = 0
                analogWrite(pwm_pin, pwm_duty);} //generar PWM de D3 @ 0% duty // Apagar el
cargador
                break; //fin de la condición de apagado del caso
ETAPA-1 (CARGA MASIVA)
Durante esta etapa el MOSFET está totalmente encendido ajustando el ciclo de trabajo al 100%
Carga de corriente constante
caso masiva :
    if ( sol_v < bat_v ) {
        cargador_millis = millis() ;
        cargador_estado = off ;    }

```

```

else if ((bat_v > bulk_charge_sp) && ( sol_v > ( bat_v + 0.5) ) && ( absorption_time <
ABS_LIM )) {
    cargador_millis = millis() ;
    cargador_estado = absorción ;    }
else if ( ( bat_v > float_charge_sp) && ( sol_v > ( bat_v + 0.5) ) && ( absorption_time >
ABS_LIM )) {
    charger_millis = millis() ;
    tiempo_de_reinicio = 0 ;
    cargador_estado = Float ;    }
else {
    pwm_duty = 255;
    analogWrite(pwm_pin, pwm_duty); //generar PWM de D3 @ 100% duty // MOSFET Q1
encendido
    if ( bat_v > bulk_charge_sp ){
        cargador_estado = absorción ;}    }
break; // fin del caso condición de etapa masiva

```

## ETAPA-2 CARGA DE ABSORCIÓN

Durante esta etapa el MOSFET se enciende parcialmente ajustando el ciclo de trabajo entre el 0% y el 100% Tensión constante

```

caso absorción :
if ( sol_v < bat_v ) {
    cargador_millis = millis() ;
    cargador_estado = off ;    }
else if ( bat_v > float_charge_sp) && ( sol_v > ( bat_v + 0.5) ) && ( absorption_time >
ABS_LIM )) {
    cargador_millis = millis() ;
    cargador_estado = Float ;    }
else {
    // incrementa el temporizador de absorción y comprueba la duración del estado de absorción
    tiempo_de_absorción = tiempo_de_absorción + millis() - cargador_millis ;
    charger_millis = millis();
    Input = bat_v;
    Setpoint = bulk_charge_sp;
    myPID.Compute(); // Calcula la salida del PID
    pwm_duty = Output * 5 ; // Output = kp * error + ki * errSum + kd * dErr
    si (pwm_duty < 0)pwm_duty = 0;
    si (pwm_duty > 255)pwm_duty = 255;

```

```

    analogWrite(pwm_pin, pwm_duty);    }
    break; // fin de la condición de etapa de absorción
ETAPA-3 (CARGA DE FLOTACIÓN)
    // Durante esta etapa el MOSFET está parcialmente encendido ajustando el ciclo de trabajo
entre 0% y 100% Carga tensión constante
    caso Flotante :
    if ( sol_v < bat_v ) {
        cargador_millis = millis() ;
        cargador_estado = off ;    }
    else if ( bat_v < REINICIO_SP) && ( sol_v > ( bat_v + 0.5) ) && (restart_time >
CHARGER_RESTART_TIME)) {
        cargador_millis = millis() ;
        cargador_estado = bulk ;    }
    else if ( ( bat_v > float_charge_sp) && ( sol_v > ( bat_v + 0.5) ) && ( absorption_time <
ABS_LIM )) {
        cargador_millis = millis() ;
        cargador_estado = absorción ;    }
    else {
        si (bat_v > float_charge_sp) {
            pwm_duty--;
            si (pwm_duty < 0)pwm_duty = 0;
            analogWrite(pwm_pin, pwm_duty);    }
        si no {
            pwm_duty = 12.75; }// establecer el ciclo de trabajo = 5% para la carga lenta
            analogWrite(pwm_pin, pwm_duty); //generar PWM de D3 @ 5% duty // Q1 está
conduciendo @ 5% duty cycle
            if ( bat_v < REINICIO_SP) {
                restart_time = restart_time + millis() - charger_millis ;
                charger_millis = millis();    }    }
        break;}}
// fin del caso condición de etapa flotante
// fin del cargador
CÁLCULO DE POTENCIA Y ENERGÍA
void datos_potencia(void) {
    última_hora = hora_actual;
    current_time = millis();
    load_w = disp_i * bat_v; //carga de vatios ahora

```

```

sol_w= solar_i * sol_v; /vatios solares ahora
load_wh = load_wh + load_w * (( current_time - last_time) / 3600000.0) ; // calcular la energía
en vatios-hora
sol_wh = sol_wh + sol_w* (( hora_actual - última_hora) / 3600000.0) ; // calculando la energía
en vatios-hora
efi=(load_w/sol_w)*100;}

```

#### CONTROL DE CARGA

```

void control() {
datos_sensores(); // para medir las tensiones de los sensores
if ( (sol_v < 5.0) && ( bat_v > lvd) ) {
disp_estado = 1;
digitalWrite(disp_pin, HIGH); } // la carga se encenderá durante la noche
else if ( sol_v > MIN_SOLAR_VOLT) {
disp_estado = 0;
digitalWrite(disp_pin, LOW);} } // la carga se apagará durante la mañana

```

#### INDICACIÓN DEL LED

Esta función muestra el estado de carga actual de la batería, el estado de carga y el estado de la carga a través del LED

```

void indicadores(void) {
//Indicación de leds solares
if (sol_v > bat_v) {
digitalWrite(solar_red_led, LOW);
digitalWrite(solar_green_led, HIGH); } // La luz solar está disponible y el cargador está listo
para cargar
else{
digitalWrite(solar_green_led, LOW);
digitalWrite(solar_red_led, HIGH); } //La luz solar no está disponible para la carga
//Indicación de los leds de la batería
if (bat_v > LVR) {
leds_off_all();
digitalWrite(bat_normal_led, HIGH); } // el voltaje de la batería es saludable
else if (bat_v > float_charge_sp ){
leds_off_all();
digitalWrite(bat_full_led, HIGH); } //la batería está completamente cargada
else {
leds_off_all();

```

```

    digitalWrite(bat_low_led, HIGH);} //tensión de la batería baja
/Indicación de leds de carga
if (disp_estado == 1){
    digitalWrite(load_red_led, LOW);
    digitalWrite(load_green_led , HIGH); }
else if (disp_estado == 0){
    digitalWrite(carga_verde_led, LOW);
    digitalWrite(load_red_led , HIGH);} }
APAGAR TODOS LOS LED
void leds_off_all(void){

    digitalWrite(bat_low_led, LOW);
    digitalWrite(bat_normal_led, LOW);
    digitalWrite(bat_full_led, LOW);}
IMPRESIÓN EN SERIE
void datos_serial() {
    Serial.print(sol_v);
    Serial.print("!");
    Serial.print(solar_i);
    Serial.print("!");
    Serial.print(bat_v);
    Serial.print("!");
    Serial.print ( temp);
    Serial.print("!");
    Serial.print(disp_i);
    Serial.print("!");
    Serial.print(sol_wh);
    Serial.print("!");
    Serial.print(load_wh);
    Serial.print("!");
    Serial.print(efi);
    Serial.print("!");
    Serial.print(" ");
}
void pantalla()
{   display.clearDisplay(); //Limpiamos el buffer de la pantalla
    display.setTextSize(0.5);      // Tamaño del texto

```

```

display.setTextColor(SSD1306_WHITE);    // Color de texto blanco
display.setCursor(0,0);
display.print("SV=");
display.print(solar_v);
display.setCursor(0,8);
display.print("SI=");
display.print(solar_i);
display.setCursor(0,16);
display.print("BV=");
display.print(bat_v);
display.setCursor(0,24);
  if((charger_state==1) | (charger_state== 2) | (charger_state== 3))
{ display.print("BT=");
  display.print(temp);
  display.print("      ON");

}
else
{
  display.print("BT=");
  display.print(temp);
  display.print("      OFF");

}

display.setCursor(0,32);
display.print("DI=");
display.print(displ_i);
display.setCursor(0,40);
display.print("Swh=");
display.print(sol_wh);
display.setCursor(0,48);
  if(load_status==1)
  {

display.print("Dwh=");
display.print(load_wh);

```

```

    display.print("    ON");
}
else if(load_status==0)
{
display.print("Dwh=");
display.print(load_wh);
display.print("    OFF"); }
display.setCursor(0,56);
display.print("Efi=");
display.print(efi);
display.setCursor(32,0);
    display.print("  V");
display.setCursor(32,8);
    display.print("  A");
display.setCursor(32,16);
    display.print("  V");
display.setCursor(32,24);
display.print("  C");
display.setCursor(32,32);
display.print("  A");
display.setCursor(32,40);
display.print("  WH");
display.setCursor(32,48);
display.print("  WH");
display.setCursor(32,56);
display.print("  %");
display.display(); // Mostrar lo que hay en el buffer de datos
}

```

# Anexo I: Archivos de diseño

