



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN DE CARGA
UTILIZANDO PANELES SOLARES APLICADO PARA EL
VEHÍCULO FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

JORGE ROBERTO GUAQUIPANA PATIN

MARCO VINICIO MALQUI MARIÑO

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN DE CARGA
UTILIZANDO PANELES SOLARES APLICADO PARA EL
VEHÍCULO FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: JORGE ROBERTO GUAQUIPANA PATIN

MARCO VINICIO MALQUI MARIÑO

DIRECTOR: Dr. MARIO EFRAÍN AUDELO GUEVARA

Riobamba – Ecuador

2024

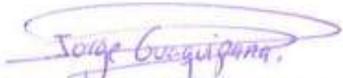
©2024, Jorge Roberto Guaquipana Patin & Marco Vinicio Malqui Mariño

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, Jorge Roberto Guaquipana Patin y Marco Vinicio Malqui Mariño declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este 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 Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de mayo 2024


Jorge Roberto Guaquipana Patin
C. I: 0202511770


Marco Vinicio Malqui Mariño
C. I: 1850761501

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN DE CARGA UTILIZANDO PANELES SOLARES APLICADO PARA EL VEHÍCULO FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**, realizado por el señores: **JORGE ROBERTO GUAQUIPANA PATIN** y **MARCO VINICIO MALQUI MARIÑO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-07-1
Dr. Mario Efraín Audelo Guevara DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-07-1
Ing. Fabián Celso Gunsha Maji ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-07-1

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

En primer lugar, a mis padres Patricio Ramiro Malqui Chicaiza y Betty Lucila Mariño Guapisaca. Donde fueron mi soporte incondicional a lo largo de toda mi vida, con su amor, sacrificio y confianza me han ayudado a llegar a cumplir hoy un sueño más, doy gracias por ser mis guías, mis consejeros brindarme el ejemplo de la perseverancia, la disciplina me han impulsado a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

A mis hermanos Alejandro, Anahí y Mónica por su apoyo incondicional y motivación a lo largo de este proceso para seguir adelante cumpliendo nuevos objetivos.

A mi amado hijo Dylan Josué por ser mi fuente de motivación e inspiración y perseverancia para afrontar las adversidades a pesar de la distancia y no estar a su lado es la razón de seguir esforzándome para un futuro mejor.

Marco

Esta tesis está dedicada a:

A Dios quien es el creador del universo y me dio la fortaleza y entendimiento para llegar a lograr a culminar un logro más en mi vida, debido a que cada paso que damos, cada meta, reto o propósito si está bajo su dirección es un éxito.

A mi madre MARÍA LUISA PATIN GUAQUIPANA (Que de Dios goce), ya que gracias a ti he llegado hacer lo que hoy en día soy que me inculcaste valores éticos dirigiéndome con sabiduría para ser una persona profesional de bien con principios inquebrantables.

A mi padre ANTONIO GUAQUIPANA PATIN quien es mi pilar importante que con su amor infinito y paciencia hizo que una meta más se haga realidad, gracias a ellos aprendí que no existe adversidad alguna que con responsabilidad y valentía se puede lograr.

A mis Hermanos Ángel, Oswaldo y Freddy Guaquipana por su ejemplo y apoyo incondicional durante todo mi proceso de formación. A toda mi Familia que gracias a sus consejos y palabras de aliento hicieron de una u otra manera formar mi carácter.

Finalmente, a todo mis Amigos por apoyarme cuando más los necesito, por haber compartido momentos alegres y difíciles en esta etapa de formación profesional a ellos Gracias Totales.

Jorge

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios por brindarme salud, fortaleza para cumplir uno de mis objetivos más anhelado, de igual manera a San Juan Bautista patrono del Cantón Mocha que me brindo la paz, tranquilidad en los momentos difíciles.

A la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO por brindarme la oportunidad de formarme como profesional, aprender nuevos conocimientos, habilidades y destrezas me siento orgulloso de formar parte de esta prestigiosa institución.

También quiero agradecer a mi director del proyecto de titulación al Dr. Mario Audelo, de igual manera a mi asesor al Ing. Fabián Gunsha por su orientación, paciencia y dedicación durante todo este proceso. Gracias a su experiencia y sabiduría, para llevar a cabo mi proyecto de titulación.

Agradezco también a todos los ingenieros de la escuela de ingeniera automotriz que compartieron sus conocimientos para mi formación académica y profesional.

Marco

Quiero expresar mi gratitud a Dios, que me ha bendecido con fortaleza y salud para cumplir este objetivo que un día lo propuse como una meta y ahora es una realidad.

A la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO por darme la oportunidad de formar como profesional y de llenarme de orgullo de tan prestigiosa y noble institución.

Un agradecimiento al Dr. Mario Audelo y Ing. Fabián Gunsha, por su apoyo incondicional quienes con su conocimiento y experiencia supieron guiarme para poder culminar con éxito mi proyecto de titulación.

Finalmente quiero agradecer a todos los Ingenieros quienes intervinieron en mi formación académica y profesional como Ingeniero Automotriz.

Jorge

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento de problema.....	2
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Historia del vehículo eléctrico.....	4
2.2. Tipo de Vehículos eléctricos.....	5
2.2.1. <i>Vehículos eléctricos (VE)</i>	5
2.2.2. <i>Vehículos híbridos eléctricos (HEV)</i>	5
2.2.3. <i>Vehículos híbridos enchufable (PHEV)</i>	6
2.3. Partes del vehículo eléctrico.....	7
2.3.1. La transmisión de los vehículos eléctricos.....	7
2.3.2. Sistema de freno regenerativo.....	7
2.3.3. <i>La BMS (Battery Management System)</i>	7
2.3.4. <i>Batería Auxiliar</i>	8
2.3.5. <i>Inversor</i>	8
2.4. Estación de carga.....	9
2.4.1. <i>Niveles de carga</i>	9
2.4.1.1. <i>Carga Súper Lenta</i>	9
2.4.1.2. <i>Carga Lenta</i>	10

2.4.1.3.	<i>Carga Semi- Rápida</i>	10
2.4.1.4.	<i>Carga Rápida</i>	10
2.4.1.5.	<i>Carga Súper Rápida</i>	10
2.5.	Conectores de carga	10
2.5.1.	<i>Conector Tipo 1 SAE J1772-2009</i>	11
2.5.2.	<i>Conector Tipo 2 Mennekes</i>	11
2.5.3.	<i>Conector Tipo 3 Scame</i>	12
2.5.4.	<i>Conector Tipo 4 chademo</i>	12
2.6.	Radiación solar	13
2.6.1.	<i>Irradiancia e irradiación Solar</i>	13
2.6.1.1.	<i>Irradiancia Solar</i>	13
2.6.1.2.	<i>Irradiación solar</i>	14
2.6.2.	<i>Tipo de Irradiaciones solares</i>	14
2.6.2.1.	<i>Irradiación directa normal (DIN)</i>	14
2.6.2.2.	<i>Irradiación difusa horizontal (DHI o DIF)</i>	14
2.6.2.3.	<i>Irradiación global Horizontal (GHI)</i>	15
2.6.2.4.	<i>Radiación Ultravioleta</i>	16
2.7.	Energía fotovoltaica	17
2.7.1.	<i>La célula fotovoltaica</i>	17
2.7.1.1.	<i>Silicios monocristalinos (Mono C-Si)</i>	18
2.7.1.2.	<i>Silicios policristalinos (Poli C-Si)</i>	19
2.7.1.3.	<i>Silicios Amorfo (A - Si)</i>	19
2.8.	Configuración de los paneles solares	20
2.8.1.	<i>Configuración en serie</i>	20
2.8.2.	<i>Configuración en paralelo</i>	21
2.8.3.	<i>Conexión Mixta en Serie y Paralelo</i>	22
2.8.4.	<i>Controlador de carga solar</i>	22
2.8.4.1.	<i>Controlador de carga MPPT</i>	22
2.8.4.2.	<i>Controlador de carga PWM</i>	23
2.9.	Baterías o Acumuladores de Energía	23
2.9.1.	<i>Tipos de Baterías</i>	23
2.9.2.	<i>Plomo ácido (Pb-ácido)</i>	24
2.9.3.	<i>Níquel-hidruro metálico (Ni-MH)</i>	24
2.9.4.	<i>Las baterías de Fosfato de Hierro Litio (LiFePO4)</i>	24
2.9.5.	<i>Especificaciones individuales de la celda</i>	25
2.10.	Los Inversores DC/AC	26
2.10.1.	<i>Inversor de onda pura</i>	26

2.10.2.	<i>Inversor de onda rectificada</i>	26
2.10.3.	<i>Inversor Huawei SUN2000L-2KTL-LI</i>	27
2.11.	Equipos de protección	27
2.11.1.	<i>Breaker riel din 2P 20A</i>	27
2.12.	Estado de carga (SOC)	28
2.13.	Eficiencia coulombica	28
2.14.	Fuentes de poder de 220/120V a 24 V	29
2.15.	Conductores de cobre de tipo concéntrico de 600 V	29
2.16.	Arduino Nano	30
2.17.	Circuito Integrado LM2596	31
2.18.	Amplificador Operacional LM358	31
2.19.	Mosfet IRP450	32

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	33
3.1.	Métodos	33
3.1.1.	<i>Método de observación</i>	33
3.1.2.	<i>Método documental</i>	33
3.1.3.	<i>Método analítico</i>	33
3.1.4.	<i>Método sintético</i>	33
3.2.	Diseño metodológico	34
3.3.	Etapas de diseño general	34
3.3.1.	<i>Variables de diseño</i>	34
3.3.1.1.	Determinación del funcionamiento de las celtas fotovoltaica	35
3.3.1.2.	Elección de la metodología para el dimensionamiento	35
3.3.1.3.	Elección de la ubicación de la estación de carga	35
3.3.1.4.	Dimensionamiento de los componentes y elementos de la estación de carga	36
3.3.1.5.	Selección de perfil estructuras adecuado para su diseño	36
3.3.1.6.	Modulación en 3D de la estructura de soporte para los paneles solares	36
3.3.1.7.	Implementación de la estación fotovoltaica	36
3.3.1.8.	Pruebas	36
3.4.	Dimensionamiento de la estación de carga	37
3.4.1.	<i>Cálculo de la demanda diaria</i>	37
3.4.2.	<i>Cálculo de la demanda máximo</i>	37
3.4.3.	<i>Dimensionamiento de los paneles solares</i>	38
3.4.4.	<i>Cálculo del Inversor</i>	39

3.4.5.	<i>Selección de los conductores</i>	39
3.5.	Comprobación del dimensionamiento en el software PVsyst.	40
3.5.1.	<i>Ubicación e irradiación solar en PVsyst del sistema</i>	41
3.5.2.	<i>Orientación de la matriz fotovoltaica</i>	41
3.5.3.	<i>Dimensionamiento del Sistema fotovoltaico en PVsyst</i>	42
3.6.	Especificaciones de diseño de la estructura de soporte de la matriz fotovoltaica 43	
3.6.1.	<i>Especificación del diseño de los soportes inferiores de anclaje</i>	43
3.6.2.	<i>Especificación del diseño del soporte de la matriz fotovoltaica</i>	43
3.6.3.	<i>Especificación de las vigas de soporte de la matriz fotovoltaica</i>	44
3.6.4.	<i>Especificación de las vigas de soporte de la matriz fotovoltaica</i>	44
3.6.5.	<i>Especificaciones del diseño de la matriz fotovoltaica.</i>	45
3.7.	Diseño de la estructura fotovoltaica	45
3.7.1.	<i>Diseño de la estructura en un software CAD</i>	45
3.7.2.	<i>Obtención de análisis estático en el Software ANSYS.</i>	46
3.7.2.1.	<i>Mallado de la estructura Metálica</i>	47
3.7.2.2.	<i>Deformación total</i>	47
3.7.2.3.	<i>Deformación direccional</i>	48
3.7.2.4.	<i>Factor de seguridad</i>	48
3.8.	Diagrama unifilar	49
3.9.	Diseño de la Fuente	50
3.9.1.	<i>Circuito de activación</i>	51
3.9.2.	<i>Circuito de monitoreo</i>	52
3.9.3.	<i>Circuito de comparación</i>	53
3.10.	Construcción de la estación de carga fotovoltaica	54
3.10.1.	<i>Ubicación de la estación fotovoltaica</i>	54
3.10.2.	<i>Realización de la estructura metálica</i>	55
3.10.3.	<i>Colocación de los paneles solar flexibles policristalinos</i>	55
3.10.4.	<i>Conexión de los paneles solares en serie</i>	56
3.10.5.	<i>Protecciones para la instalación de la estación fotovoltaica</i>	57
3.10.5.1.	<i>Selección del portafusibles y fusible</i>	57
3.10.5.2.	<i>Selección de breakers 110 V</i>	58
3.10.5.3.	<i>Selección de breakers 220 V</i>	58
3.10.5.4.	<i>Selección de vatímetro Monofásico</i>	58
3.11.	Estado de carga (SOC) de una Batería LiFePO4	59
3.11.1.	<i>Recolección de datos de carga y descarga del pack de batería del vehículo fórmula SAE</i>	60
3.12.	Cálculo de la eficiencia coulombica de la batería (LiFePo4)	62

3.13.	Topología de la instalación de la estación fotovoltaica	64
-------	---	----

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	66
4.1.	Prueba Fotovoltaica.....	66
4.2.	Producción energética solar.....	67
4.2.1.	<i>Interpretación de la radiación solar con respecto a la producción fotovoltaica implementada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo</i>	67
4.2.2.	<i>Producción Fotovoltaica con presencia de lluvia</i>	68
4.2.3.	<i>Producción Fotovoltaica con presencia de nube</i>	68
4.2.4.	<i>Producción Fotovoltaica en pleno sol.....</i>	69
4.3.	Producción energética del sistema anual.....	69
4.4.	Estado de carga (SOC) de una Batería LiFePo4.....	70
4.5.	Eficiencia coulombica de la batería (LiFePo4).....	70
4.6.	Análisis de costo	71
4.6.1.	<i>Tiempo de recuperación de la inversión de la estación fotovoltaica.....</i>	72

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
5.1.	Conclusiones.....	¡Error! Marcador no definido.
5.2.	Recomendaciones.....	75

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Eficiencia de celdas fotovoltaicas	20
Tabla 2-2:	Especificación de las baterías LiFePO4	25
Tabla 3-1:	Especificación técnica del panel solar.....	38
Tabla 3-2:	Especificaciones técnicas del inversor hibrido de 2kva	39
Tabla 3-3:	Porcentaje de caída de tensión entre componentes.....	40
Tabla 3-4:	Selección del calibre de cable entre componentes.....	40
Tabla 3-5:	Especificación de la platina de soporte.	43
Tabla 3-6:	Especificación del soporte para la matriz fotovoltaica.....	43
Tabla 3-7:	Especificación de las vigas de soporte de la matriz fotovoltaica	44
Tabla 3-8:	Especificación del soporte de la matriz fotovoltaica	44
Tabla 3-9:	Especificación panel fotovoltaico.....	45
Tabla 3-10:	Descarga del pack de la batería (LiFePo4).....	61
Tabla 3-11:	Carga y descarga del pack de la batería (LiFePo4)	62
Tabla 4-1:	Costo de los componentes de la estación fotovoltaica.	71
Tabla 4-2:	Tiempo de recuperación de inversión de la producción generada anual.....	72

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Primer vehículo eléctrico	4
Ilustración 2-2:	Primer vehículo eléctrico taxi	4
Ilustración 2-3:	Vehículo eléctrico	5
Ilustración 2-4:	Esquema del funcionamiento vehículo (HEV).....	6
Ilustración 2-5:	Esquema de funcionamiento vehículo (PHEV).....	6
Ilustración 2-6:	Freno regenerativo.....	7
Ilustración 2-7:	La BMS	8
Ilustración 2-8:	Inversor de Toyota Highlander	8
Ilustración 2-9:	Estación de carga.....	9
Ilustración 2-10:	Conector Tipo 1 J1772	11
Ilustración 2-11:	Conector Tipo 2 Menekes	11
Ilustración 2-12:	Conector Tipo 3 Scame	12
Ilustración 2-13:	Conector Tipo 4 chademo	12
Ilustración 2-14:	Radiación solar (GHI)	13
Ilustración 2-15:	Radiación solar directa (DIN)	14
Ilustración 2-16:	Radiación solar difusa horizontal (DHI)	15
Ilustración 2-17:	Radiación solar global horizontal (GHI) anual del ecuador.....	16
Ilustración 2-18:	Tipo de radiaciones ultravioleta (A,B,C)	17
Ilustración 2-19:	Silicio “tipo n” en la izquierda y “tipo p” en la derecha	18
Ilustración 2-20:	Celda monocristalina izquierda.....	19
Ilustración 2-21:	Panel policristalino derecha	19
Ilustración 2-22:	Celda fotovoltaica Amorfo.....	20
Ilustración 2-23:	Conexión en serie paneles solares	21
Ilustración 2-24:	Configuración el paralelo.....	21
Ilustración 2-25:	Configuración mixta paneles solares.....	22
Ilustración 2-26:	Controlador de carga MPPT.....	23
Ilustración 2-27:	Controlador de carga PWM.....	23
Ilustración 2-28:	Batería de Plomo ácido	24
Ilustración 2-29:	Pack de baterías de Ni-MH	24
Ilustración 2-30:	Batería LiFePO4.....	25
Ilustración 2-31:	Inversor de onda pura.....	26
Ilustración 2-32:	Inverso de onda Cuadrada	26
Ilustración 2-33:	Inversor Híbrido Huawei.....	27
Ilustración 2-34:	Breaker riel din 2P 20A.....	28

Ilustración 2-35:	Fuente conmutada	29
Ilustración 2-36:	Conductores concéntrico de 600 V	30
Ilustración 2-37:	Arduino Nano.....	30
Ilustración 2-38:	Circuito integrado LM 2596.....	31
Ilustración 2-39:	Amplificador operacional.....	31
Ilustración 2-40:	Mosfet IRP450	32
Ilustración 3-1:	Diseño general de la estación de carga.....	34
Ilustración 3-2:	Ubicación exacta para el proyecto.....	35
Ilustración 3-3:	Datos meteorológicos de la ciudad de Riobamba Epoch.....	41
Ilustración 3-4:	a) Grado de inclinación y orientación b) Perdida de radiación solar.....	42
Ilustración 3-5:	Dimensionamiento del sistema en PVsyst.....	42
Ilustración 3-6:	Modelación de la estructura Fotovoltaica en SolidWorks.....	46
Ilustración 3-7:	Estructura importada a ANSYS Workbench R2	46
Ilustración 3-8:	Espectro de medición de la calidad de mallado en ANSYS.....	47
Ilustración 3-9:	Valor de la calidad de mallado	47
Ilustración 3-10:	Análisis de deformación total en ANSYS	48
Ilustración 3-11:	Análisis de la deformación direccional en ANSYS	48
Ilustración 3-12:	Resultado del factor de seguridad en ANSYS.....	49
Ilustración 3-13:	Diagrama unifilar de la estación de carga SAE.....	49
Ilustración 3-14:	Fuente de alimentación para la batería LiFePo4.	50
Ilustración 3-15:	Circuito de Activación de la fuente de Alimentación	51
Ilustración 3-16:	Divisor de voltaje	51
Ilustración 3-17:	Circuito de monitoreo.....	52
Ilustración 3-18:	Circuito de Comparación de Voltaje	53
Ilustración 3-19:	Circuito final de la fuente de alimentación para la batería LiFePO4.	54
Ilustración 3-20:	Ubicación de los componentes de la estación de carga.....	54
Ilustración 3-21:	Construcción de la estructura de soporte de acero	55
Ilustración 3-22:	Colocación de los paneles solar a la estructura metálica.....	56
Ilustración 3-23:	Conexión en serie de los paneles solares.....	56
Ilustración 3-24:	Medición de voltaje de la matriz fotovoltaica	57
Ilustración 3-25:	Protecciones del sistema fotovoltaico	59
Ilustración 3-26:	Curva Característica de la batería (LiFePO4)	60
Ilustración 3-27:	Curva de descarga (A).....	63
Ilustración 3-28:	Topología de la estación fotovoltaica.....	65
Ilustración 4-1:	Prueba Fotovoltaica.....	66
Ilustración 4-2:	Radiación solar vs Producción fotovoltaica del mes de enero.	67
Ilustración 4-3:	Producción diaria con presencia de lluvia.....	68

Ilustración 4-4:	Producción diaria con presencia de nube	69
Ilustración 4-5:	Producción diaria con presencia de sol	69
Ilustración 4-6:	Producción anual del sistema fotovoltaico	70

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** ESPECIFICACIÓN DE LA PLATINA ESTRUCTURAL
- ANEXO B:** ESPECIFICACIÓN DEL PERFIL ESTRUCTURAL ÁNGULO "L" DOBLADO
- ANEXO C:** ESPECIFICACIÓN DEL PERFIL TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO
- ANEXO D:** ESPECIFICACIÓN DEL PERFIL ESTRUCTURAL TEES "T"
- ANEXO E:** CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA
- ANEXO F:** INSTALACIÓN DE LOS PANELES SOLARES A LA ESTRUCTURA METÁLICA
- ANEXO G:** UBICACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA
- ANEXO H:** REDICIÓN SOLAR POR MES EN LA ESPOCH
- ANEXO I:** DISEÑO FINAL DEL CIRCUITO DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE LA BATERÍA LIFEPO4
- ANEXO J:** DISEÑO FINAL DEL CIRCUITO DE LA FUENTE ALIMENTACIÓN DE LA BATERÍA (LIFEPO4) EN EL SOFTWARE PROTEUS
- ANEXO K:** DISEÑO DE LA PLACA PCB EN PROTEUS
- ANEXO L:** CÓDIGO DEL MICROPROCESADOR

RESUMEN

En la Escuela de Ingeniería Automotriz no cuenta con una estación de carga fotovoltaica que permita abastecer de energía para la batería fosfato de hierro y litio (LiFePO₄) de un prototipo de vehículo de competición fórmula SAE. Por lo tanto, el objetivo en el presente trabajo es realizar el diseño y la implementación de una estación de carga mediante paneles solares para el vehículo fórmula SAE de la Escuela de Ingeniería Automotriz en la ciudad de Riobamba. La metodología empleada para la ejecución de este proyecto es el método analítico y sintético. A través del método analítico se realizó el dimensionamiento eficiente para una matriz fotovoltaica, mediante el método sintético, se realizó un estudio profundo del comportamiento de los componentes adecuados para la implementación de una estación de carga, otorgando fiabilidad y seguridad en la carga del vehículo de la fórmula SAE. Se realizaron pruebas de funcionamiento durante el mes de enero del 2024, considerando tres días específicos: soleado, nublado y lluvioso. Bajo estas condiciones se procedió a medir el voltaje, corriente y potencia tanto de entrada como la salida del inversor Huawei 2KTL, logrando obtener una carga adecuada para la batería (LiFePO₄) del vehículo fórmula SAE. Se implementó una estación de carga para la fórmula SAE, incrementando la capacidad de carga de dos módulos de batería (LiFePO₄) hasta obtener el voltaje adecuado, con una intensidad de corriente que disminuye progresivamente conforme el umbral de carga se acerca al 100%, con el propósito de alargar la vida útil de la batería mediante una carga lenta a una temperatura dentro de rango adecuado.

Palabras clave: <BATERÍA LIFEP04> <ESTACIÓN DE CARGA> <PANELES SOLARES>
<INVERSOR HUAWEI 2KTL> <CONMUTADO CON LA RED ELÉCTRICA (ON GRID)>
<ESTADO DE CARGA (SOC)> < CARGA FOTOVOLTAICA >

1097-DBRAI-UPT-2024



SUMMARY

The automotive Engineering career does not have a photovoltaic charging station to supply energy for the lithium iron phosphate battery (LiFePO₄) of a prototype of the SAE formula competition vehicle. Therefore, the objective of this work is to design and implement a charging station using solar panels for the SAE formula vehicle of Automotive Engineering career in Riobamba city. The methodology used for the execution of this project is the analytical and synthetic method. Through the analytical method, an efficient sizing for a photovoltaic array was carried out; through the synthetic method, a deep study of the behavior of the components suitable for the implementation of a charging station was carried out, providing reliability and safety in the charging of the SAE formula vehicle. Operation tests were carried out during the month of January 2024, considering three specific days: sunny, cloudy and rainy. Under these conditions we proceeded to measure the voltage, current and power both input and output of the Huawei 2KTL inverter, achieving an adequate charge for the battery (LiFePO₄) of the SAE formula vehicle. A charging station for the SAE formula was implemented, increasing the charging capacity of two battery modules (LiFePO₄) until the appropriate voltage is obtained, with a current intensity that progressively decreases as the charging threshold approaches 100%, with the purpose of extending the battery life by slow charging at a temperature within the appropriate range.

Keywords: <LIFEPO4 BATTERY> <CHARGE STATION> <SOLAR PANELS> <HUAWEI 2KTL INVERTER> <(ON GRID) SWITCHING> <STATE OF CHARGE (SOC)> <PHOTOVOLTAIC CHARGING>



Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema Mgs.

C.I. 0603357062

INTRODUCCIÓN

El avance de la tecnología automotriz se ha extendido para la innovación de nuevas fuentes de combustible por la necesidad de optimizar y reducir el consumo de combustible fósiles derivados del petróleo, además obteniendo un impacto positivo en medio ambiente. Actualmente existe vehículos con tecnología híbrida y eléctricos, que combinan la implementación de un motor convencional de combustible interna.

Los vehículos eléctricos ofrecen mejor prestación en torque y potencia que un vehículo convencional, sin embargo, para cargar los packs de baterías de vehículo se requiere desarrollar sistemas de cargadores especiales y estaciones de carga, además por poseer un sistema de alto voltaje se debe tomar precauciones al momento de manipular la carga, para evitar accidentes.

El desarrollo de este proyecto se centra en una implementación de una estación de carga fotovoltaica para el prototipo de la fórmula SAE de forma eficiente y sostenible, el que consta de dos packs de baterías de fosfato de hierro y litio (LiFePo4) de 16 celdas. Además la estación puede ser ubicada en cualquier lugar donde exista iluminación solar.

Con el objetivo de determinar las características de la carga que proporciona la estación en los diferentes estados climáticos, además su funcionamiento de los paneles solares para el vehículo fórmula SAE.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento de problema

La tendencia progresiva en la industria automotriz hacia la utilización de vehículos eléctricos cada vez es mayor, el inconveniente principal se centra en la falta de una adecuada infraestructura de carga que garantice la carga de las baterías del Fórmula SAE. Para la generación de energía eléctrica es complicado por la presencia de cambios climáticos por la escasez de caudal en los ríos afectan el funcionamiento de las hidroeléctricas para la obtención de energía, una solución para la obtención de energía eléctrica es mediante los generadores termoeléctricos uno de los inconvenientes de estos sistemas es la generación de grandes cantidades de emisiones contaminantes. Como una propuesta de mitigación es la generación de energía renovable más amigable con el medio ambiente, entre ellas es la implementación de energía fotovoltaica teniendo en consideración, la capacidad de cargar los packs de baterías de los vehículos eléctricos, que en el caso del proyecto se utilizará en el vehículo prototipo Fórmula SAE.

1.2. Justificación

El presente proyecto técnico tiene como finalidad, diseñar y construir una estación de carga y satisfacer la necesidad de carga del vehículo fórmula SAE de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH, a diferentes eventos e invitaciones locales, regionales y nacionales. Por lo que se busca nuevas alternativas de carga por celdas fotovoltaicas para la reducción de costos no programados por el uso de alto consumo de energía eléctrica doméstica.

Se procedió a diseñar y construir una estación de cargar mediante celdas fotovoltaicas para satisfacer la necesidad del vehículo fórmula SAE de una forma mucho más amigable para el medio ambiente, eficiente y ecológico.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar y construir una estación de carga para el vehículo fórmula SAE mediante paneles solares a partir de simulaciones y través de cálculos matemáticos para generar una carga estable para el pack de baterías.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica mediante libros, tesis, artículos científicos, etc. Recopilando información de paneles solares, estación de carga eléctrica a implementarse para determinar la producción de carga estable al pack de batería fórmula SAE.
- Analizar un dimensionamiento correcto de la estación de carga con paneles solares mediante el cálculo matemático que garantizara una carga estable evitando daños en las baterías de almacenamiento.
- Implementar el sistema de carga aplicado para el vehículo fórmula SAE mediante elementos y circuitos de fácil fabricación para las diferentes conexiones de la estación de carga.
- Realizar pruebas para la comprobación del funcionamiento de la estación fotovoltaica para el vehículo de la fórmula SAE para una correcta implementación de la estación.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Historia del vehículo eléctrico

Los vehículos eléctricos es algo innovador del siglo XXI, pero nunca más lejos de la realidad. Al principio del siglo XIX, tras la lenta evolución del vehículo a vapor surgió un gran competidor en el mundo automovilístico el vehículo eléctrico.

En 1838 Robert Davidson logro mover una locomotora a 6 km/h el primer vehículo cien por ciento eléctrico.



Ilustración 2-1: Primer vehículo eléctrico

Fuente:(Díez 2019).

En 1897 surgieron del primer vehículo eléctrico taxi en la ciudad de Nueva York de la empresa “Electric Vehicule Company”



Ilustración 2-2: Primer vehículo eléctrico taxi

Fuente:(Díez 2019).

2.2. Tipo de vehículos eléctricos

Los vehículos eléctricos (VE) se clasifican en dos grandes grupos: los vehículos híbridos y vehículos eléctricos, ya que están conformados por un motor eléctrico que abarcan diferentes tecnologías tanto de corriente continua como alterna (Duque & Rocano, 2018, p.3).

2.2.1. Vehículos eléctricos (VE)

Los vehículos eléctricos (VE) usan la energía química acumulada en el pack de baterías recargables, donde esta propulsa con la fuerza que produce el motor abastecido por energía eléctrica, estos tipos de motores son instalados en sistemas eléctrico del vehículo para poder recargar los packs de batería mientras se encuentra detenido. Además, el motor electrónico transforma la energía eléctrica en energía mecánica mediante la presencia del campo magnético, el cual contiene en su parte interior un conductor que tiene movimiento dentro del campo magnético (Duque y Rocano, 2018, p.1).

Los Vehículos Eléctrico utilizan únicamente motores eléctricos para su tracción y como fuente de energía las baterías. Donde se tiene varios beneficios sobre los vehículos de combustión interna (MCI) e híbridos (HEV), poseen mayor eficiencia, disminución de contaminación acústica y emisiones mínimas de CO₂. Además, tiene una eficiencia del 60% al 70% frente a los vehículos MCI, que es eficiente del 15% al 18% (Salazar, 2022, p.33).



Ilustración 2-3: Vehículo eléctrico

Fuente: (Toyota, 2023)

2.2.2. Vehículos híbridos eléctricos (HEV)

Los vehículos híbridos (HEV) disponen de dos tipos de motores donde su primer motor es un (MCI), combinado con un motor eléctrico de imanes permanentes que con esta tecnología permite

auto recargarse recuperando la energía con el freno regenerativo. El motor eléctrico es utilizado para velocidades reducidas como en vías urbanas.

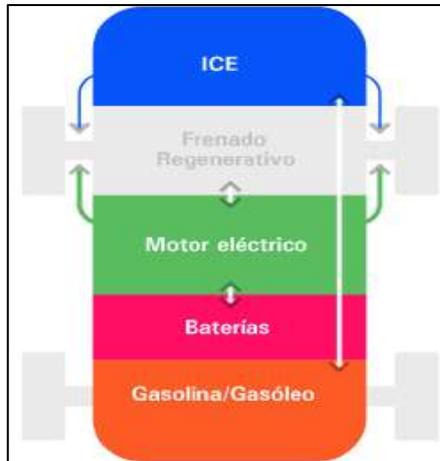


Ilustración 2-4: Esquema del funcionamiento vehículo (HEV)

Fuente: (Ruiz, Paula, 2019)

2.2.3. Vehículos híbridos enchufable (PHEV)

Los vehículos híbridos (PHEV) disponen de un motor de combustión interna (MCI) en combinación con motor eléctrico, para recargar sus baterías se utiliza a través de la red eléctrica o estaciones de carga.

El motor eléctrico y el motor de combustión interna impulsan al automóvil mediante la combinación de la configuración paralela o en serie. Donde la propulsión únicamente lo realiza con un motor eléctrico y con un motor (MCI) que favorece la autonomía mediante un regenerador cuando las configuraciones en serie. (Macias, 2022, p.35)

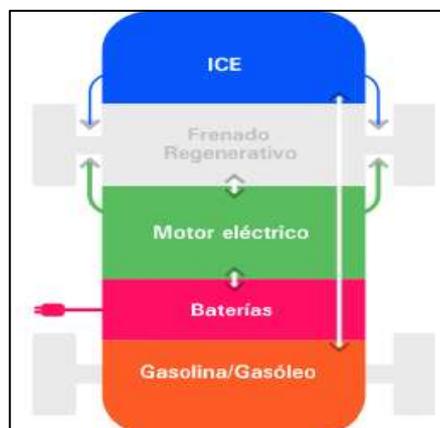


Ilustración 2-5: Esquema de funcionamiento vehículo (PHEV)

Fuente: (Ruiz, Paula, 2019)

2.3. Partes del vehículo eléctrico

Tras la evolución de los vehículos eléctricos se expondrá las partes principales que hacen más eficaz y seguro la condición de este tipo de vehículos.

2.3.1. La transmisión de los vehículos eléctricos

La transmisión de un vehículo tiene la finalidad de transmitir la potencia de rotación generada por un motor de combustión interna o un motor eléctrico a través de un conjunto de engranajes a un diferencial que conforma de planetarios y un solar que está conectado y encargado de transmitir el giro así las ruedas de un vehículo.

Los vehículos eléctricos tienen un mayor rango de revoluciones donde se puede variar la velocidad con mayor rapidez por esa razón no es necesario que el sistema de transmisión invierta el movimiento, simplemente es necesario utilizar un inversor de corriente.(Pilatax 2018)

2.3.2. Sistema de freno regenerativo

Un sistema de freno regenerativo es un dispositivo que aprovecha la energía cinética generado por el frenado y la transforma en energía. (Valladolid, Calle y Guiracocha 2023)



Ilustración 2-6: Freno regenerativo

Fuente:(Valladolid, Calle y Guiracocha 2023)

2.3.3. La BMS (Battery Management System)

La BMS es un dispositivo de seguridad que tiene la función de censar el estado y funcionamiento de la batería de alta tensión para evitar accidentes o daños materiales en el vehículo. También nos permite alargar la vida útil de las baterías.(Marín Fernández 2018)



Ilustración 2-7: La BMS

Fuente:(Marín Fernández 2018)

2.3.4. Batería Auxiliar

La batería auxiliar nos permite proporcionar la energía necesaria para los componentes electrónicos y los accesorios del vehículo por lo general se usan batería de plomo ácido estándar de 12 voltios.

2.3.5. Inversor

Un inversor tiene la función de transformar de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC) también se puede y transformar inversamente (AC a DC). Los vehículos eléctricos no cuentan con un alternador.



Ilustración 2-8: Inversor de Toyota Highlander

Fuente:(Marín Fernández 2018)

2.4. Estación de carga

Una estación de carga para los vehículos eléctricos, también conocida como electrolinerar tiene la misma función de una estación de gasolina, con una diferencia que este suministrar energía a los vehículos eléctricos.



Ilustración 2-9: Estación de carga

Fuente: (Xavier y Buele 2018)

Una electrolinerar se puede implementar tanto en hogares como en lugares públicos con una finalidad de brindar el servicio de recarga de baterías para los vehículos eléctricos (Xavier y Buele 2018, p.38).

2.4.1. Niveles de carga

Los niveles de carga están establecidos bajo estándares internacionales del sistema de carga de vehículos eléctricos conductivos IEC 61851-1. Los niveles de carga se interrelacionan las configuraciones respecto al voltaje y el corriente que se utilizan, también se relacionan con la potencia de una electrolinerar que puede proveer a las baterías del vehículo eléctrico.

2.4.1.1. Carga Súper Lenta

Este sistema de carga usa una potencia de 1.2 KW, se puede emplear conexiones eléctricas de corriente alterna (AC) de 110V. El tiempo estimado de recargar las baterías de un vehículo eléctrico de 24KWh de capacidad es de doce horas.

2.4.1.2. Carga Lenta

Este sistema de carga es el más utilizado y recomendado por los fabricantes ya que nos permite realizar la instalación en hogares y lugares públicos y privado. Este sistema de carga trabaja con corriente alterna (AC) monofásico o bifásico de 120 voltios hasta 240 voltios con una potencia máxima de 6.6KW.

2.4.1.3. Carga Semi- Rápida

Este sistema de carga solo es aceptable para algunos tipos de vehículos, ya que trabaja con corriente alterna (AC) trifásica, y tiempo estimado de recarga para un vehículo promedio es de tres a cuatro horas empleando una potencia de 6KW a 11KW siendo una carga semi- rápida respectivamente.

2.4.1.4. Carga Rápida

Este sistema de carga es muy recomendado por los fabricantes de vehículos eléctricos, el tiempo empleando para recargar las baterías es de diez a treinta minutos esto depende del tipo de cargador y la potencia adquirida por el vehículo. La potencia de este sistema de carga está entre 43Kw a 150KW.

2.4.1.5. Carga Súper Rápida

Este tipo de sistema de carga está enfocado para los autobuses ya que la potencia de demanda es muy elevada y su tiempo de carga es de cinco a diez minutos para tener una carga completa de sus baterías al 100%

2.5. Conectores de carga

Los conectores para los vehículos eléctricos existen una variedad de gama en el mercado, y se clasifican por distintos tipos de alimentación (AC o DC), monofásico, trifásico. La norma IEC 62196 se basa en algunas consideraciones y clasificaciones de los conectores según el tipo de alimentación si AC (IEC 62196-2) o DC (IEC 62196-3).

2.5.1. Conector Tipo 1 SAE J1772-2009

Este tipo de conector está diseñado para un sistema monofásico AC, con tensiones entre 120 y 240 V y una potencia hasta 16,8Kw y permiten realizar una carga lenta o semi rápida. Este conector cuenta con 5 pines, 2 pines para alimentación y 2 pines para comunicación entre el cargador y el vehículo eléctrico. Son aceptados mayoritariamente en mercados americanos y asiáticos en autos como Chevrolet, Renault, Toyota, Tesla entre otros. (Xavier y Buele 2018, p.41)



Ilustración 2-10: Conector Tipo 1 J1772

Fuente: SmartWallboxes,2022

2.5.2. Conector Tipo 2 Mennekes

Los conectores Mennekes están diseñados para sistemas monofásicos o trifásicos con tensiones entre 100 a 500V y una potencia hasta 43,5kW en corriente AC. Este tipo de conector está contemplado de 7 pines, 4 pines de alimentación, 1 para conexión a tierra, 2 para comunicaciones. Este conector se encuentra en mercados europeos en marcas de autos como Renault, BMW, Porsche (L. Martinez y H. Quito 2022, p.36)



Ilustración 2-11: Conector Tipo 2 Mennekes

Fuente: SmartWallboxes,2022

2.5.3. *Conector Tipo 3 Scame*

Permite conexiones monofásicas y trifásica con una tensión de 100 a 500V con una capacidad de corriente máxima de 32 A, con un suministro de potencia hasta 22kW, cuenta con 5 a 7 pines según el fabricante, están distribuidos para tensión monofásica o trifásica, comunicación a red, conexión a tierra. (L. Martinez y H. Quito 2022, p.37)



Ilustración 2-12: Conector Tipo 3 Scame

Fuente: SmartWallboxes,2022

2.5.4. *Conector Tipo 4 chademo*

Es un Conector de carga rápidas en corriente continua DC con una intensidad de corriente máxima de 200A y una potencia hasta 62,5kW. Consta de 10 pines ,2 de alimentación, para comunicaciones entre el vehículo y el cargador y señalización y uno sin asignación de uso. Es de origen japonés se emplean en marcas como Toyota, Mitsubishi, Nissan entre otras.(Xavier y Buele 2018, p.37)



Ilustración 2-13: Conector Tipo 4 chademo

Fuente: SmartWallboxes,2022

2.6. Radiación solar

La radiación solar es el efecto que sucede sobre la superficie del planeta tierra que varía según la altitud geográfica, horas del día y épocas del año. La radiación fuera de la atmosfera poder ser constante y recibe el nombre de constante solar con unos valores de radiación de $(1368 \pm 0.65 \text{ W/m})$. A demás al atravesar la atmosfera de la tierra la radiación puede ser absorbida o redireccionada, la capa de ozono es la encargada de absorber las radiaciones ultravioletas, los vapores de H_2O y dióxidos de carbono de CO_2 de la radiación visible e infrarrojas. (Vásquez 2019)

La irradiación normal directa (DNI) es la radiación que atraviesa sin interacción con la capa de ozono, mientras la que es redireccionada por el efecto de la atmosfera o es reflejada por la superficie de la tierra o suelo se la determina como irradiación horizontal difusa (DHI). La Radiación global horizontal (GHI) es la suma los componentes (DHI y DNI). (Diego y Freddy 2019)

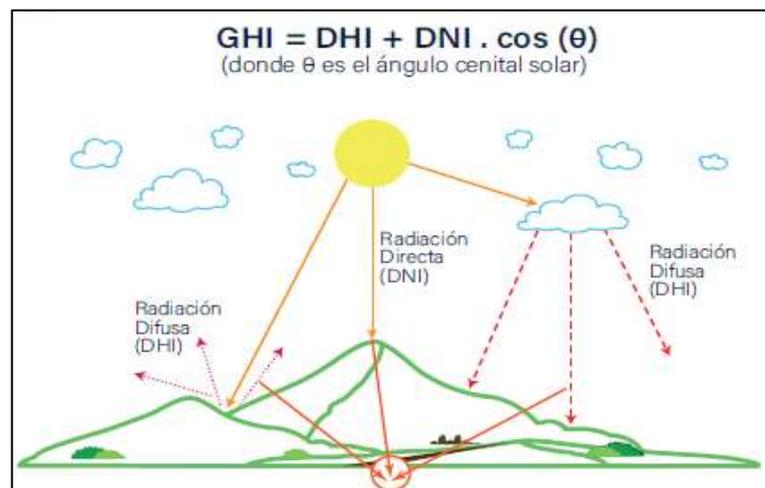


Ilustración 2-14: Radiación solar (GHI)

Fuente:(Diego y Freddy 2019)

2.6.1. Irradiancia e irradiación Solar

2.6.1.1. Irradiancia Solar

La irradiancia es la intensidad de radiación solar que incide instantánea por la unidad de superficie. Las unidades de medida es el sistema internacional es el $\left(\frac{W}{m^2}\right)$, también utilizado $\left(\frac{KW}{m^2}\right)$

2.6.1.2. Irradiación solar

La irradiación solar es la magnitud de energía que incide por la unidad de superficie de radiación solar. La irradiación puede ser obtenida mediante cálculos analíticos al integrar la irradiancia en función del tiempo, representando el área bajo la curva. Las unidades utilizadas es el sistema internacional medida en kilowatt por hora $\left(\frac{\text{KW}}{\text{h}}\right)$ o por metro cuadrado por la unidad del tiempo $\left(\frac{\text{KW}}{\text{m}^2} \text{ Día}\right)$ o se puede representar en las unidades $\left(\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \text{ Día}\right)$. (Vásquez 2019)

2.6.2. Tipo de Irradiaciones solares

2.6.2.1. Irradiación directa normal (DIN)

Es la energía que traspasa la atmosfera terrestre que no sufre redireccionamiento ya sea por las nubes, donde la radiación solar llega a la tierra en un trayecto directo desde el sol. Además, se utiliza el instrumento de medición especiales cómo pirheliómetro que facilita la medición de irradiación solar. (Vásquez 2019)

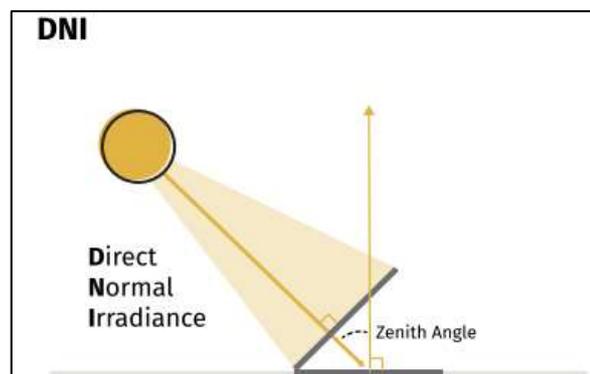


Ilustración 2-15: Radiación solar directa (DIN)

Fuente: (SolarAnywhere 2017)

2.6.2.2. Irradiación difusa horizontal (DHI o DIF)

Es la energía que traspasa la atmosfera terrestre que sufre redireccionamiento por efecto de la atmosfera, que pueden ser las nubes, el vapor de agua y aerosoles que absorben y reflejan la radiación solar difundiéndola por la atmosfera. (SolarAnywhere 2017)

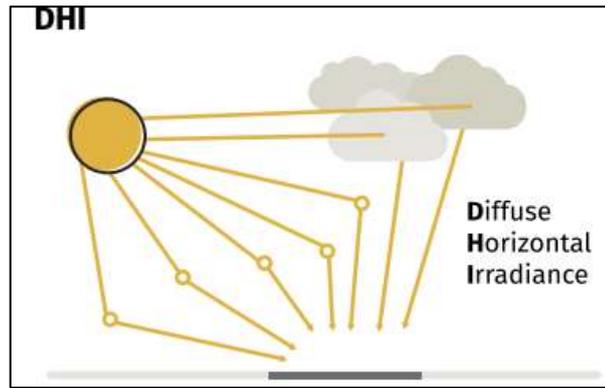


Ilustración 2-16: Radiación solar difusa horizontal (DHI)

Fuente: (SolarAnywhere 2017)

2.6.2.3. Irradiación global Horizontal (GHI)

Irradiación global horizontal es la energía de radiación solar total que se la puede obtener mediante cálculos analíticos entre la relación DHI, DNI y el ángulo Zenith.

$$GHI = DHI + DNI * \text{Cos}(\theta_{\text{zenith}})$$

Donde:

GHI = Irradiación global Horizontal

DHI = Irradiación difusa horizontal

DNI = Irradiación directa normal

DNI = Irradiación directa normal

θ_{zenith} = Es el ángulo cenita solar

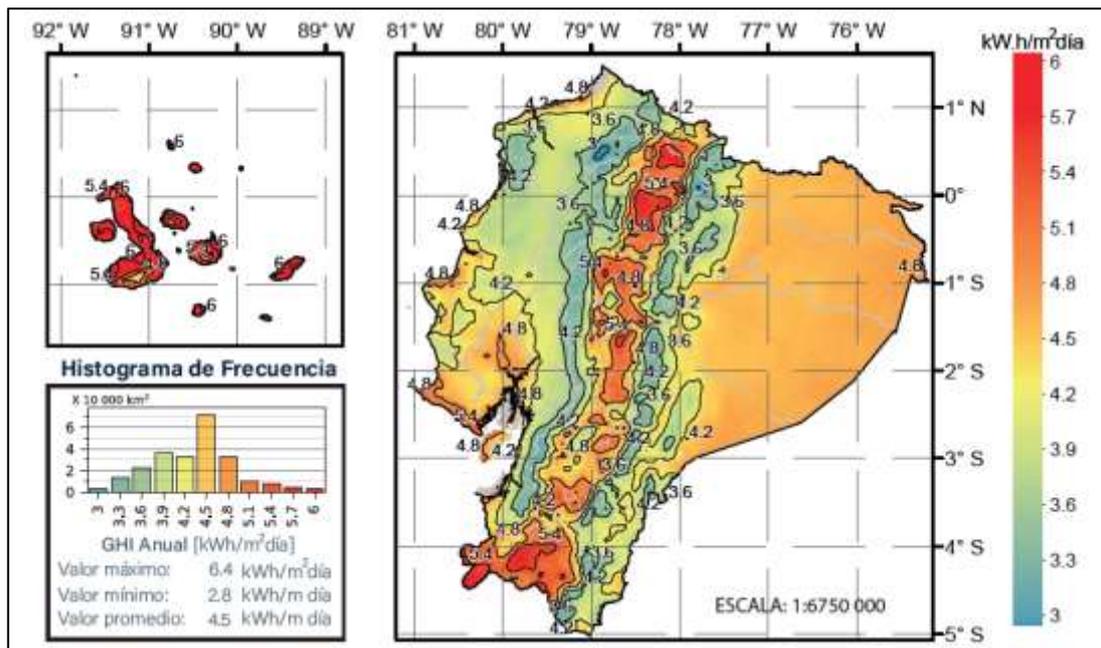


Ilustración 2-17: Radiación solar global horizontal (GHI) anual del ecuador

Fuente: (Diego y Freddy 2019)

2.6.2.4. Radiación Ultravioleta

La radiación ultravioleta proviene directamente del sol, generando la radiación electromagnética con longitudes de ondas entre 100 a 400 Nm. Se tiene 3 tipos de radiaciones ultravioletas que son A, B y C. Donde la radiación ultravioleta tipo C (UVC) tiene de longitud de onda ente 100 a 279 n, teniendo más grado energético de las tres y es disminuida por completo por la capa de ozono de la atmosfera de la tierra. (Diego y Freddy 2019)

La radiación ultravioleta de tipo A (UVA) tienen como longitudes de onda entre (320 a 400 nm) donde su radiación no es absorbida por la capa de ozono y La radiación ultravioleta de tipo B (UVB) tienen como longitudes de (280 a 320 nm) donde la radiación tipo B es absorbidas en su gran mayoría por la capa de ozono, pero una parte llega a tener contacto con la superficie terrestre. Estos tipos de radiación ultravioleta son las responsables de provocar daños a los seres vivos y degradación de materiales. (Diego y Freddy 2019)

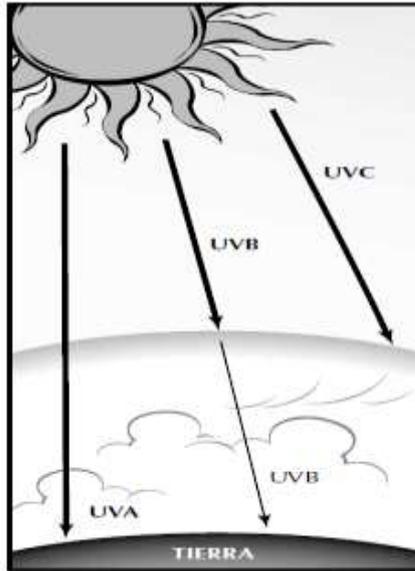


Ilustración 2-18: Tipo de radiaciones ultravioleta (A,B,C)

Fuente:(EPA 2001)

2.7. Energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica consiste en la captación directa de la radiación del sol para transformarla en electricidad para realizar esta conversión se utiliza células solares conectadas entre sí que da lugar a lo que se denomina módulo fotovoltaico, además la agrupación de varios módulos se constituye generador fotovoltaico. Las aplicaciones de la energía solar fotovoltaicas es donde los lugares no tienen sistema de interconexión eléctrica o en países desarrollados enfocados para estaciones de carga con energía renovable.

La energía fotovoltaica posee componentes básicos como el generador fotovoltaico de paneles solares, para su almacenamiento de energía se utiliza baterías, reguladores de cargas e inversores, módulos de monitoreo de energía de paneles solares. (Castillo 2021)

2.7.1. La célula fotovoltaica

Una célula fotovoltaica está constituida por dos capas de material semiconductor que se han introducidos impurezas conocido como el proceso de dopado. El material más utilizado es el caso del silicio para su fabricación, sus átomos están constituidos por cuatro electrones de valencia que se combinan a los átomos vecinos por medio de enlaces covalentes, para alcanzar así el octeto estable. Mediante el dopado se imprimen a la estructura del silicio átomos de mayor a menor números de electrones de valencia, a lo que resulta un material con exceso de portadores electrones libre (carga negativa) o huecos (positivas).

Formando semiconductores tipo “p o n” de ese modo si existe un exceso de electrones y huecos se concentra el material disponible lo que incrementa la conductividad. El dopaje de tipo P tiene una gran disponibilidad de agujeros disponibles se tendrá una (carga neta positiva) y los semiconductores que contienen dopaje de tipo “n” contiene un mayor número de electrones disponible por lo tanto resulta una (carga neta negativa). La unión “p-n” crea el campo eléctrico en el interior del semiconductor, lo que permite canalizar la dirección de la fotocorriente que produce la celda fotovoltaica. La corriente directa se direcciona a cada lado de la celda a los electrodos de metal donde es entregada a la salida de los contactos para ser consumida por una carga eléctrica. (Castillo 2021)

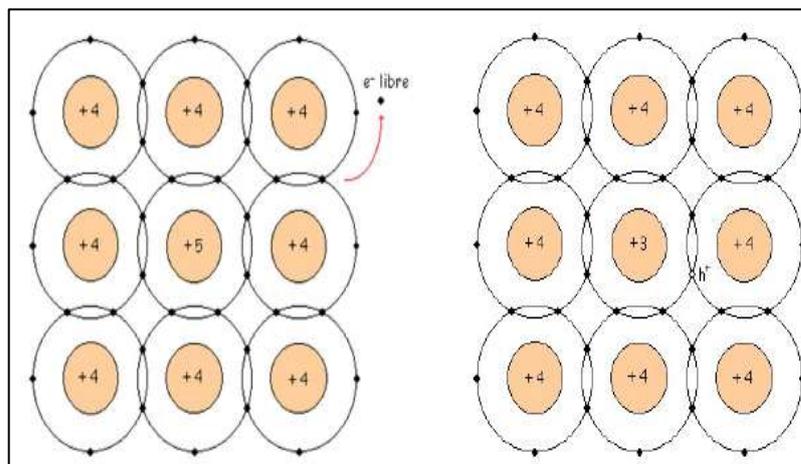


Ilustración 2-19: Silicio “tipo n” en la izquierda y “tipo p” en la derecha

Fuente: (Castillo 2021)

En la actualidad existen varios tipos de tecnología donde en el mercado está dominado por celdas (FV) de silicio cristalino casi con un 80%, ya sea policristalino o monocristalino. El 20% del mercado está constituido por módulos de capa fina (silicio Amorfo, CIGS y CdTe). (Raya 2022)

2.7.1.1. Silicios monocristalinos (Mono C-Si)

Las celdas Fotovoltaica monocristalinas está constituida con estructuras cristalinas en una sola dirección cuenta con un alto grado de orden en su estructura atómica sobre toda la celda (FV). Está formado por únicamente un cristal de grandes dimensiones que es dividida por finas láminas brindando un superior rendimiento en bajas condiciones y su vida útil es más prolongada por lo efectos de tu pureza, su color característico es el azul uniformemente.



Ilustración 2-20: Celda monocristalina izquierda

Fuente: (Manuel 2017)

2.7.1.2. Silicios policristalinos (*Poli C-Si*)

Las celdas Fotovoltaica policristalinos están fabricadas a partir de estructuras de cristal multidireccional, constituidas por un gran número de cristales de silicio muy pequeños además su pureza es mucho más baja por la disminución de silicio en su fabricación, su color característico es el azul disperejo. A diferencia de los monocristalinos tiene una disminución de su eficiencia si la temperatura sobre pasa los 25 °C.

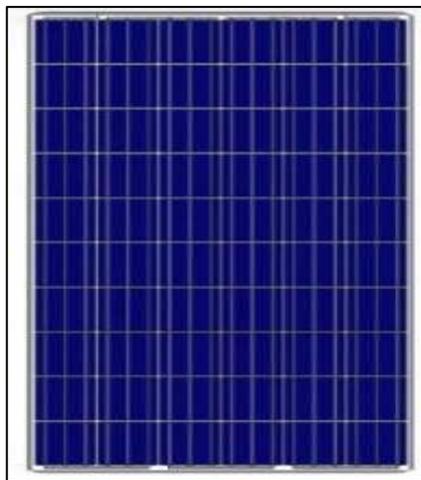


Ilustración 2-21: Panel policristalino derecha

Fuente:(Mónica et al. 2020)

2.7.1.3. Silicios Amorfo (*A - Si*)

Las celdas fotovoltaicas amorfo tienen como tecnología de capas finas donde contiene una estructura no cristalina lo que da a conocer que no tiene ninguna disposición regular de átomos

en sus celdas. Es más económica y su rendimiento son menores, son utilizados en dispositivos como relojes, calculadoras por la particularidad de producir electricidad en cantidades bajas sin importar la presencia directa de la radiación solar (Torres 2013).



Ilustración 2-22: Celda fotovoltaica Amorfo

Fuente: (Mónica et al. 2020)

Tabla 2-1: Eficiencia de celdas fotovoltaicas

Eficiencia de celdas	
Monocristalina	12-15 %
Policristalina	11-14%
Amorfa	6-7%

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

2.8. Configuración de los paneles solares

Un conjunto de módulos conectados entre ellos junto con el cableado, y (en su caso) los soportes de la instalación constituyen un generador fotovoltaico. La conexión de módulos fotovoltaicos sigue las reglas básicas de la electricidad. Los módulos se consiguen conectar en serie o en paralelo, con la combinación más adecuada para adquirir la corriente y el voltaje necesario para una determinada aplicación. Todos los paneles conectados deben tener las propias características eléctricas. (Ríos y Tenesaca 2019)

2.8.1. Configuración en serie

Una conexión en serie de los paneles Fotovoltaicos el voltaje nominal (V) aumenta mientras que la corriente (A) se mantiene según el número de celdas que se encuentran configuradas. Con la finalidad de realizar una conexión en serie por ende la conexión es directamente con las placas

solares entre sí, obteniendo el enlazando entre el polo positivo de un panel con el polo negativo del siguiente panel. (Damia 2023, p. 2)

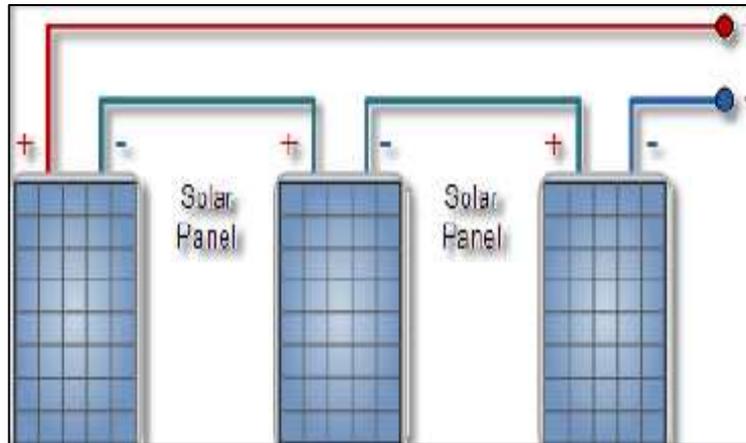


Ilustración 2-23: Conexión en serie paneles solares

Fuente: (Parapi y Pesantez 2020).

2.8.2. Configuración en paralelo

Una configuración en paralelo de las celdas fotovoltaicas permite mantener el voltaje o tensión nominal (Voltios), mientras que la intensidad de corriente (Amperios) se suma según el número de celdas conectada entre sí. La conexión es realizada por enlazados por un solo lado solo polos positivos de la celda fotovoltaica, por el otro se encuentran conectado todos los polos negativos.

(Ríos y Tenesaca 2019)

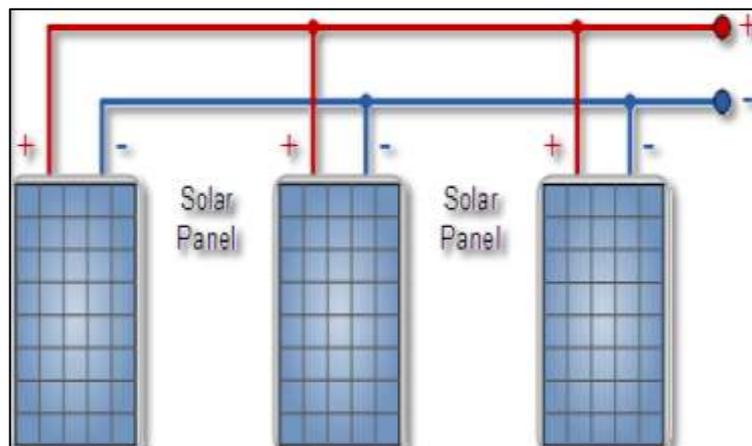


Ilustración 2-24: Configuración el paralelo

Fuente:(Ríos y Tenesaca 2019)

2.8.3. *Conexión Mixta en Serie y Paralelo*

Es la combinación de conexión en serie y paralelo de las celdas fotovoltaicas, estas instalaciones se utilizan cuando se desea conectar 5 o más paneles solares de 60 células y su potencia sea mayor a 200 W. El beneficio de este tipo de conexión es no tener un voltaje excesivo, además se logra multiplicar la intensidad (Amperios) de los paneles solares. La conexión mixta permite aumentar la corriente (Amperios) y tensión (Voltaje).

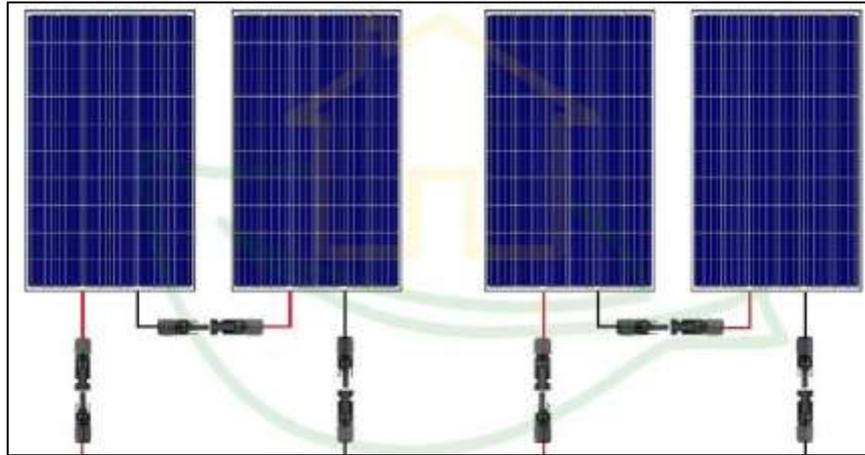


Ilustración 2-25: Configuración mixta paneles solares

Fuente: (Ríos y Tenesaca 2019)

2.8.4. *Controlador de carga solar*

Es un dispositivo encargado de controlar periódicamente el estado de cargas de las baterías para obtener una carga óptima y alargar la vida útil de las baterías de reservas que se utilizan en sistemas fotovoltaicos. Este regulador de carga solar va instalado ente los paneles solares y las baterías de reservas y se encarga de controlar el flujo de tensión que circula entre ambos elementos además de cumplir su objetivo de realizar la carga también protege la batería de las sobrecargas. (Parapi y Pesantez 2020)

2.8.4.1. *Controlador de carga MPPT*

Los controladores MPPT (Máximo Power Point Tracker), este tipo de controladores son más eficientes por tener el ajuste del voltaje de entrada para conseguir la máxima potencia y eficiencia de los paneles solares, este controlador está diseñado para trabajar con un voltaje máximo de 48V con una intensidad hasta 80A. (Paul 2019)



Ilustración 2-26: Controlador de carga MPPT

Fuente:(Macias 2022)

2.8.4.2. Controlador de carga PWM

Este tipo de controlador (Pulse Width Modulation), también se conoce como modulación de ancho de pulso son muy utilizados en instalaciones fotovoltaicas por su bajo costo y su alta gama de modelos que se encuentra en el mercado, con la modulación de ancho de pulso se tiene una carga efectiva de la batería con un voltaje constante. (Raya 2022)



Ilustración 2-27: Controlador de carga PWM

Fuente: (MUST 2018)

2.9. Baterías o Acumuladores de Energía

Son dispositivos caracterizados por una configuración de una o más celdas electroquímicas capaces de almacenar energía eléctrica de un sistema externo. Una celda consta de un cátodo o electrones positivos y un ánodo o electrones negativos. Además, el electrolito facilita el movimiento de iones entre los electrodos, lo que permite que la corriente fluya fuera de la batería. Las baterías primarias no se pueden recargar, pero las baterías secundarias se pueden recargar. (Ahulló 2020)

2.9.1. Tipos de baterías

Existen tres diferentes tipos de baterías que se están empleando actualmente en los vehículos eléctricos y son los siguientes tipos.

2.9.2. *Plomo ácido (Pb-ácido)*

Estas baterías son muy convencionales de encontrarlas suelen tener entre 6 y 12 voltios se utilizan principalmente para funciones de arranque del vehículo de combustión interna, se encuentra disponible en el mercado a bajo costo, estas baterías de plomo ácido son muy perjudicial para el medio ambiente.(Paul 2019)



Ilustración 2-28: Batería de Plomo ácido

Fuente:(Victron energy 2015)

2.9.3. *Níquel-hidruro metálico (Ni-MH)*

Son muy empleadas en la industria automotriz, tiene un alto costo de adquisición son empleadas con mayor frecuencia en aviones, helicópteros o vehículos eléctricos, dado su gran rendimiento a bajas temperaturas, con la desventaja que posee efecto memoria además de ser menos contaminante con el medio ambiente. Los problemas que se presenta en este tipo de batería es su constante mantenimiento y su deterioro al exponer a altas temperaturas, altas corrientes de descarga o sobrecarga. (Castillo 2021)



Ilustración 2-29: Pack de baterías de Ni-MH

Fuente:(Marín Fernández 2018)

2.9.4. *Las baterías de Fosfato de Hierro Litio (LiFePO4)*

Las baterías (LiFePO₄) están derivadas por la tecnología química de las baterías ion de litio, la química (LFP) en este tipo de baterías presenta una mayor durabilidad que otro tipo de baterías

de ion de litio, teniendo un voltaje de descargar muy constante de 3.2 V hasta descargase por completo. (Ahulló 2020)

Son baterías de alta potencia que proporcionar alta cantidad de energía también por tener una larga vida útil también se puede realizar una configuración de serie y paralelo por sus prestaciones que nos permiten además es controlada por un (BMS) para el corto automático de voltaje mediante red CAN. (Ahulló 2020)



Ilustración 2-30: Batería LiFePO4

Fuente:(ALITHIUM 2022)

2.9.5. Especificaciones individuales de la celda

Tabla 2-2: Especificación de las baterías LiFePO4

Capacidad nominal	100 Ah
Tension nominal	3.2 V
Dimensiones (mm)	Espesor 30, Ancho 135, Alto 220
Peso	1,87 Kg
Maximo corriente de carga continua	50 A
Maximo corriente de descarga continua	100 A
Corriente de descarga de pulsos (25°C, 50°C SOC 10S)	300 A
Ciclos de carga de descarga(80%Dod)	3000
Temperatura de trabajo (Desacarga)	-25°C a 60°C
Temperatura de trabajo (Cacarga)	-25°C - 60°C

Fuente: (ALITHIUM 2019)

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

2.10. Los Inversores DC/AC

Un inversor es dispositivo eléctrico que tiene la función de convertir de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC) de tal manera que el voltaje que se proporciona sea el mismo de una red doméstica que se tiene en una vivienda. (Novoa 2019)

2.10.1. Inversor de onda pura

Los inversores de onda pura proporcionan una corriente alterna (Ac) más estable y con menor pérdida y es recomendable usar en los aparatos electrodoméstico, la forma de corriente que genera es senoidal similar a la red domestico que usualmente se tiene. (Inversor_Eolico 2020)



Ilustración 2-31: Inversor de onda pura

Fuente:(Pavón 2022)

2.10.2. Inversor de onda rectificada

También se lo conoce como inversor de onda cuadrada la cual transforma la corriente continua (DC) a corriente alterna (AC) con una diferencia que genera una corriente rectificada de onda cuadrada son más comerciarles en el mercado por su bajo costo y diversos modelos que se tiene. (Parapi y Pesantez 2020)



Ilustración 2-32: Inverso de onda Cuadrada

Fuente:(Ordóñez 2011)

2.10.3. Inversor Huawei SUN2000L-2KTL-L1

Es un inversor monofásico de alta tecnología utilizado en los sistemas solares, este equipo permite realizar la combinación entre la energía eléctrica de la red pública y el sistema solar (On Grid). Es un inversor de onda pura con una eficiencia del 98,4% que un inversor modificado también cuenta con protecciones activas contra arcos de corriente eléctrica, este inversor inteligente de Huawei nos permite realizar el monitoreo en tiempo real gracias a la tecnología de Huawei Smart Dongle y con la aplicación de Fusión Solar. (Huawei 2020, p.5)



Ilustración 2-33: Inversor Híbrido Huawei

Fuente: (Híbrida 2020)

2.11. Equipos de protección

El uso de los equipos de protección es primordial para llevar a cabo las instalaciones eléctricas de una manera eficaz y mantener protegido los equipos de altos costos como también la seguridad humana.(Fernández 2021,p.59)

2.11.1. Breaker riel din 2P 20A

Es un interruptor automático de baja tensión de 2 polos (2P) con una capacidad de corriente nominal de 20A, la capacidad del cortocircuito es de 10000A con un voltaje de 220VAC. (Fernández 2021,p. 59)



Ilustración 2-34: Breaker riel din 2P 20A

Fuente: (Fernández 2021).

2.12. Estado de carga (SOC)

El estado de carga (SOC) de una batería es un parámetro importante en base a la cual nos permite visualizar el porcentaje de energía acumulada durante el periodo de carga y descarga de la batería. (Romo 2019, p.4)

$$SOC(t) = SOC_0 \mp \frac{n}{C} \int_{t_0}^t I(t). dt$$

Donde:

SOC_0 = Soc inicial de carga

C = Capacidad nominal Ah

n = Rendimiento de la batería

t = Tiempo final de carga

t_0 = Tiempo inicial de carga

$I(t)$: Corriente de carga de batería

2.13. Eficiencia coulombica

La eficiencia coulombica (EC) de una batería es un parámetro importante que nos permite visualizar la fracción de energía eléctrica que se genera en los combustibles microbianas (CCM) a partir de un porcentaje de sustrato determinado. Se calcula como la relación entre la cantidad de energía eléctrica que se sustrae durante la descarga y la cantidad de energía que se utiliza para su carga. (Romo 2019, p.4)

$$EC = \frac{\int_{t_0}^t \text{descarga } I(t). dt}{\int_{t_0}^t \text{carga } I(t). dt} * 100\%$$

Donde:

EC = Eficiencia coulombica

$I(t)$ = Corriente de carga de batería

100% = Porcentaje de EC

t = Tiempo final de carga

t_0 = Tiempo inicial de carga

2.14. Fuentes de poder de 220/120V a 24 V

La fuente de alimentación conmutada es el responsable de convertir de corriente alterna a corriente continua emplean transistores conmutadas de alta eficiencia, tamaño compacto y bajo costo en el mercado (Electrostore, 2023).



Ilustración 2-35: Fuente conmutada

Fuente: (Electrostore 2023).

2.15. Conductores de cobre de tipo concéntrico de 600 V

Los conductores multipolares son cableados de mayor flexibilidad de cobre con un recubrimiento aislado uniforme de caucho. Este tipo de conductores se puede emplear en lugares húmedos y secos incluso se puede usar en instalaciones sumergidos en agua y su temperatura de operación es de 90 °C y su tensión de trabajo para todas las aplicaciones eléctricas es de 600V.(Electro cable 2018, p. 60)

Numero De Conductores	Sección Transversal (mm²)	Diametro Del hilo (mm)	Espesor Aislamiento (mm)	Espesor Chaqueta (mm)	Diámetro Exterior Aprox (mm)	Peso Total Aproximado (Kg/km)	Capacidad de Corriente (A)*
18 AWG							
2	0.823	0.3	0.76	1.52	8,48	58,44	10
3	0.823	0.3	0.76	1.52	8,89	74,46	10
4	0.823	0.3	0.76	1.52	9,62	91,88	7
16 AWG							
2	1.31	0.3	0.76	1.52	9,10	71,68	13
3	1.31	0.3	0.76	1.52	9,56	93,18	13
4	1.31	0.3	0.76	1.52	10,37	116,25	10
14 AWG							
2	2.08	0.3	1.14	2.03	12,42	128,06	18
3	2.08	0.3	1.14	2.03	13,04	158,02	18
4	2.08	0.3	1.14	2.03	14,17	196,10	15
12 AWG							
2	3.31	0.3	1.14	2.41	14,13	179,20	25
3	3.31	0.3	1.14	2.41	14,83	217,90	25
4	3.31	0.3	1.14	2.41	16,09	270,89	20
10 AWG							
2	5.261	0.4	1.14	2.41	15,37	227,69	30
3	5.261	0.4	1.14	2.41	16,16	287,06	30
4	5.261	0.4	1.14	2.41	17,58	361,22	25

Ilustración 2-36: Conductores concéntrico de 600 V

Fuente: (Electro cable 2018).

2.16. Arduino Nano

Es una placa electrónica diseñada para realizar pruebas o simulaciones de proyectos electrónicos con una dimensión pequeña y fácil de realizar las conexiones el software de programación es libre por lo tanto permite emplear en un sinnúmero de proyector.

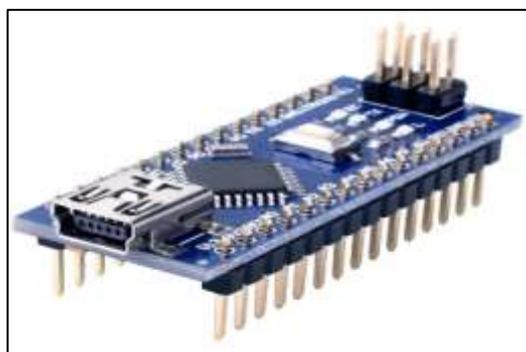


Ilustración 2-37: Arduino Nano

Fuente: (Microcontrolador 2022).

2.17. Circuito Integrado LM2596

El circuito integrado LM2596 tiene la función de fuente de voltaje fija con las siguientes características principales.

- Voltaje de salida fija: 3,3; 5 y 12 V
- Entrada del voltaje sin regulador: 12-40 V
- Regulador de línea y de carga
- Protección contra sobre voltaje y sobre temperatura
- Corriente de salida: 3 A

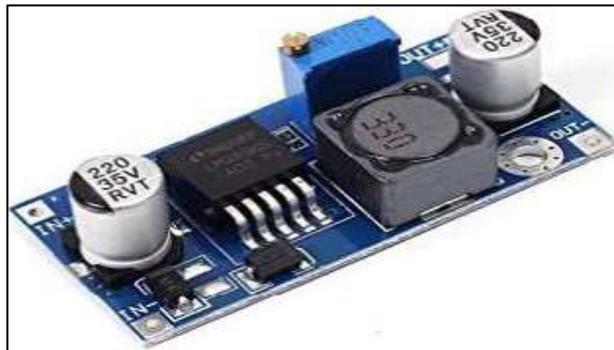


Ilustración 2-38: Circuito integrado LM 2596

Fuente: (Jiménez y Rosero 2019)

2.18. Amplificador Operacional LM358

Un amplificador operacional es un elemento electrónico que tiene la finalidad de activar y realizar la comparación de tensión.(Instruments 2022)

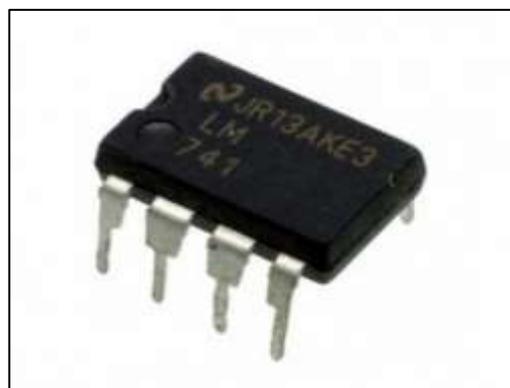


Ilustración 2-39: Amplificador operacional

Fuente: (Instruments 2022)

2.19. Mosfet IRP450

Es un elemento electrónico de potencia de tipo encapsulado que se emplean para conmutar o amplificar señales electrónicas.(Mosfet 2023,p.1)



Ilustración 2-40: Mosfet IRP450

Fuente: (Mosfet 2023)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Métodos

Para realizar el proyecto técnico es esencial emplear diversos métodos que faciliten abordar gran cantidad de aspectos importantes con la finalidad de desarrollar de manera óptima. Las metodologías utilizadas son:

3.1.1. *Método de observación*

Se utilizó el método de observación por que proporciona información de su funcionamiento real en base a las pruebas se verifica mediante la vista, como aspectos se tiene la intensidad de luz solar, temperatura, el rendimiento de la matriz fotovoltaica, para el proceso recolección de mediciones finales sean correctos.

3.1.2. *Método documental*

Se realizó una revisión bibliográfica que está en base al estudio de la energía solar mediante paneles solares, como un recurso ilimitado para el uso del campo automotriz. Para la realización del Marco teórico se argumentó información de archivos de internet, tesis, revistas científicas, artículos relacionados con el tema de investigación de páginas oficiales y fuentes confiables.

3.1.3. *Método analítico*

Se realizó el método analítico porque permite tener la descomposición de objetos y componentes del estudio de sus partes para estudiarlas de manera individual mediante el análisis analítico, donde también permite el estudio del método físico, químico y biológico se encuentran en este método que nos brindaría realizar la experimentación y análisis.

3.1.4. *Método sintético*

El método sintético se realizó porque nos facilita el comportamiento del estudio de las partes que conforman el conjunto integrado para su estudio de manera integral por síntesis, otorgándonos una fiabilidad y seguridad en la carga del vehículo fórmula SAE.

3.2. Diseño metodológico

En este capítulo se describen los materiales, herramientas y pasos metodológicos que se utiliza para el desarrollo de las etapas de diseños y construcción de la estación de carga por paneles solares para el vehículo fórmula SAE, después de una íntegra revisión bibliográfica sobre los parámetros importantes para el dimensionamiento correcto de la estación de carga. Mediante la utilización de instrumentos de medición se determina la eficiencia de captación de energía en diferentes estados climáticos de la celda fotovoltaica.

3.3. Etapas de diseño general

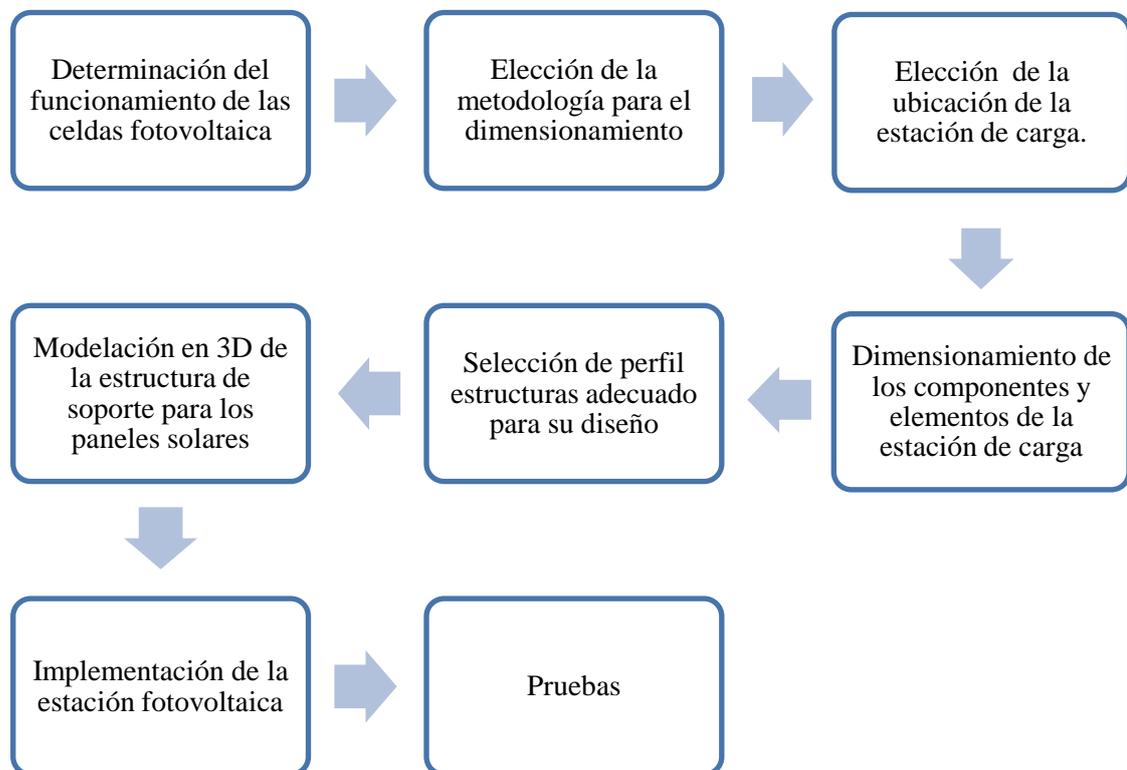


Ilustración 3-1: Diseño general de la estación de carga

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.3.1. Variables de diseño

Es la identificación de cada etapa preliminar más importantes durante todo el trascurso de construcción e implementación de la estación fotovoltaica para el vehículo Fórmula SAE, a continuación, se describe las variables.

3.3.1.1. Determinación del funcionamiento de las celdas fotovoltaica

Realizar el análisis del funcionamiento de las celdas fotovoltaicas para establecer sus parámetros a la que se expondrá, como la cantidad de potencia que entrega, su eficiencia y también para establecer el tipo de conexión en serie, paralela y mixta.

3.3.1.2. Elección de la metodología para el dimensionamiento

La metodología requiere estudios de la radiación solar, cambios climáticos necesarios para garantizar el funcionamiento de la estación fotovoltaica. Se debe tomar en cuenta el funcionamiento y tecnología de los componentes.

3.3.1.3. Elección de la ubicación de la estación de carga.

Para la implementación de una estación de carga fotovoltaica para la fórmula SAE se ha escogido un punto referencial en la provincia de Chimborazo en la ciudad de Riobamba provisto por el simulador PVsyst, debido que en dicho lugar se tienen registro de variables meteorológicas actualizadas del lugar con un gran índice de radiación solar anual de (5.43Kwh/m²día) apto para proyectos de generación de energías fotovoltaica.

La ubicación exacta para el proyecto se muestra en la Ilustración 3-2.

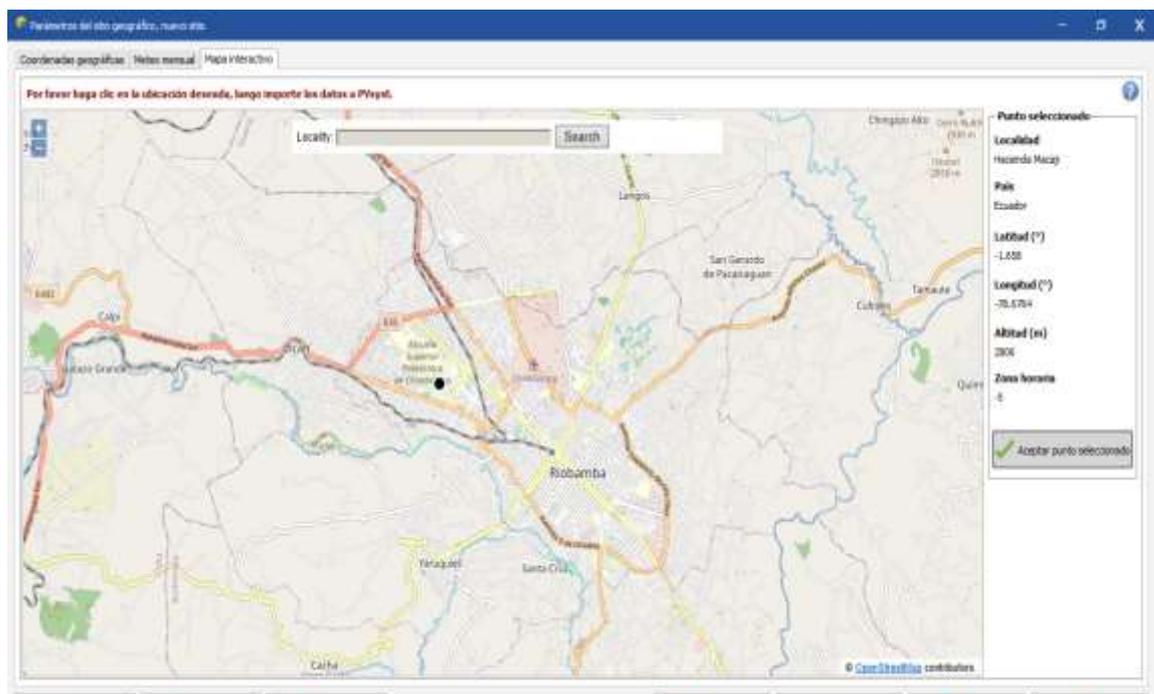


Ilustración 3-2: Ubicación exacta para el proyecto.

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.3.1.4. Dimensionamiento de los componentes y elementos de la estación de carga

Se refiere al proceso de determinar y establecer las dimensiones adecuadas para cada componente y los elementos que formarán la estación de carga. Además, implica analizar y especificar las dimensiones físicas, geométricas y las características técnicas de los diversos elementos que conforman la infraestructura de la estación de carga. Este proceso es esencial para garantizar el funcionamiento correcto.

3.3.1.5. Selección de perfil estructural adecuado para su diseño

Para la selección de los perfiles estructurales se opta por la información mediante catálogos de DIPAC (productos de acero), además que son estructuras comerciales y de alta resistencia. La selección de las estructuras depende el peso de la matriz de celdas fotovoltaicas, componentes de conexión.

3.3.1.6. Modulación en 3D de la estructura de soporte para los paneles solares

Con la ayuda del software de diseño asistido por ordenador (CAD) denominado SolidWorks, se diseña el modelado en tercera dimensión (3D) de la estructura del soporte para la matriz de paneles solares, teniendo en cuenta el área disponible donde será ubicado.

3.3.1.7. Implementación de la estación fotovoltaica

La implementación de la estación fotovoltaica se realiza una vez seleccionado todos los componentes necesarios tales como la estructura de soporte, la matriz fotovoltaica, inversor de onda pura (On Grid) y el módulo de carga.

3.3.1.8. Pruebas

Con la estación instalada se realizan las pruebas de voltaje y amperaje que general el sistema de carga en tipo real para así determinar la eficiencia de carga.

3.4. Dimensionamiento de la estación de carga

El sistema de estación de carga fotovoltaico para la fórmula SAE se implementará en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Para el dimensionamiento óptimo se debe tomar las siguientes consideraciones.

- Cálculo de la demanda diaria
- Cálculo de la demanda máximo.
- Dimensionamiento de los paneles solares
- Cálculo del inversor

3.4.1. Cálculo de la demanda diaria

Para el diseño se consideraron la cantidad de energía consumida del cargador de la fórmula SAE, los cuales tendrá una tensión y frecuencia de operación de 220 v (Voltios) y 60 Hz (Hertz) respectivamente.

El consumo diario se calculó como lo indica la ecuación (1).

$$D_{diaria} = P_{cargador} * H * N \quad (1)$$

Donde:

D_{diaria} : Demanda diaria (Wh)

$P_{cargador}$: Potencia del cargador (W)

H : Número de horas en funcionamiento

N : Número de dispositivos

$$D_{diaria} = 300 W * 10 h * 1 = 3000 (Wh)$$

3.4.2. Cálculo de la demanda máximo

Se calculó el consumo máximo de energía diaria donde se incluye el margen de error del 20 % de seguridad mediante la ecuación (2).

$$D_{max} = D_{diaria} * E \quad (2)$$

Donde:

D_{diaria} : Demanda diaria en (Wh)

E : Margen de error del 20% de la carga utilizada por día

$$D_{max} = 3000(Wh) * 1.2 = 3600 (Wh)$$

3.4.3. Dimensionamiento de los paneles solares

Posteriormente se calculó la potencia máxima de carga que deberá suministrar los paneles fotovoltaicos durante las horas pico del día para cubrir la demanda requerida. Este cálculo se realizó empleando la ecuación (3), considerando que la hora solar pico (HSP) de la ciudad de Riobamba es de 5 KWh/m²día

$$P_{maxFV} = \frac{D_{max}}{HSP} \quad (3)$$

Donde:

P_{maxFV} : Potencia máxima de carga fotovoltaico

D_{max} : Demanda máximo (Wh)

HSP : Hora solar pico (h)

$$P_{maxFV} = \frac{3600 (Wh)}{5 (h)} = 720 (W)$$

Inicialmente se deberá escoger un tipo de panel solar que sea comercial y posteriormente con las especificaciones técnicas de este, se procederá a determinar la cantidad de paneles fotovoltaicos que se emplearon para una estación de carga de la fórmula SAE. Este cálculo se realizó empleando la ecuación (4)

Tabla 3-1: Especificación técnica del panel solar

Especificaciones técnicas del panel Solar	
Potencia máxima	50 watts
Voltaje de operación	18 voltios
Corriente de operación	2.97 Amperios
Eficiencia del módulo	22%

Fuente: (Ríos y Tenesaca 2019).

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

$$\#Panel\ solares = \frac{P_{maxFV}}{P_{real\ del\ panel}} \quad (4)$$

Donde:

P_{maxFV} : Potencia máxima de carga fotovoltaico

$P_{real\ del\ panel}$: Potencia pico producido por el panel elegido

$$\#Panel\ solares = \frac{720\ (W)}{50\ (W)} = 14.49 \cong 15\ Paneles\ solar$$

Se emplearon 15 paneles solares con una potencia de 50watt

3.4.4. Cálculo del Inversor

La potencia del inversor será igual a la potencia total consumida, también se debe considerar un factor de seguridad del 20%. Este cálculo se realizó empleando la ecuación (5)

$$P_{Inversor} = P_{cargador} * Fs \quad (5)$$

Donde:

$P_{cargador}$: Potencia del cargador (W)

Fs : Factor de seguridad 20%

$$P_{Inversor} = 300\ W * 1.2 = 360\ W$$

Se adquirió un inversor híbrido de marca Huawei modelo Sun2000-(2KTL)

Tabla 3-2: Especificaciones técnicas del inversor híbrido de 2kva

Especificaciones técnicas del inversor Híbrido de 2kva	
Máxima voltaje PV de entrada al inversor	600VDC
Potencia máxima configurable fotovoltaico	1500W

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.4.5. Selección de los conductores

Para la selección de los conductores se debe tener consideración los requisitos eléctricos según su capacidad, su caída de tensión en cada parte del sistema. En la siguiente tabla se aprecia las

especificaciones de la caída de tensión entre los diferentes puntos que son importantes seleccionar correctamente el calibre del cable.

Tabla 3-3: Porcentaje de caída de tensión entre componentes

Conexión entre componentes	Porcentaje máximo de la caída de tensión
Paneles solares – Regulador de carga	Inferior al 3%
Inversor -cargas	Inferior al 3%

Fuente:(Viera 2021).

Para realizar el cálculo del calibre del cable conductor es mediante la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 * 0.0178 * I * l}{\Delta V}$$

Donde:

S: Sección del cable en mm²

l: Longitud del conductor entre componentes

I: Corriente máxima que puede circular por el conductor

ΔV: Caída de voltaje permisible en el conductor

En la siguiente tabla se describe la sección del calibre del cable conductor entre componentes necesarios para su instalación.

Tabla 3-4: Selección del calibre de cable entre componentes

Longitud del conductor	Calibre AWG
Panel solar al inversor (8m)	AWG 10
Inversor a fuente de carga (12)	AWG 12

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

Durante la instalación de los paneles fotovoltaico así el inversor Híbrido Huawei se empleó cable de calibre 10 AWG de tipo concéntrico gemelos de 600V

3.5. Comprobación del dimensionamiento en el software PVsyst.

Finalizando con el análisis analítico del dimensionamiento de la estación de carga se procede a la comprobación mediante el software PVsyst que permite realizar un dimensionamiento de una estación fotovoltaica considerando la ubicación geográfica, grado de inclinación y la orientación donde será instalada. Además, el software dispone de una base de datos meteorológicos de irradiación solar, para asegurar un dimensionamiento del sistema adecuado.

3.5.1. Ubicación e irradiación solar en PVsyst del sistema

PVsyst permite especificar la ubicación donde se instalará el sistema, en este caso es la EsPOCH (Escuela Superior politécnica de Chimborazo) en la facultad de Mecánica. Además, cuenta con una librería meteorológica que proporciona datos de irradiación solar mensual y anual, permitiendo llevar a cabo simulaciones precisas y correcta.

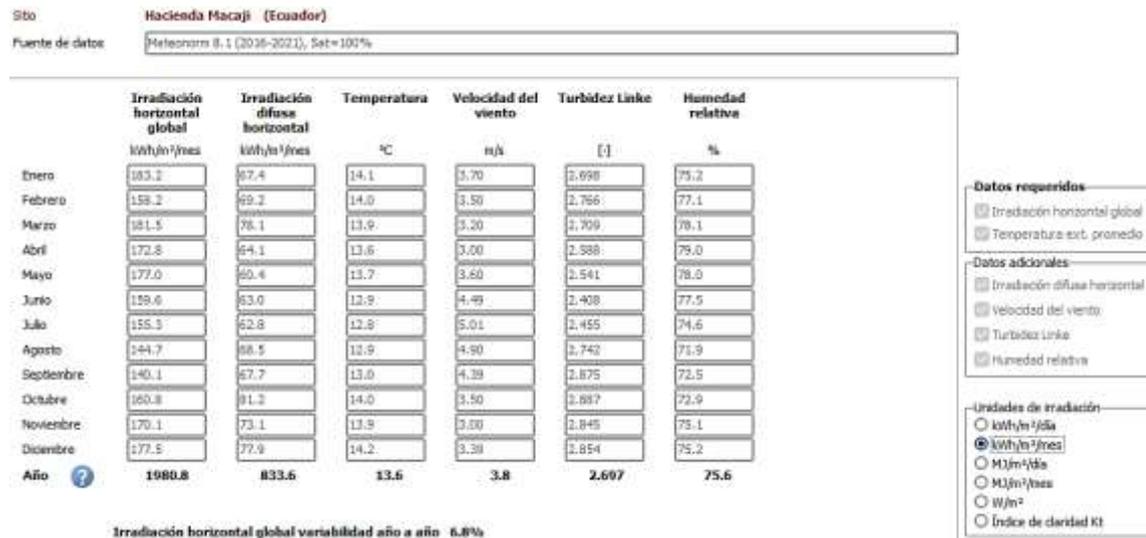


Ilustración 3-3: Datos meteorológicos de la ciudad de Riobamba EsPOCH

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.5.2. Orientación de la matriz fotovoltaica

Mediante los datos geográficos de la ubicación del sistema fotovoltaico se puede establecer el grado de inclinación, para minimizar una pérdida mínima de radiación. El grado de inclinación para la estación fotovoltaica es de 10° donde su orientación se encuentre al oeste, con este grado de inclinación no se genera pérdidas.

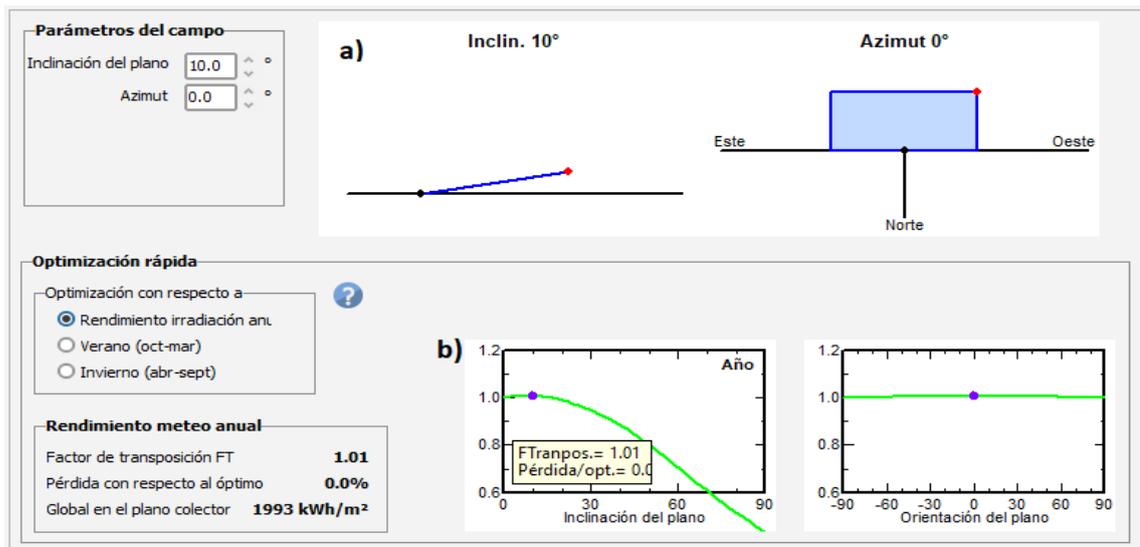


Ilustración 3-4: a) Grado de inclinación y orientación b) Pérdida de radiación solar

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.5.3. Dimensionamiento del Sistema fotovoltaico en PVsyst

Para el dimensionamiento del sistema se considera las especificaciones de los componentes que conformarán el sistema fotovoltaico.

Para el dimensionamiento se considera las especificaciones del panel solar que es 50 W (watt) a 16 V (voltios), obteniendo una potencia planeada de 0.8 KWp. Además, se selecciona el inversor Huawei SUN200-2KTL-L1 que tiene un rango de funcionamiento de 80 a 600 voltios.

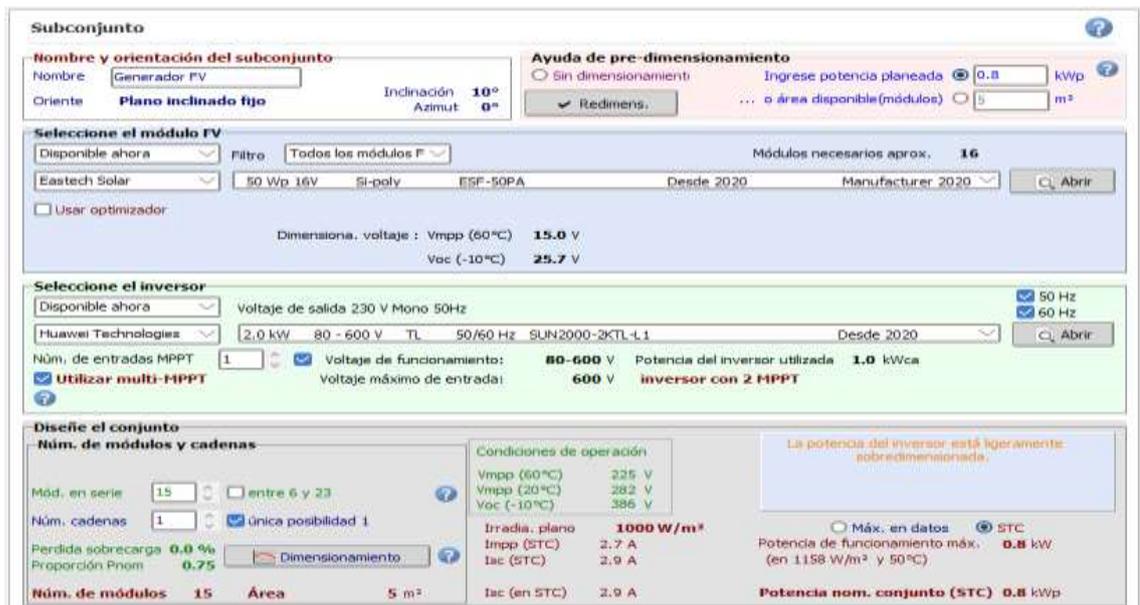


Ilustración 3-5: Dimensionamiento del sistema en PVsyst

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

Como resultado el software PVsyst nos muestra un dimensionamiento de 15 paneles solares de 50 W (watt), donde se debe realizar una conexión en serie.

3.6. Especificaciones de diseño de la estructura de soporte de la matriz fotovoltaica

3.6.1. Especificación del diseño de los soportes inferiores de anclaje

En la Tabla 3-5 se encuentra expuestos las especificaciones de los datos detallados de la platina estructural ubicada en el anexo A.

Tabla 3-5: Especificación de la platina de soporte.

Especificación de la platina estructural	
Norma	NTE INEN 115
calidad	ASTM A36 - SAE J 403 1008
Acabado	Acero negro galvanizado
Ancho	50 mm
Espesor	3 mm
Peso	1.18 Kg
Área	1.50 cm ²
Descripción	PLT 50x3

Fuente: (DIPAC, 2020, p.11)

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.6.2. Especificación del diseño del soporte de la matriz fotovoltaica

En la Tabla 3-6 se encuentra expuestos las especificaciones de los datos detallados obtenidos del catálogo DIPAC (Productos de acero) del perfil estructural ángulo importado anexo B.

Tabla 3-6: Especificación del soporte para la matriz fotovoltaica

Especificación del perfil estructural ángulo "L" doblado	
Norma	NTE INEN 1623
calidad	ASTM A36
Acabado	Acero negro
Altura	25 mm
Ancho	25 mm
Espesor	3 mm
Peso	1.5 Kg/m
Área	1.33 cm ²
Descripción	L 25x3 mm

Fuente: (DIPAC, 2020, p. 8)

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.6.3. Especificación de las vigas de soporte de la matriz fotovoltaica

En la Tabla 3-7, se encuentra expuestos las especificaciones de los datos detallados obtenidos del catálogo DIPAC (Productos de acero) del tubo estructural cuadrado anexo C.

Tabla 3-7: Especificación de las vigas de soporte de la matriz fotovoltaica

Especificación del perfil tubo estructural cuadrado	
Norma	NTE INEN 2415
calidad	SAE J 403 1008
Acabado	Acero negro
Ancho	25 mm
Espesor	2 mm
Peso	1.47 Kg/m
Área	1.74 cm ²
Descripción	C 25x3 mm

Fuente: (DIPAC, 2020, p.22)

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.6.4. Especificación de las vigas de soporte de la matriz fotovoltaica

En la Tabla 3-8 se encuentra expuestos las especificaciones de los datos detallados obtenidos del catálogo DIPAC (Productos de acero) del perfil estructural TEES anexo D.

Tabla 3-8: Especificación del soporte de la matriz fotovoltaica

Especificación del perfil estructural TEES "T"	
Norma	NTE INEN 2415
calidad	ASTM A36
Acabado	Acero negro
Largo	25 mm
Ancho	25 mm
Espesor	3 mm
Peso	1.19 Kg/m
Área	1.52 cm ²
Descripción	TEE 25x3 mm

Fuente: (DIPAC, 2020, p. 12)

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.6.5. Especificaciones del diseño de la matriz fotovoltaica.

En la Tabla 3-9 se encuentran las especificaciones de los paneles fotovoltaicos, donde se procede al diseño de la matriz fotovoltaica.

Tabla 3-9: Especificación panel fotovoltaico

Panel Fotovoltaico	
Tipo	Monocristalino
Ancho	540 mm
Largo	614 mm
Espesor	3 mm
Peso	1.2 Kg

Fuente: (Solarmat 2023, p. 1)

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.7. Diseño de la estructura fotovoltaica

Para el diseño de la estructura se tomó en cuenta que será ubicada en el voladizo del tejado del taller de soldadura de la ESPOCH, donde la estructura será utilizada de soporte para la matriz fotovoltaica de la misma forma debe contar una resistencia factible, por lo tanto, cuentan con 4 soportes de platinas que estarán anclados al techo del voladizo del taller mediante pernos. Se optó la ubicación del voladizo del tejado del taller de soldadura por que cuenta con superficie plana apto para el anclaje correcto de la estructura y además tiene una buena recepción de los rayos solares.

Para el diseño la estructura de debe considerar aspectos importantes

- Peso de la matriz fotovoltaica
- Resistencia de los materiales estructurales
- El grado de inclinación del tejado
- La ubicación de la estructura
- Dimensiones del voladizo del tejado

3.7.1. Diseño de la estructura en un software CAD

Para el diseño del modelo de la estructura se realizó en el software SolidWorks donde el software permite realizar la modelación en 2D y 3D además permite realizar la estructura con los perfiles

estructurales comerciales expuestos en las tablas 3-5 a la 3-8. El Software cuenta con la extensión STEP para guardar el archivo que permitirá abrir en el software ANSYS para proceder con el análisis estático.

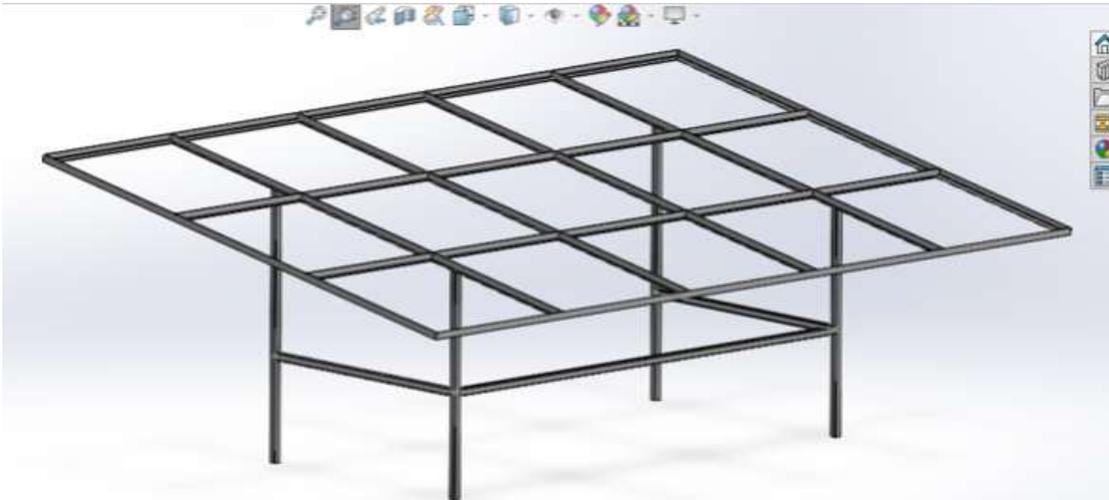


Ilustración 3-6: Modelación de la estructura Fotovoltaica en SolidWorks.

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.7.2. *Obtención de análisis estático en el Software ANSYS.*

Con el software ANSYS Workbench R2 se realizó la simulación de deformaciones, fuerzas y su factor de seguridad de la estructura metálica. Además, el software permite la selección de material como el acero ASTM A-36.

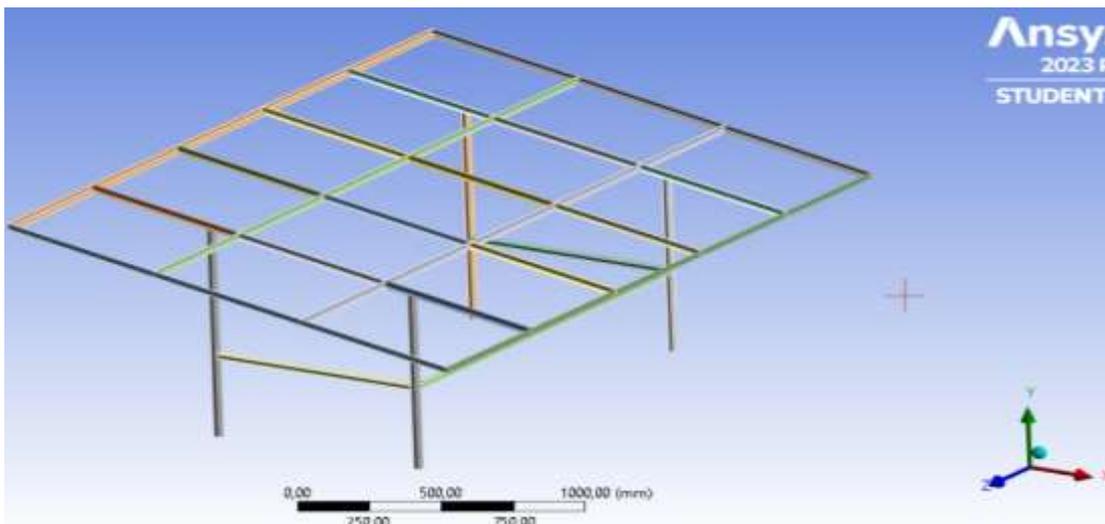


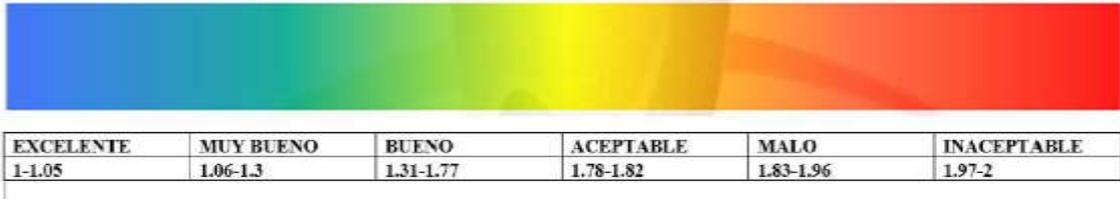
Ilustración 3-7: Estructura importada a ANSYS Workbench R2

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.7.2.1. Mallado de la estructura Metálica

Para llevar a cabo el proceso de mallado en el software ANSYS, se comprueba que la estructura se encuentre correctamente modelada en la extensión de ANSYS en DesignModeler. Una vez realizado la comprobación, se procede aplicar el mallado, obteniendo un Average de 0,90272 donde este valor es cercano a 1, lo que indica un nivel de calidad de malla de muy bueno.

Skewness Jacobian – Espectro de métrica de malla



Orthogonal Quality Jacobian – Espectro de métrica de malla

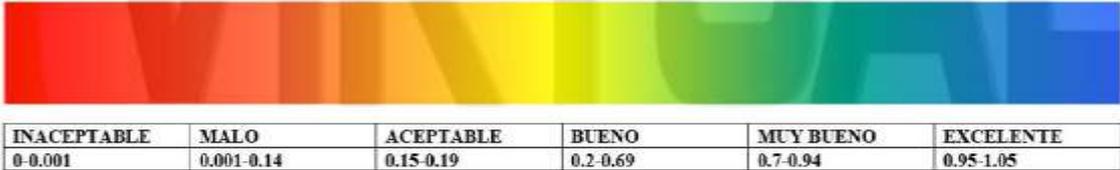


Ilustración 3-8: Espectro de medición de la calidad de mallado en ANSYS

Fuente:(Viera 2021, p. 58)

Details of "Mesh"	
Bounding Box Diagonal	3407,6 mm
Average Surface Area	8845,6 mm ²
Minimum Edge Length	3, mm
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Element Quality	Default (5,e-002)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Jacobian Ratio (Gauss Poi...
<input type="checkbox"/> Min	0,31264
<input type="checkbox"/> Max	1,
<input type="checkbox"/> Average	0,90272
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,1812

Ilustración 3-9: Valor de la calidad de mallado

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.7.2.2. Deformación total

Para la deformación total se refiere al cambio total en la forma geométrica de la estructura fotovoltaica especificando regiones críticas y aceptables bajo condiciones de carga o fuerzas

externas. Una vez realizado la simulación se obtiene una deformación total de 0.95365 mm como máxima, donde indica que la estructura es aceptable con las cargas aplicadas.

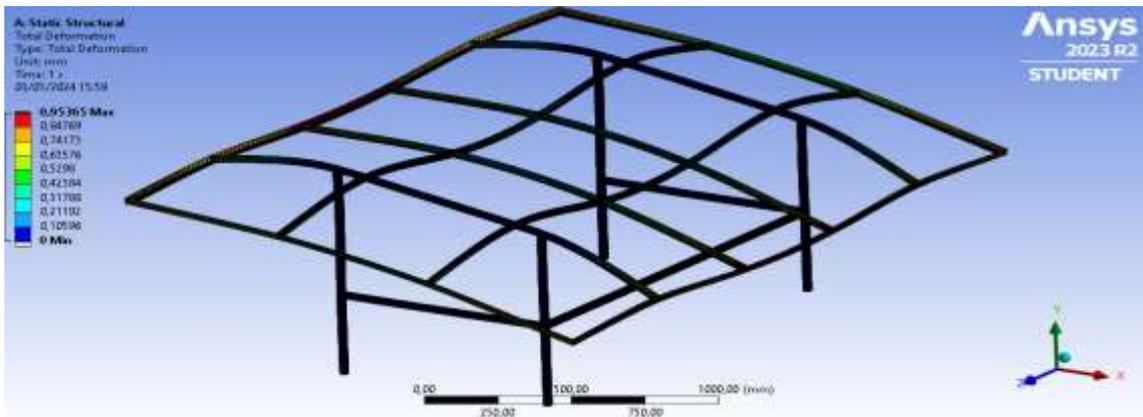


Ilustración 3-10: Análisis de deformación total en ANSYS

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.7.2.3. Deformación direccional

Para la deformación direccional se refiere al cambio de la estructura en una sola dirección en este caso su dirección es en la coordenada “Y” negativo, donde la dirección es hacia el centro de la tierra por atracción de la gravedad.

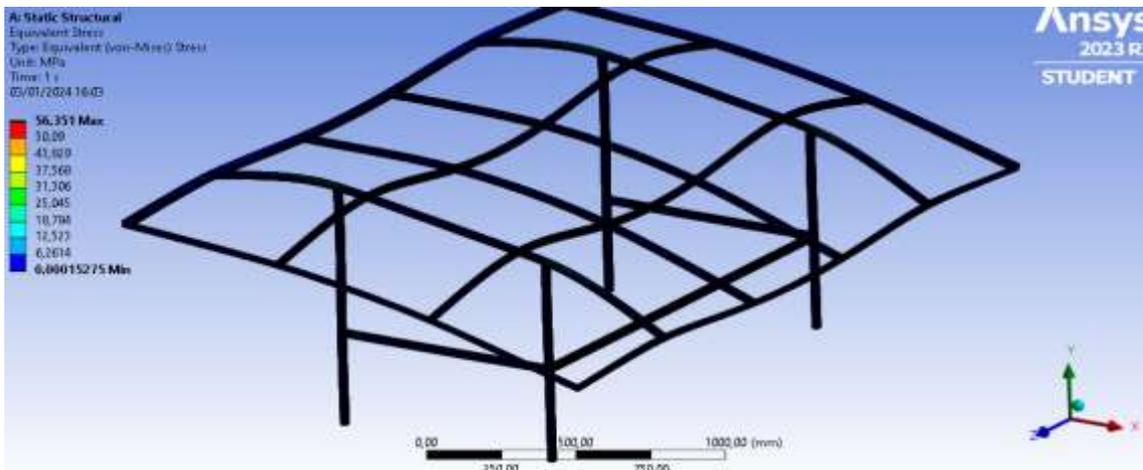


Ilustración 3-11: Análisis de la deformación direccional en ANSYS

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.7.2.4. Factor de seguridad

Para el factor de seguridad se refiere a la relación entre la carga máxima que puede soportar la estructura. El objetivo es soportar la matriz fotovoltaica si un factor de seguridad el mayor a 1

indica que la estructura es segura a condiciones de cargas predeterminadas, mientras que un factor de seguridad es menor a 1 indica que la estructura es insegura y puede fallar bajo las cargas predeterminadas previstas.

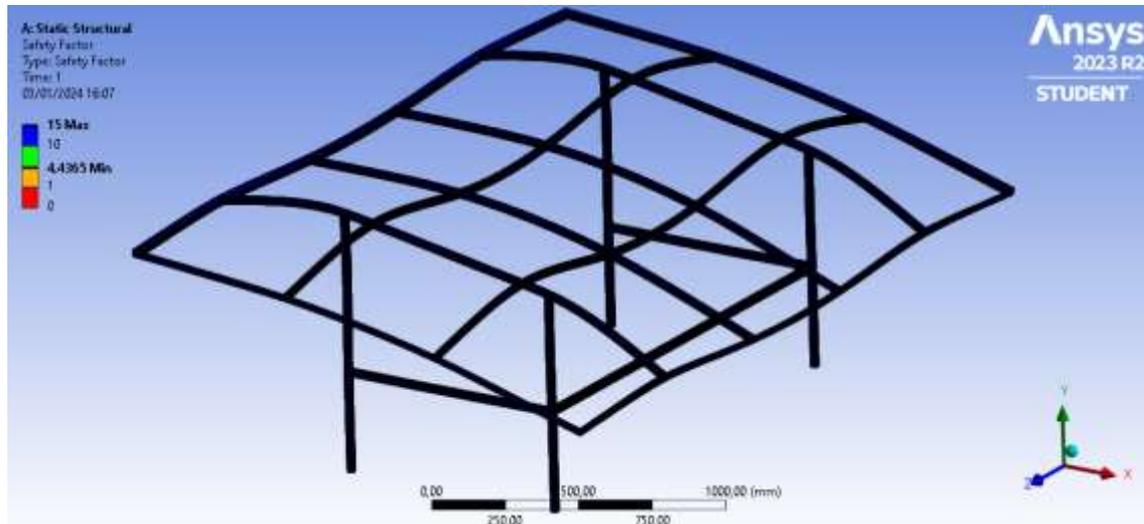


Ilustración 3-12: Resultado del factor de seguridad en ANSYS

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.8. Diagrama unifilar

Es una interpretación gráfica de la instalación eléctrica donde se describe la conexión detallada de los equipos electrónicos y equipos de protección que forman parte de la estación solar.

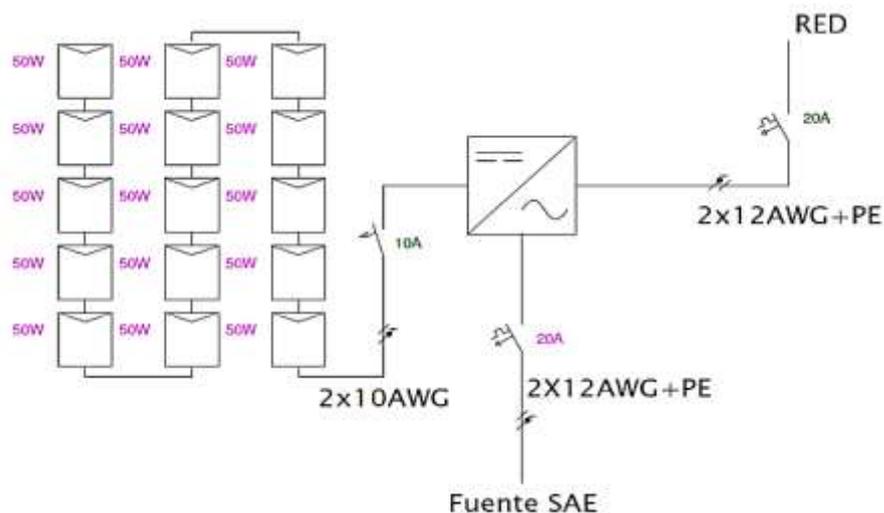


Ilustración 3-13: Diagrama unifilar de la estación de carga SAE

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

Este diagrama eléctrico nos permite visualizar la ruta de la distribución de energía eléctrica generada desde el sistema fotovoltaico hacia el inversor híbrido donde se empleó un cable concéntrico 10 AWG teniendo como protección para sobre cargas eléctricas un fusible de 10A, además para la parte de corriente alterna se empleó un cable concéntrico 12 AWG junto con un breaker doble de 20A, de igual manera se seleccionó un cable concéntrico 12 AWG y un breaker termomagnético doble de 20A del inversor híbrido a la fuente SAE.

3.9. Diseño de la Fuente

En este punto se centra en describir las etapas de diseño e implementación de la fuente del cargador para la batería LiFePO₄ del vehículo fórmula SAE, luego de una revisión bibliográfica se seleccionó los componentes electrónicos que conformarán nuestro circuito de carga.

Para el diseño del circuito se considera las variables de alimentación del sistema que toma una alimentación externa generada por la combinación de la matriz fotovoltaica e inversor híbrido 2KTL. Donde permitirá operar los componentes electrónicos de bajo voltaje, entre estos componentes se encuentran:

- Microcontrolador
- Módulo de sensor de corriente ACS712
- Control de disparo de los MOSFET
- Un ventilador con disipador

Este tipo de variables tienen una alimentación de operación entre 5 a 12 voltios (V) en corriente continua (DC).



Ilustración 3-14: Fuente de alimentación para la batería LiFePo₄.

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.9.1. Circuito de activación

Se realizó un control de voltaje de corriente utilizando dos fuentes conectadas en serie obteniendo una configuración de voltaje de 54 voltios necesario para realizar la carga de la batería de LiFePO4. Para realizar el monitoreo y control del voltaje de la carga entre los terminales de la batería LiFePO4 es necesario utilizar un sensor de voltaje ACS712, que es encargado interpretar mediante el conversor analógica digital programado mediante un Arduino, tomando medidas en serie en el cable negativo siendo un sensor inducido por efecto hall en pulsos (PWM) con una corriente limitada de 5 A.

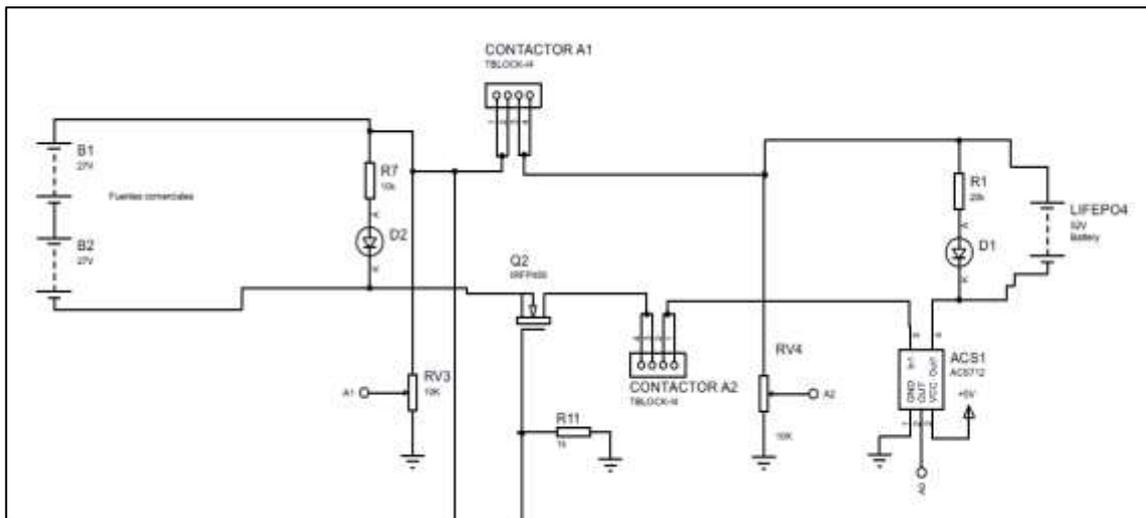


Ilustración 3-15: Circuito de Activación de la fuente de Alimentación

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

Se realizó la implementación de un divisor de voltaje para conocer la señal, corriente y cuanto voltaje circula con la relación de reducción de voltaje, conociendo que el voltaje máximo de interpretación y lectura por el conversor del microcontrolador Arduino es de 5 V como máximo. Donde se tiene un voltaje de 54 voltios que entrega del cargador.

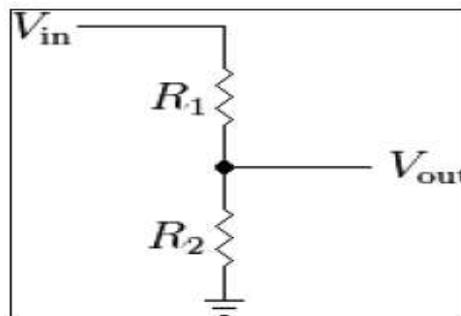


Ilustración 3-16: Divisor de voltaje

Fuente: (Jiménez y Rosero, 2019, p. 85)

El circuito cuenta con un contactor totalmente abierto si el contactor se encuentra abierto no puede habilitar el circuito de carga, si el contactor se encuentra totalmente cerrado puede realizar la activación del circuito. Además, cuenta con un controlador MOSFET para evitar una alteración de corriente obteniendo una carga controlada y estable. Mediante la modulación se regula el ancho pulso por (PWM), para tener un arranque de ancho de pulso pequeño hasta poder obtener una activación de ancho de pulso constante de 5 A.

3.9.2. Circuito de monitoreo

Se realizó un control de monitoreo de carga utilizando un microcontrolador Arduino nano y LCD

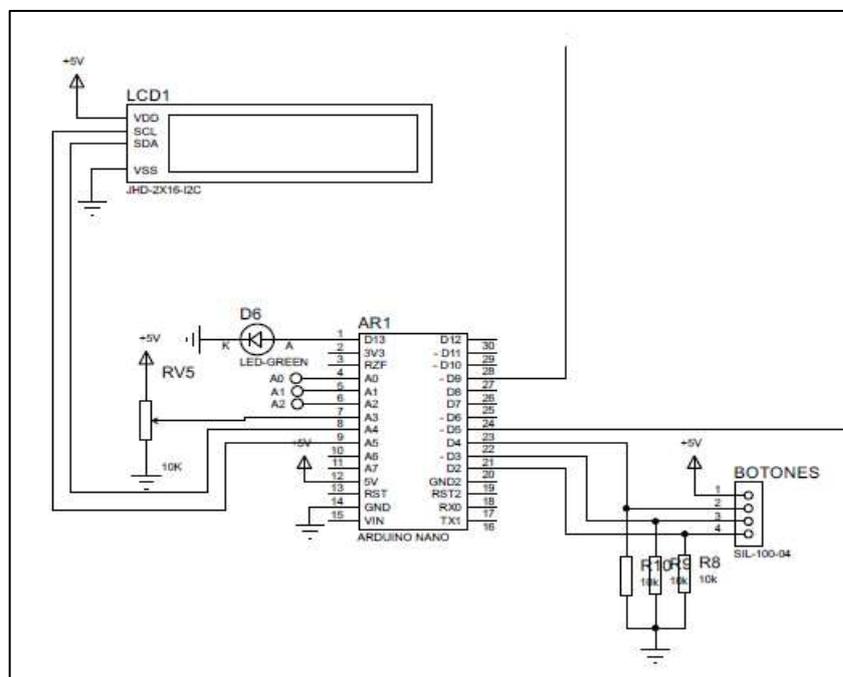


Ilustración 3-17: Circuito de monitoreo

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

Mediante el pin digital (D5) del Arduino también se puede activar el relé de activación de carga. También es esencial incorporar un control de carga de (inicio, detener y botón programable) estos botones se incorporaron externamente que se colocaron en la caja del cargador, es fundamental integrar luces LED de que nos permita identificar el estado de carga (encendido y apagado) para tener un mejor control de carga.

3.9.3. Circuito de comparación

Se realizó un comparador de voltaje utilizando un amplificador operacional LM354, con la finalidad de comparar un voltaje variable en la entrada del pin (2) con el voltaje referente del pin (3), de esta manera el voltaje de salida pin (1) se activa cuando el voltaje de entrada sea menor al referente teniendo un voltaje de 5V

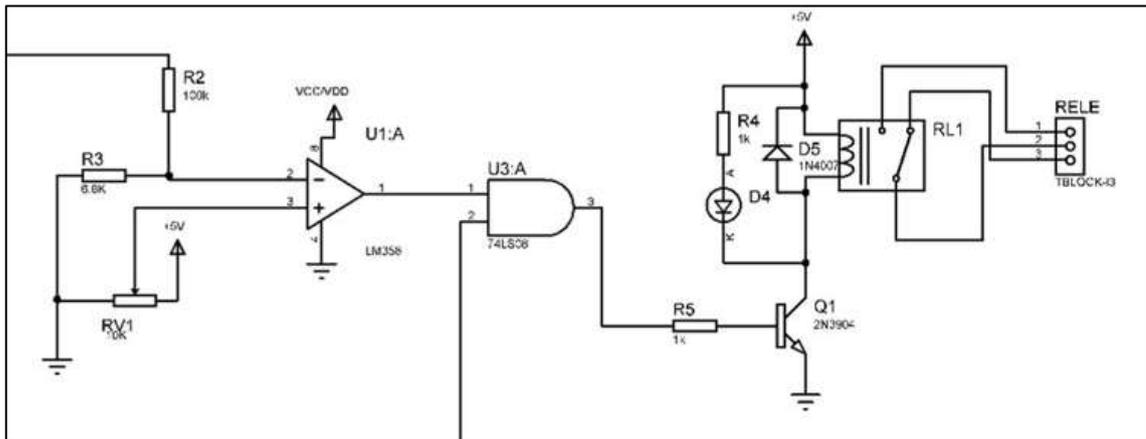


Ilustración 3-18: Circuito de Comparación de Voltaje

Realizado por: Guaquipana, J; Malqui, M, 2024.

Cuando el voltaje de entrada del pin (2) es mayor al valor referente del pin (3) se desactiva la carga. Cuando el voltaje de entrada del pin (2) es menor al valor referente del pin (3) se activa la carga. Cuando se tiene 5V en la base de transistor 2n3904 se energiza el relé y posteriormente se activa el contactor de carga.

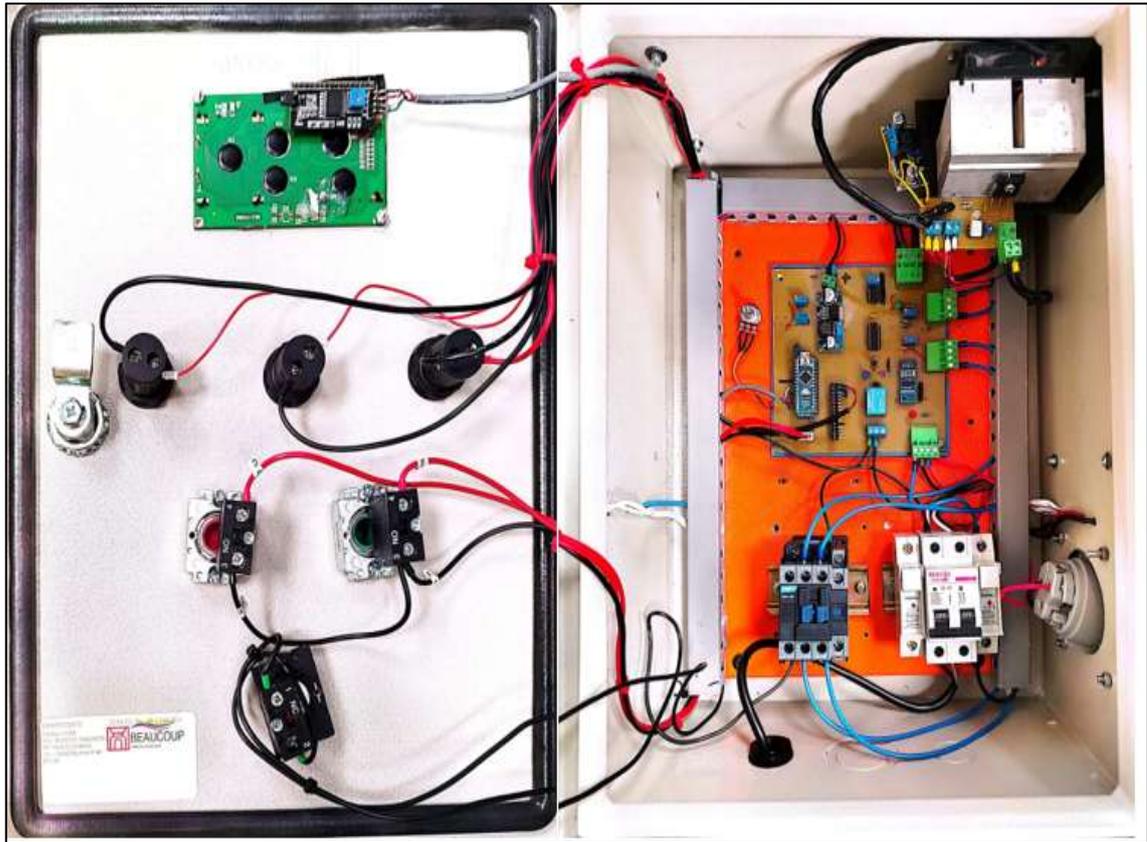


Ilustración 3-19: Circuito final de la fuente de alimentación para la batería LiFePO4.

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.10. Construcción de la estación de carga fotovoltaica

3.10.1. Ubicación de la estación fotovoltaica

Una vez seleccionado la ubicación donde se construirá la estación fotovoltaica, con todos sus componentes como es la matriz fotovoltaica, inversor, caja de protección y la fuente de 220V a 5A.



Ilustración 3-20: Ubicación de los componentes de la estación de carga.

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.10.2. Realización de la estructura metálica

Teniendo en cuenta el espacio disponible del voladizo del tejado que tiene como dimensiones 3x1 metros, donde se ha determinado la colocara la estructura metaliza. Los perfiles de acero seleccionados de acuerdo con las especificaciones proporcionadas en las tablas 3-2 a la 3-4.



Ilustración 3-21: Construcción de la estructura de soporte de acero

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

En la ilustración 3-11 se puede visualizar el ensamblaje total de la estructura, para llevar a cabo su construcción se utilizó el proceso de soldadura SMAW con electrodo 6011 para obtener una estructura rígida y estable.

3.10.3. Colocación de los paneles solar flexibles policristalinos

Una vez completada la construcción de la estructura de acero ASTM 36, se observa que la estructura se encuentra subdividida en 15 compartimento. Donde se procede a la colocación de los paneles solar con dimensiones de 614x540 mm, esto se lo hizo con la ayuda de pernos de acero y para una mejor fijación se utilizó también silicona líquida.



Ilustración 3-22: Colocación de los paneles solar a la estructura metálica

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.10.4. Conexión de los paneles solares en serie

Una vez realizado la fijación de los paneles solares con la estructura metálica se procede a la conexión en serie de todos los 15 paneles solares, con una potencia 50 W a 2.97 A cada panel solar.



Ilustración 3-23: Conexión en serie de los paneles solares

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

En la ilustración 3-17, se muestra la conexión en serie de los 15 paneles solares. Dónde se realizó la toma de datos mediante el multímetro obteniendo un voltaje de 327.4 voltios en circuito abierto de toda la matriz fotovoltaica. Se debe tener en cuenta que el voltaje varía según la radiación solar.

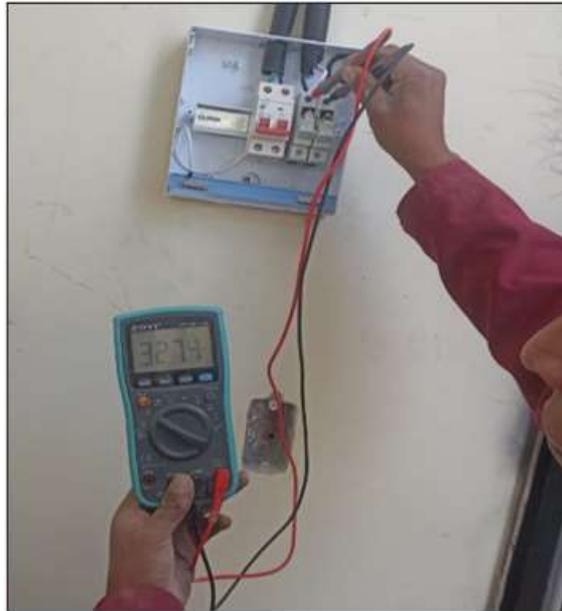


Ilustración 3-24: Medición de voltaje de la matriz fotovoltaica

Realizado por: Guaquipana, J; Malqui, M, 2024.

3.10.5. Protecciones para la instalación de la estación fotovoltaica

Una vez finalizado la instalación de la matriz fotovoltaica, es importante considerar los componentes de protección específicos destinados para la estación de carga. Para esto se debe llevar a cabo un análisis analítico con el objetivo de seleccionar apropiadamente cada componente.

3.10.5.1. Selección del portafusibles y fusible

Para el cálculo analítico se debe considerar el voltaje del panel solar en circuito abierto, así como la corriente de cortocircuito (ISC), Donde estos parámetros son esenciales para obtener la tensión y corriente de componentes a involucrarse.

Ecuación para el cálculo de tensión se muestra en la ecuación (6).

$$T = Voc * (N^{\circ} P. s) * 1.20 \quad (6)$$

Donde

- T = Tensión
- Voc = Voltaje en circuito abierto
- N°= Número de paneles solares
- 1.2 = Factor de corrección

Ecuación para el cálculo de corriente se muestra en la ecuación (7).

$$C = I_{sc} * 1.25 \quad (7)$$

Donde:

C = Corriente

Isc = Corriente de cortocircuito

1.5 = Factor de corrección

Obteniendo como resultado una tensión de 432 voltios y una corriente de 4.5 amperios a partir de estos datos obtenidos, se procede a la selección de los componentes de una porta fusible y el fusible correspondientes que cumplan con estas especificaciones.

3.10.5.2. Selección de breakers 110 V

Para la instalación se utilizó un breaker de 110 V la cual permiten la interrupción del flujo de la corriente en condiciones anormales como la sobrecarga y cortocircuitos. En Ecuador el voltaje de corriente es de 120 a 110 v, donde la selección adecuada asegura la fiabilidad del sistema eléctrico.

3.10.5.3. Selección de breakers 220 V

Para la instalación se utilizó un breaker de 220 V la cual permitirá la interrupción del flujo de la corriente en condiciones anormales como la sobrecarga y cortocircuitos. La selección adecuada de este componente garantiza la confiabilidad y la seguridad del sistema eléctrico.

3.10.5.4. Selección de vatímetro Monofásico

Se utilizó un vatímetro monofásico de la marca Huawei porque es un medidor de energía que es compatible con el inversor Huawei 2 KTL. Donde permite monitorear la cantidad de energía que está pasando a través de la instalación fotovoltaica.



Ilustración 3-25: Protecciones del sistema fotovoltaico

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.11. Estado de carga (SOC) de una Batería LiFePO4

El estado de carga (SOC) de una batería es un parámetro importante en base a la cual nos permite visualizar el porcentaje de energía acumulada durante el periodo de carga y descarga de la batería. Mediante el método de conteo de Coulomb se llevó a cabo el cálculo y la estimación de SOC de carga de la batería de fosfato de hierro y litio (LiFePO4) basándose en la curva característica de la batería.

$$SOC(t) = SOC_0 \mp \frac{n}{C} \int_{t_0}^t I(t) \cdot dt$$

Donde:

SOC_0 = Soc inicial de carga

C = Capacidad nominal Ah

n = Rendimiento de la batería

t = Tiempo final de carga

t_0 = Tiempo inicial de carga

$I(t)$: Corriente de carga de batería

Mediante la curva característica se procede a obtener el SOC_0 inicial de carga de la batería (LiFePO4) del vehículo Fórmula SAE, teniendo en consideración que este pack de baterías está conformado por 2 módulos de baterías que se encuentran conectadas en serie, teniendo un total de 16 celdas con un voltaje nominal de 3.2 V cada uno.

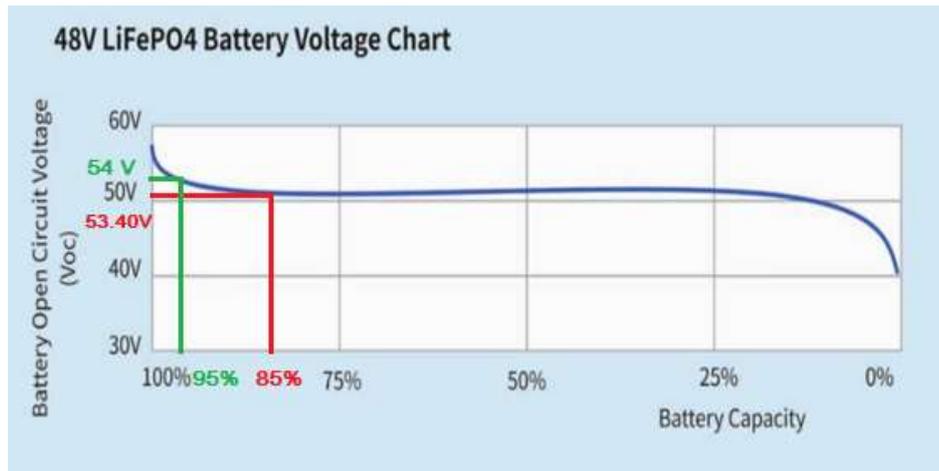


Ilustración 3-26: Curva Característica de la batería (LiFePO4)

Fuente: (LFP 2022)

Durante la recolección de datos de voltaje de descarga se obtuvo un valor final 53.4 voltios obteniendo un SOC_0 inicial de 85%

Donde:

$$SOC_0 = 85\%$$

$$C = 100 \text{ Ah}$$

$$n = 1$$

$$t = 2 \text{ horas}$$

$$t_0 = 0 \text{ horas}$$

$$I(t): 5 \text{ A}$$

$$SOC(t) = 0.85 + \frac{1}{100} \int_0^2 5(t) \cdot dt$$

$$SOC = 0.95 \cong 95\%$$

Se obtiene una Soc de carga de 95% con una fuente de 54 voltios a 5 amperios durante 2 horas de carga por el motivo que el pack de batería del vehículo fórmula SAE es completamente nueva por esta razón se realizó una carga lenta para evitar reducir el tiempo de vida útil de la batería.

3.11.1. Recolección de datos de carga y descarga del pack de batería del vehículo fórmula SAE

Para la recolección de datos se lo realizó en un intervalo de 5 minutos utilizando una pinza amperimétrica y un multímetro, donde se realizó la primera descarga del pack de batería del vehículo por un tiempo de 2 horas.

Tabla 3-10: Descarga del pack de la batería (LiFePo4)

Descarga			
Tiempo (min)	Tiempo (h)	Corriente (A)	Voltaje (descarga)
0	0.00	4.78	54.18
5	0.08	4.79	54.14
10	0.17	5	54.13
15	0.25	5	53.9
20	0.33	4.79	53.87
25	0.42	4.89	53.85
30	0.50	4.75	53.83
35	0.58	5	53.8
40	0.67	4.87	53.78
45	0.75	4.86	53.76
50	0.83	5	53.75
55	0.92	4.72	53.72
60	1.00	4.75	53.68
65	1.08	4.77	53.66
70	1.17	4.74	53.64
75	1.25	5	53.59
80	1.33	4.87	53.57
85	1.42	4.86	53.54
90	1.50	5	53.51
95	1.58	4.88	53.48
100	1.67	4.92	53.45
105	1.75	4.75	53.43
110	1.83	4.77	53.42
115	1.92	4.74	53.41
120	2.00	4.88	53.39

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

Una vez realizado la primera descarga se procede a realizar la carga del pack de baterías (LiFePo4), con una corriente constante de 5 A durante 2 horas y la obtención de datos en un intervalo de 5 minutos. Obteniendo una carga eficiente de 54 V culminado el tiempo de 2 horas.

Terminado la carga se procede a realizar la descarga del pack de batería (LiFePo4), con una corriente no constante entre (5 a 7) A por el funcionamiento del motor, durante 2 horas y obtención de datos en un intervalo de 5 minutos. Obteniendo un voltaje final de 53.40 V, como se muestras en la Tabla 3-8.

Tabla 3-11: Carga y descarga del pack de la batería (LiFePo4)

Carga				Descarga				
Tiempo (min)	Tiempo (h)	Corriente (A)	Voltaje (Carga)	Tiempo (min)	Tiempo (h)	X	Corriente (A)	Voltaje (descarga)
0	0.00	5	53.4	0	0.00	x0	5	54.02
5	0.08	5	53.45	5	0.08	x1	4.93	53.99
10	0.17	5	53.47	10	0.17	x2	4.78	53.96
15	0.25	5	53.5	15	0.25	x3	4.79	53.94
20	0.33	5	53.53	20	0.33	x4	5	53.91
25	0.42	5	53.54	25	0.42	x5	5	53.88
30	0.50	5	53.56	30	0.50	x6	4.79	53.85
35	0.58	5	53.58	35	0.58	x7	4.89	53.83
40	0.67	5	53.62	40	0.67	x8	4.7	53.81
45	0.75	5	53.66	45	0.75	x9	4.78	53.78
50	0.83	5	53.69	50	0.83	x10	4.92	53.76
55	0.92	5	53.71	55	0.92	x11	4.98	53.74
60	1.00	5	53.75	60	1.00	x12	4.75	53.71
65	1.08	5	53.78	65	1.08	x13	5	53.68
70	1.17	5	53.8	70	1.17	x14	4.87	53.65
75	1.25	5	53.83	75	1.25	x15	4.86	53.61
80	1.33	5	53.86	80	1.33	x16	5	53.58
85	1.42	5	53.88	85	1.42	x17	4.72	53.56
90	1.50	5	53.89	90	1.50	x18	4.75	53.52
95	1.58	5	53.9	95	1.58	x19	4.77	53.49
100	1.67	5	53.93	100	1.67	x20	4.74	53.47
105	1.75	5	53.95	105	1.75	x21	4.88	53.45
110	1.83	5	53.96	110	1.83	x22	4.92	53.43
115	1.92	5	53.99	115	1.92	x23	5	53.41
120	2.00	5	54	120	2.00	x24	4.96	53.4
Promedio			53.7292	Promedio			53.6972	

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

3.12. Cálculo de la eficiencia coulombica de la batería (LiFePo4)

La eficiencia coulombica (EC) de una batería es un parámetro importante que nos permite visualizar la fracción de energía eléctrica que se genera en los combustibles microbianas (CCM) a partir de un porcentaje de sustrato determinado. Se calcula como la relación entre la cantidad de energía eléctrica que se sustraen durante la descarga y la cantidad de energía que se utiliza para su carga.

$$EC = \frac{\int_{t_0}^t \text{descarga } I(t). dt}{\int_{t_0}^t \text{carga } I(t). dt} * 100\%$$

Donde:

EC = Eficiencia coulombica

$I(t)$ = Corriente de carga de bateria

100% = Porcentaje de EC

t = Tiempo final de carga

t_0 = Tiempo inicial de carga

Con los datos obtenido en la tabla 3-8. Se realiza la gráfica representativa entre la corriente y el tiempo en minutos. Donde la corriente debe ser constante durante la carga y descarga de la batería. En este caso la corriente de descarga no es constante donde se procede a graficar la curva de los datos recolectados, mediante la regla de Simpson 1/3 permite obtener el área aproximada bajo la curva.

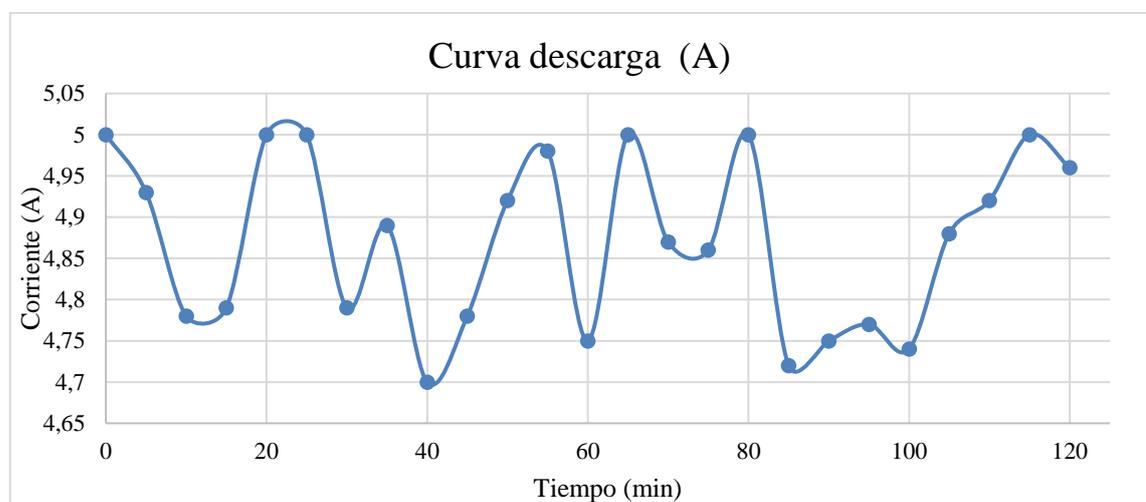


Ilustración 3-27: Curva de descarga (A)

Realizado por: Guaquipana, J; Malqui, M, 2024.

Mediante la curva de descarga de la batería se procese a realizar el cálculo analítico del área con el método Simpson 1/3.

$$\int_a^b f(t). dt = \frac{h}{3} * [y_0 + y_n + 2 * (\sum \text{ordenados pares}) + 4 * (\sum \text{ordenados impares})]$$

Donde:

h = Intervalo de tiempo de 5 minutos

y_0 = Datos inicial de la corriente

y_n = Dato final de la corriente

$$\int_0^2 f(t).dt = \frac{0.08}{3} * [5 + 4.96 + 2 * (63.18) + 4 * (58.6)]$$

$$\int_0^2 \text{descarga } I(t).dt = 9.8858 A$$

Calculo analítico de la Eficiencia coulombica.

$$EC = \frac{\int_0^2 \text{descarga } I(t).dt}{\int_{t_0}^t \text{carga } I(t).dt} * 100\%$$

$$EC = \frac{9.8858}{\int_0^2 5(t).dt} * 100\%$$

$$EC = \frac{9.8858 A}{10 A} * 100\%$$

$$EC = 9.8858 * 100\%$$

$$EC = 98.858 \%$$

$$EC \approx 99 \%$$

Se obtiene una eficiencia coulombica 99% por el motivo que el pack de batería del vehículo fórmula SAE es completamente nueva por esta razón se tiene una eficiencia coulombica del 99%, dando a conocer que la batería LiFePo4 se encuentra en óptimas condiciones de operación.

3.13. Topología de la instalación de la estación fotovoltaica

En la ilustración 3-19, se muestra la gráfica de la topología de la estación fotovoltaica diseñada para establecer cargar a la batería (LiFePO4) del vehículo de competición fórmula SAE. Esta topología se diseñó para garantizar un flujo de energía solar como de la red hacia las baterías de una forma segura y eficiente.

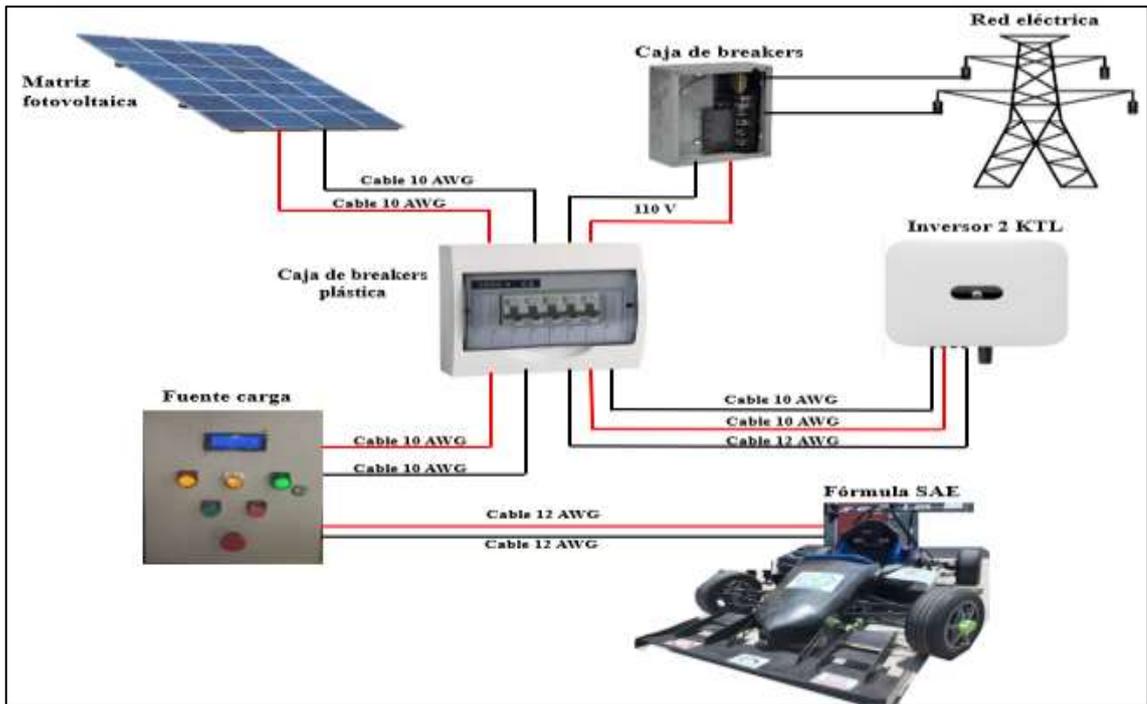


Ilustración 3-28: Topología de la estación fotovoltaica

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Con la ayuda del simulador PVsyst, y la aplicación de ecuaciones matemáticas se realizó un dimensionamiento óptimo para la implementación de la estación de carga fotovoltaica para el vehículo fórmula SAE, se emplearon 15 paneles solares, cada una con una potencia de 50W y una tensión de trabajo de 18V y una intensidad de corriente de 2.7A.

También se utilizó un inversor híbrido de alto rendimiento de la marca Huawei modelo Sun2000-(2KTL), Este equipo cuenta con una alta tecnología que tiene la capacidad de monitorear la producción del sistema fotovoltaico en tiempo real. Este monitoreo en tiempo real facilita una visibilidad inmediata sobre el rendimiento de la matriz fotovoltaica como también la carga de la fórmula SAE.

4.1. Prueba Fotovoltaica



Ilustración 4-1: Prueba Fotovoltaica

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

En la prueba se comprobó que los parámetros del fabricante del panel fotovoltaico tienen una tensión de 24 V y 0A, el amperaje se tiende a cero porque no hay consumidor conectado.

Se realizó una comparación con los valores proporcionados en la ficha técnica del fabricante, con los valores obtenidos en la prueba de funcionamiento en circuito abierto de la celda fotovoltaica obteniendo datos diferentes. Esto se presenta por simple razón que el fabricante realiza una prueba experimental en laboratorios, donde no se lo realizó en condiciones óptimas de funcionamiento.

4.2. Producción energética solar

La producción energética es la energía generada por la matriz fotovoltaicas, donde la energía varía dependiendo la radiación solar. Los factores que afecta la radiación solar pueden ser, como las estaciones del año, las condiciones climáticas locales y presencia de objetos que obstruyan de la radiación.

4.2.1. Interpretación de la radiación solar con respecto a la producción fotovoltaica implementada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Con los datos meteorológicos obtenidos en la Facultad de Ciencias, que se encuentran a 200 metros del sistema fotovoltaica donde se considera que encuentran en las mismas condiciones de radiación solar y producción energética de la matriz fotovoltaica, se observa que a mayor radiación solar se tiene mayor producción energética. Donde se realizó el monitoreo de producción energético del sistema fotovoltaica en el mes de enero del 2024, utilizando el inversor Huawei 2 KTL, que permite registro preciso y detallado de la generación de energía en tiempo real mediante la aplicación Fusión Solar. Con los datos obtenidos se evidenció una producción energética total de 71,81 kWh.

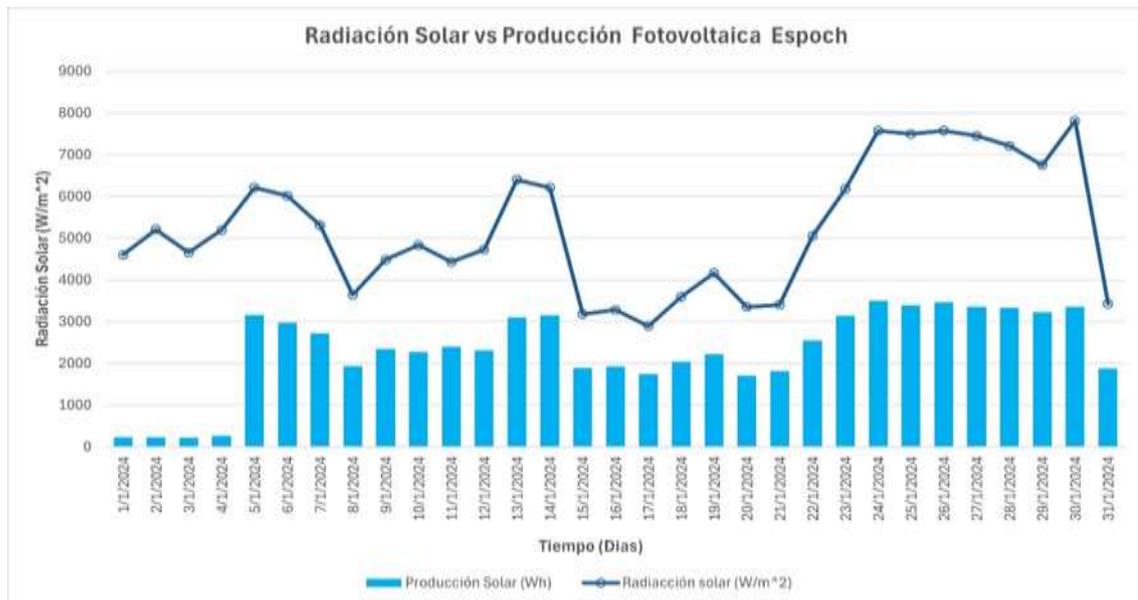


Ilustración 4-2: Radiación solar vs Producción fotovoltaica del mes de enero.

Realizado por: Guaquipana J., 2024

4.2.2. Producción Fotovoltaica con presencia de lluvia

Se realizó el monitoreo de producción energética de la matriz fotovoltaica en un día con presencia de lluvia, utilizando el inversor Huawei 2 KTL, que permite registro preciso y detallado de la generación de energía en tiempo real mediante la aplicación Fusión Solar. Los datos que se obtuvieron revelaron una producción energética total de 1.71 kWh. Donde destaca la eficiencia de producción energético en condiciones climáticas adversas. Donde se observó que la radiación solar disminuye por la presencia de lluvia y otros factores climáticos que se presentan, afecta directamente a la producción fotovoltaica generando una menor producción energética.



Ilustración 4-3: Producción diaria con presencia de lluvia.

Realizado por: Guaquipana J., 2024

4.2.3. Producción Fotovoltaica con presencia de nube

Se realizó el monitoreo de producción energética de la matriz fotovoltaica en un día nublado, utilizando el inversor Huawei 2 KTL, que permite registro preciso y detallado de la generación de energía en tiempo real mediante la aplicación Fusión Solar. Los datos que se obtuvieron revelaron una producción energética total de 2.22 kWh. Donde destaca la eficiencia de producción energético en condiciones climáticas adversas. Donde se observó que la radiación solar disminuye por la presencia de nube y otros factores climáticos que se presentan, afecta directamente a la producción fotovoltaica generando una menor producción energética.

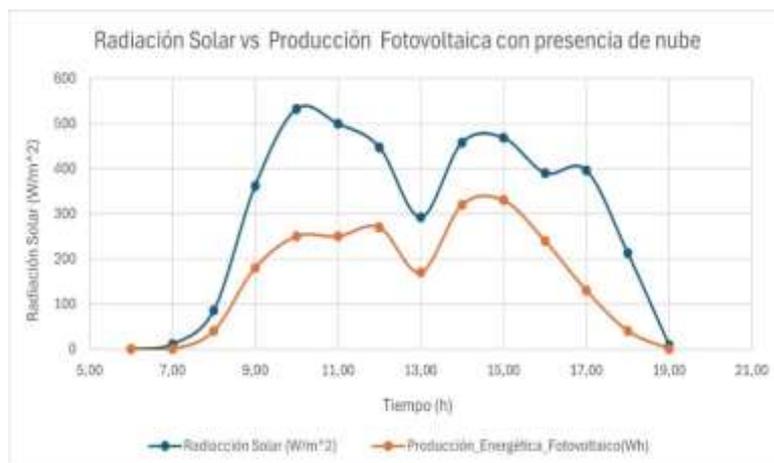


Ilustración 4-4: Producción diaria con presencia de nube

Realizado por: Guaquipana J., 2024

4.2.4. Producción Fotovoltaica en pleno sol

Se realizó el monitoreo de producción energético de la matriz fotovoltaica en un día soleado, utilizando el inversor Huawei 2 KTL, que permite registro preciso y detallado de la generación de energía en tiempo real mediante la aplicación Fusión Solar. Los datos que se obtuvieron revelaron una producción energética total de 3.50 kWh. Donde se observó que a mayor radiación solar se tiene mayor producción energética de la matriz fotovoltaico.



Ilustración 4-5: Producción diaria con presencia de sol

Realizado por: Guaquipana J., 2024

4.3. Producción energética del sistema anual.

Mediante el software PVsyst que es una herramienta de planificación de estaciones fotovoltaicas, nos permite establecer de manera precisa y detallada la producción energética anual. Esto se lo

puede realizar considerando las características específicas de cada uno de los componentes que forman la estación fotovoltaica.

Generador FV			
Módulos FV	ESF-50PA	Inversor	SUN2000-2KTL-L1
Potencia nominal	0.75 kWp	Inv. unidad de potencia	2.0 kW
Voltaje MPP	18.4 V	Núm. de entradas MPPT	1
Corriente MPP	2.7 A		
Resultados principales			
Producción del sistema	1101 kWh/año	Prod. normalizada	4.02 kWh/kWp/día
Prod. específica	1468 kWh/kWp/año	Pérdidas del conjunto	1.14 kWh/kWp/día
Proporción de rendimiento	0.744	Pérdidas del sistema	0.24 kWh/kWp/día

Ilustración 4-6: Producción anual del sistema fotovoltaico

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

Obteniendo una producción diaria del sistema de 4.02 kWh de igual manera se obtiene una pérdida 1.14 kWh diaria, este valor se genera por factores presentes en el sistema fotovoltaico como la suciedad y el envejecimiento. El sistema fotovoltaico genera una producción anual total de 1468 kWh/año con una proporción de rendimiento de un 74.4 %. En conclusión, los resultados obtenidos mediante la simulación son muy similares con el cálculo analítico realizados.

4.4. Estado de carga (SOC) de una Batería LiFePo4

Se obtuvo una Soc de carga de 95% con una fuente de 54 voltios a 5 amperios durante 2 horas de carga, considerando que el pack de batería del vehículo fórmula SAE es completamente nueva por este motivo se procedió a realizar una carga lenta evitando una sobre cargas y reducir el tiempo de vida útil de la batería.

4.5. Eficiencia coulombica de la batería (LiFePo4)

Se obtuvo una eficiencia coulombica 99% debido a que el pack de batería del vehículo fórmula SAE es completamente nueva por esta razón se tiene una eficiencia coulombica del 99%, dando a conocer que la batería LiFePo4 se encuentra en óptimas condiciones de operación con una alta eficiencia en el proceso de carga y descarga.

4.6. Análisis de costo

Tabla 4-1: Costo de los componentes de la estación fotovoltaica.

COSTOS DIRECTOS				
Cantidad	Descripción	Producto	Costo unitario	Costo total
15	Panel solar		\$ 30.00	\$ 450.00
1	Inversor Huawei 2KTL		\$ 600.00	\$ 600.00
2	Breakers 110		\$ 10.00	\$ 20.00
1	Breakers 220		\$ 12.00	\$ 12.00
2	Base de fusilera		\$ 1.72	\$ 3.44
2	Fusible cilíndrico 10A		\$ 0.36	\$ 0.72
1	Contactador eléctrico		\$ 10.32	\$ 10.32
1	Cable concéntrico 10 AWG		\$ 35.00	\$ 35.00
1	Cable concéntrico 12 AWG		\$ 22.50	\$ 22.50
2	Tubo tipo T		\$ 24.00	\$ 48.00
1	Tubo cuadrado		\$ 16.00	\$ 16.00
COSTOS INDIRECTOS				
1	Manguera corrugada		\$ 2.00	\$ 2.00
1	Correa de amarre plástica		\$ 2.00	\$ 2.00
1	Canastilla ranurada		\$ 4.00	\$ 4.00
1	Otros gastos		\$ 30.00	\$ 30.00
COSTO FINAL				\$ 1,245.98

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

4.6.1. Tiempo de recuperación de la inversión de la estación fotovoltaica

Para realizar el cálculo aproximado del tiempo de recuperación de los costos invertido se debe tomar en consideración de los diferentes parámetros importantes entre los cuales son:

- Conocer la tarifa de energía eléctrica (USD/kWh), mediante la página oficial EEASA (Empresa Eléctrica Ambato Regional centro norte S. A). Donde se da a conocer que el costo promedio a nivel nacional es de 9.2 centavos por cada kilovatio-hora (USD/kWh)
- La producción específica anual en (kWh)
- Inversión del sistema o estación fotovoltaicos
- Mantenimiento anual del sistema

Tabla 4-2: Tiempo de recuperación de inversión de la producción generada anual.

Año \ Costos	2024	2025	2026	2027	2028
Inversión sistema	\$1,245.98				
Producción Especifica (kWh)	1468	1468	1468	1468	1468
Costo producción específica	\$ 146.80	\$ 146.80	\$ 146.80	\$ 146.80	\$ 146.80
Costo mantenimiento	\$ 15.00	\$ 15.00	\$ 15.00	\$ 15.00	\$ 15.00
Ganancia	\$ 131.80	\$ 131.80	\$ 131.80	\$ 131.80	\$ 131.80
Ganancia acumulación	\$ 131.80	\$ 263.60	\$ 395.40	\$ 527.20	\$ 659.00
Flujo neto de inversión	\$ -1,114.18	\$ -982.38	\$ -850.58	\$ -718.78	\$ -586.98

	2029	2030	2031	2032	2033	2034
	1468	1468	1468	1468	1468	1468
	\$ 146.80	\$ 146.80	\$ 146.80	\$ 146.80	\$ 146.80	\$ 146.80
	\$ 15.00	\$ 15.00	\$ 15.00	\$ 15.00	\$ 15.00	\$ 15.00
	\$ 131.80	\$ 131.80	\$ 131.80	\$ 131.80	\$ 131.80	\$ 131.80
	\$ 790.80	\$ 922.60	\$ 1,054.40	\$ 1,186.20	\$ 1,318.00	\$ 1,449.80
	\$ -455.18	\$ -323.38	\$ -191.58	\$ -59.78	\$ 72.02	\$ 203.82

Realizado por: Guaquipana. J; Malqui. M, 2024.

Como se puede observar en la tabla 4-2, se muestra los resultados con los parámetros claves considerados anteriormente, se calcula un tiempo de recuperación de la inversión del sistema fotovoltaico, estimándose alrededor de 10 años. Además, proporciona una perspectiva valiosa sobre la viabilidad económica del sistema fotovoltaico implementado en la ESPOCH (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La revisión bibliográfica permitió identificar las características del panel solar de monocristalino, el cual presenta una eficiencia del 15% y 22%, en comparación con el panel policristalino que tiene una eficiencia del 13% y 17%. Donde se seleccionó el panel solar monocristalino por su eficiencia, rendimiento superior y mejor comportamiento en condiciones de calor.

Para garantizar una carga estable de 5 amperios a 54 voltios para las baterías de almacenamiento LiFePo4 del vehículo fórmula SAE. Se consideró mediante calculo analítico la potencia nominal de 750 W generada por los 15 paneles para la estación fotovoltaica.

La simulación mediante el software PVsyst garantiza un dimensionamiento óptimo de la estación fotovoltaica, donde se necesitan 15 paneles solares de 50 W, un inversor híbrido de 2000 W para garantizar la carga del pack de baterías de la fórmula SAE con una corriente de 5 A y un voltaje 54 V demostrado mediante calculo analítico.

La implementación de un circuito comparador de voltaje que permite la activación de los relés y contactores, considerando que el voltaje de entrada debe ser inferior al voltaje de referencia de 5 V equivalente a 57 V de la batería LiFePo4, permitiendo la activación de la carga del pack de baterías del vehículo fórmula SAE.

La medición de la potencia de los paneles solares por medio del inversor Huawei 2KTL en el mes de enero de 2024, donde se obtuvo una producción total de 71.81 kWh, de igual manera se analizó la producción en los días lluvioso, nublado y soleado, donde se identificó una reducción de potencia, 1.71kWh, 2.22 kWh y 3.5 kWh respectivamente.

El costo de la implementación del sistema fotovoltaico es elevado debido a la adquisición de un inversor sobre dimensionado, estratégicamente seleccionado con el propósito de permitir una configuración hasta una capacidad máxima de 3 KW en el sistema fotovoltaico.

5.1. Recomendaciones

La producción energética del sistema fotovoltaico, se debe usar equipos de alta eficiencia adecuados para las instalaciones solares como: inversores híbridos y paneles solares de mayor potencia con el fin de obtener un incremento en la producción energética.

Para minimizar las pérdidas por caída de tensión de corriente continua (DC), se recomienda instalar el inversor híbrido lo más cerca posible del sistema fotovoltaico. Esto garantizará una instalación más eficiente, mejorando el rendimiento y la producción energética

Garantizar una mayor producción energética en una matriz fotovoltaica se debe implementar un mecanismo o un seguidor solar que permita realizar movimiento de los paneles fotovoltaicos, de esta manera se aprovecharía con mayor preferencia la radiación solar y significativamente la producción energética aumentará, reduciendo pérdidas por presencia de sombra y ángulo de inclinación inadecuado.

Implementar un sistema de monitoreo a tiempo real para evaluar el rendimiento del sistema fotovoltaico de forma constante, esto permitirá evaluar y solventar cualquier problema que se presente, como averías en el inversor híbrido o presencia de sombreado en los paneles fotovoltaicos.

Para garantizar una mejor eficiencia de la producción energética, es necesario incorporar un módulo de batería de litio Huawei LUNA2000 de 5 KWh. Esto asegura el almacenamiento de energía en periodo de tiempo no consumido, con la finalidad de poder reutilizar la energía en una carga nocturna.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AHULLÓ, Marcos.** Diseño y programación de un sistema de gestión de baterías (BMS) para baterías LiFePO₄. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia-España. 2020. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/153439>
2. **ALITHIUM.** *Baterías ALITHIUM LiFePO₄*. vol. 52, no. 33, 2019. Disponible en: <https://alithium.org/>
3. **ALITHIUM.** *Módulo de batería de litio(LiFePo₄) 25,6 V 100Ah.* , vol. 52, no. 33, 2022. Disponible en: <https://alithium.org/>
4. **CASTILLO, Hugo.** Estudio de la Caracterización de una Batería de Descarga Profunda Tipo Gel en el Centro de Energías Renovables de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones-Universidad Nacional de Piura. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional de Piura. Perú. 2021.
5. **DAMIA, Susana.** *Conexión paneles solares: en paralelo, en serie, y conexión en serie y paralelo - Damia Solar Electrosol Energia S.L.* Conexión paneles solares: en paralelo, en serie, y conexión en serie y paralelo - Damia Solar Electrosol Energia S.L. 2023.
6. **DÍAZ, Vinicio & OÑATE Freddy.** *Research in alternative energy.* [en línea], Disponible en: https://www.ingenieriaverde.org/wpcontent/uploads/2020/01/Mapa_Solar_del_Ecuador_2019.pdf.
7. **DÍEZ, Pedro.** Principios básicos del vehículo eléctrico. *Universidad De Valladolid Escuela De Ingenierías Industriales* [en línea], Disponible en: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/36790>.
8. **DINAMARCA, XAVIER & BUELE, Ceci.** *Campos de datos de irradiación y meteorológicos.* [en línea], Disponible en: [http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30338/1/Trabajo de titulacion.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30338/1/Trabajo%20de%20titulacion.pdf).
9. **DIPAC.** *Catálogo DIPAC-Productos de Acero,* 2020. Disponible en: <https://dipacmanta.com/wp-content/uploads/2022/07/Catalogo-actualizado-JULIO-2022.pdf-3.pdf>
10. **DUQUE, Dina & ROCANO, Jaime.** Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador. 2020. Disponible en: <https://www.ups.edu.ec/>
11. **ELECTRO CABLE.** Electrocables - Catálogo de Productos. *Electro cable* [en línea], Disponible en: <http://www.electrocable.com/uploads/catficha/catalogo-electrocables-2018.pdf>.
12. **ELECTROSTORE.** *Fuente de poder (VOLTAJE) 220/110V A 24V 10A – Grupo Electrostore.* [en línea]. [consulta: 19 mayo 2024]. Disponible en: <https://grupoelctrostore.com/shop/fuentes-cargadores-y-adaptadores-de-voltaje/fuente-de->

poder-voltaje-220-110v-a-24v-10a/.

13. **EPA.** *La radiación ultravioleta.* 2001. Disponible en: [https://www.cdc.gov/spanish/nceh/especiales/radiacionuv/index.html#:~:text=La%20radiaci%C3%B3n%20ultravioleta%20\(UV\)%20es,causar%20riesgos%20para%20la%20salud.](https://www.cdc.gov/spanish/nceh/especiales/radiacionuv/index.html#:~:text=La%20radiaci%C3%B3n%20ultravioleta%20(UV)%20es,causar%20riesgos%20para%20la%20salud.)
14. **FERNÁNDEZ, Ana.** *SUN | Escáner.* [en línea]. [consulta: 18 julio 2023]. Disponible en: <https://mx.sun-workshopsolutions.com/es/products/diagnostic.>
15. **HUAWEI.** *Inversor de corriente CC - CA Lista de contenido.* [en línea], Disponible en: https://solar.huawei.com//media/Solar/attachment/pdf/mx/datasheet/FusionSolar_Solución_Inteligente_para_uso_Comercial_Residencial.pdf.
16. **INSTRUMENTS, T.** *LM358 - Low Power Dual Operational Amplifiers.* [en línea], no. January 2000, Disponible en: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/545593/TI/LM358M.html.>
17. **INVERSOR EOLICO.** *5000W cargador de inversor de onda sinusoidal pura.* [en línea], Disponible en: https://www.cosuper.com/inversor-cargador/5000w-cargador-de-inversor-de-onda-sinusoidal-pura-cpt5k_1.asp.
18. **JIMÉNEZ, B. & ROSERO, E.** Diseño e implementación de un poste de recarga de baterías para un prototipo de vehículo híbrido en la escuela de ingeniería automotriz. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba- Ecuador. 2021. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13575>
19. **LOPEZ, Martha & QUITO, Hilda.** Gestión de la de demanda para la recarga de vehiculos electricos aplicada a la regulacion ecuatoriana con generacion solar fotovoltaica. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador. 2020. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22604>
20. **LFP, KASHT.** Voltaje de la batería de litio | Proveedor Keheng LFP. *Keheng LFP* [en línea]. [consulta: 16 mayo 2024]. Disponible en: [https://www.lithiumbatterytech.com/es/lithium-battery-voltage/.](https://www.lithiumbatterytech.com/es/lithium-battery-voltage/)
21. **MACIAS, Nidia.** Diseño de prototipo de carga para vehículos eléctricos basado en sistemas fotovoltaicos híbridos. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Bogota-Colombia. 2022. Disponible en: <https://informacion.unad.edu.co/index.php/acerca-de-la-unad/resena-historica>
22. **MAMAMI, Bernardo.** *Tipos de paneles fotovoltaicos.* 2017. Disponible en: <https://endef.com/tipos-de-paneles-solares/>
23. **MARÍN FERNÁNDEZ, Eduardo.** *Diseño e implementación de un sistema de gestión de baterías (BMS) para una moto eléctrica de competición.* Dsponibleen: https://oa.upm.es/53389/1/TFG_ENRIQUE_MARIN_FERNANDEZ.pdf
24. **Monar, Mónica et. al.** Disposición final e impacto ambiental de las celdas fotovoltaicas Final disposal and environmental impact of photovoltaic cells. *Publicaciones en Ciencias y*

Tecnología, vol. 14, no. 2020, ISSN 2477-9660. DOI 10.13140/RG.2.2.36089.60004/1.

25. **MOSFET, Pierina.** *IRFP450.* [en línea]. Disponible en: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/22408/STMICROELECTRONICS/IRFP450.html>.
26. **MUST.** *Manual Usuario Regulador Carga Solar PWM 10A, 20A, 30A Lea detenidamente este manual antes de utilizar el regulador.* 2018. Disponible en: <https://Autosolar.Es/>
27. **NOVOA, ARQUITEC.** Tema 11 - Inversores. *Introducción a la Electrónica de Potencia* [en línea], Disponible en: http://www.uv.es/~emaset/iep00/temas/IEP11_0607.pdf.
28. **ORDÓÑEZ, Claudia.** Estudio de baterías para vehículos eléctricos. *Enterprise.Uc3M.Es*, 2011.
29. **PARAPI, Jennifer & PESANTEZ, German.** *Implementación de un sistema generador de carga eléctrica, utilizando paneles solares, para el incremento de la autonomía de un vehículo eléctrico Kia Soul.* S.l.: s.n. ISBN 0103827366.
30. **PARDO, Cristian.** *Regulador de panel solar - batería - carga con microcontrolador PIC.* [en línea], Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1383/IME_076.pdf?se.
31. **PAVÓN, María.** Diseño de una marquesina fotovoltaica de una estación de servicio para el apoyo de la recarga de vehículos eléctricos. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universitat Jaume I Escola. España. 2020. Disponible en: <https://www.uji.es/centres/estce/>
32. **PILATAXI, Jhon.** *Transmision epicicloidal.* 2018. Disponible en: https://www.seas.es/blog/disenio_mecanico/el-engranaje-epicicloidal-y-aplicaciones/
33. **RAYA, Irina.** Gestión optimizada de estación de carga de vehículos eléctricos con apoyo solar fotovoltaico e hidrógeno verde. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de Sevilla. Sevilla- España. 2022.
34. **RÍOS, Walter & TENESACA, Carlos.** Implementación de un Panel Fotovoltaico mediante un estudio de captación de energía para un prototipo de vehículo impulsado por Energía Solar". (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba- Ecuador. 2020. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/13471>
35. **ROMO, Marlon.** *Batería Hibrida Ni-Mh 20En Simulink , Para Verificar Los Estados De Carga Y Salud.* [en línea], Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/da8tos/9844/1/15474.pdf>.
36. **SALAZAR, Carmen.** Desarrollo de un sistema de monitoreo en tiempo real para el diagnóstico en la gestión del funcionamiento y mantenimiento de las estaciones de carga de automóviles eléctricos de la empresa Jasec. (Trabajo de titulación) (Maestría). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. Disponible en: <https://www.tec.ac.cr/campus-centros>

37. **SOLARANYWHERE.** *Campos de datos de irradiación y meteorológicos.* Disponible en: <https://www.solaranywhere.com/es/support/data-fields/definitions/>
38. **SOLARMAT.** *Panel solar flexible.* Panel solar flexible. Disponible en: https://www.sunpalsolar.com/es/categoria/modulos-fotovoltaicos/?source=ad&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwkdO0BhDxARIsANkNcrfUvyCuxM4X6qbQUZ5dj0uIceS6KcnWtKHzi_T9rF4vVHRoryx_BP8aAnK9EALw_wcB
39. **TORRES, Lina.** Sistema de carga de paneles solares con baterías de autos eléctricos. (Trabajo de titulación) (Maestría). Instituto Politecnico Nacional. Distrito Federal- México. 2013. Disponible en: <https://www.ipn.mx/oferta-educativa/posgrado/>
40. **VALLADOLID, Julio & GUIRACOCHA, Antonio.** Analysis of Regenerative Braking Efficiency in an Electric Vehicle Through Experimental Tests. *Ingenius*, vol. 2023, no. 29, ISSN 1390860X. DOI 10.17163/ings.n29.2023.02.
41. **VÁSQUEZ, María.** Descripción de variables meteorológicas. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga Ecuador. 2022. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/9720/1/PC-002470.pdf>
42. **VICTRON ENERGY.** *Baterías de fosfato de hierro y litio de 12,8 voltios.* [en línea], Disponible en: <https://www.renova-energia.com/productos/bateria-fosfato-hierro-litio-lfp-smart-12-200/%0Awww.victronenergy.com>.
43. **VIERA, Jairo.** “Diseño e implementación de un sistema de generación de energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas ubicada en las riveras del río payamino de la ciudad del Coca para la Empresa Orellana Turismo Ep”. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Técnica De Ambato. Ambato-Ecuador. 2020.

Total 43 referencias bibliográficas

ANEXOS

ANEXO A: ESPECIFICACIÓN DE LA PLATINA ESTRUCTURAL

PERFILES LAMINADOS PLATINAS



Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 115
Calidad:	ASTM A36 - SAE J 403 1008
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Espesores:	3mm a 20mm
Acabado:	Acero negro y galvanizado

PERFILES



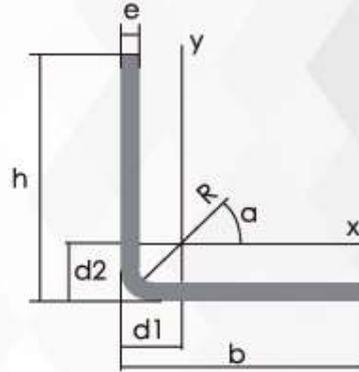
Denominación	Dimensiones		Peso		Área
	mm		kg/m	kg/6m	cm ²
	A	e			
PLT 12X3	12	3	0,28	1,70	0,36
PLT 12X4	12	4	0,38	2,45	0,48
PLT 12X6	12	6	0,57	3,40	0,72
PLT 19X3	19	3	0,45	2,68	0,57
PLT 19X4	19	4	0,60	3,58	0,76
PLT 19X6	19	6	0,89	5,37	1,15
PLT 25X3	25	3	0,59	3,53	0,75
PLT 25X4	25	4	0,79	4,71	1,00
PLT 25X6	25	6	1,18	7,07	1,50
PLT 25X12	30	3	0,71	4,24	0,90
PLT 30X4	30	4	0,94	5,65	1,20
PLT 30X6	30	6	1,41	8,47	1,80
PLT 30X9	30	9	2,12	12,71	2,70
PLT 30X12	30	12	2,83	16,95	3,60
PLT 38X3	38	3	0,89	5,37	1,15
PLT 38X4	38	4	1,19	7,16	1,52
PLT 38X6	38	6	1,79	11,40	2,28
PLT 38X9	38	9	2,69	16,11	3,42
PLT 38X12	38	12	3,58	21,48	4,56
PLT 50X3	50	3	1,18	7,08	1,50
PLT 50X4	50	4	1,58	9,42	2,00
PLT 50X6	50	6	2,26	14,16	3,00
PLT 50X9	50	9	3,53	21,20	4,50
PLT 50X12	50	12	4,71	28,26	6,00
PLT 65X6	65	6	3,06	18,37	3,90
PLT 65X9	65	9	4,59	27,55	5,85

2. ANEXO B: ESPECIFICACIÓN DEL PERFIL ESTRUCTURAL ÁNGULO "L" DOBLADO

PERFILES ESTRUCTURALES ÁNGULOS "L" DOBLADO

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 1623
Calidad:	ASTM A36
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Espesores:	Desde 2.00mm - 12mm
Acabado:	Acero Negro



Ángulos de alas iguales																				
Descripción	b	h	e	Masa	Área	d1	d2	Ángulo a	Eje X - X			Eje Y - Y			Eje U - U			Eje V - V		
									Ix	Wx	rx	Iy	Wy	ry	Iu	Wu	ru	Iv	Wv	rv
	mm	mm	mm	Kg/m	cm ²	cm	cm	(°)	cm ⁴	cm ³	cm									
L 20x 2	20	20	2	0,57	0,73	0,60	0,60	45,00	0,28	0,20	0,62	0,28	0,20	0,62	0,46	0,32	0,79	0,10	0,14	0,37
L 20 x 3	20	20	3	0,81	1,03	0,65	0,65	45,00	0,38	0,28	0,60	0,38	0,28	0,60	0,63	0,45	0,78	0,12	0,17	0,34
L 25x 2	25	25	2	0,73	0,93	0,72	0,72	45,00	0,56	0,32	0,78	0,56	0,32	0,78	0,92	0,52	1,00	0,20	0,23	0,47
L 25x 3	25	25	3	1,05	1,33	0,78	0,78	45,00	0,78	0,45	0,77	0,78	0,45	0,77	1,30	0,74	0,99	0,26	0,30	0,45
L 30 x 2	30	30	2	0,88	1,13	0,85	0,85	45,00	1,00	0,46	0,94	1,00	0,46	0,94	1,63	0,77	1,20	0,37	0,35	0,57
L 30x 3	30	30	3	1,28	1,63	0,90	0,90	45,00	1,40	0,67	0,93	1,40	0,67	0,93	2,32	1,09	1,19	0,49	0,46	0,55
L 30x 4	30	30	4	1,65	2,10	0,95	0,95	45,00	1,76	0,86	0,91	1,76	0,86	0,91	2,93	1,38	1,18	0,58	0,55	0,52
L 40x 2	40	40	2	1,20	1,33	1,10	1,10	45,00	2,44	0,84	1,26	2,44	0,84	1,26	3,96	1,40	1,61	0,92	0,65	0,78
L 40x 3	40	40	3	1,75	2,23	1,15	1,15	45,00	3,49	1,22	1,25	3,49	1,22	1,25	5,71	2,02	1,60	1,27	0,90	0,75
L 40x 4	40	40	4	2,28	2,90	1,20	1,20	45,00	4,44	1,59	1,24	4,44	1,59	1,24	7,23	2,59	1,59	1,55	1,10	0,73
L 40x 5	40	40	5	2,77	3,54	1,25	1,25	45,00	5,29	1,92	1,22	5,29	1,92	1,22	8,80	3,11	1,58	1,77	1,25	0,71
L 50x 2	50	50	2	1,51	1,93	1,35	1,35	45,00	4,85	1,33	1,59	4,85	1,33	1,59	7,85	2,22	2,02	1,85	1,05	0,98
L 50x 3	50	50	3	2,22	2,83	1,40	1,40	45,00	7,01	1,95	1,57	7,01	1,95	1,57	11,42	3,23	2,01	2,61	1,47	0,96
L 50x 4	50	50	4	2,90	3,70	1,45	1,45	45,00	9,01	2,54	1,56	9,01	2,54	1,56	14,76	4,18	2,00	3,25	1,84	0,94
L 50x 5	50	50	5	3,56	4,54	1,50	1,50	45,00	10,84	3,10	1,55	10,84	3,10	1,55	17,89	5,06	1,99	3,79	2,14	0,91
L 60x 3	60	60	3	2,69	3,43	1,65	1,65	45,00	12,34	2,84	1,90	12,34	2,84	1,90	20,03	4,72	2,42	4,65	2,19	1,16

ANEXO C: ESPECIFICACIÓN DEL PERFIL TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

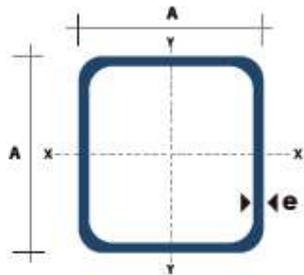
TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o Galvanizado
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm a 100mm
Espesores:	Desde 1,20mm a 5,00mm



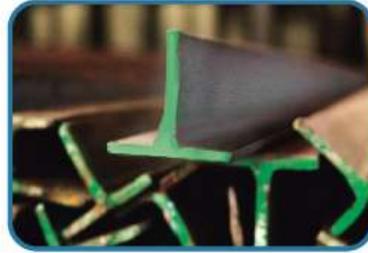
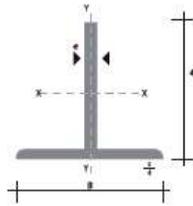
TUBERÍA



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97

ANEXO D: ESPECIFICACIÓN DEL PERFIL ESTRUCTURAL TEES "T"

TEES

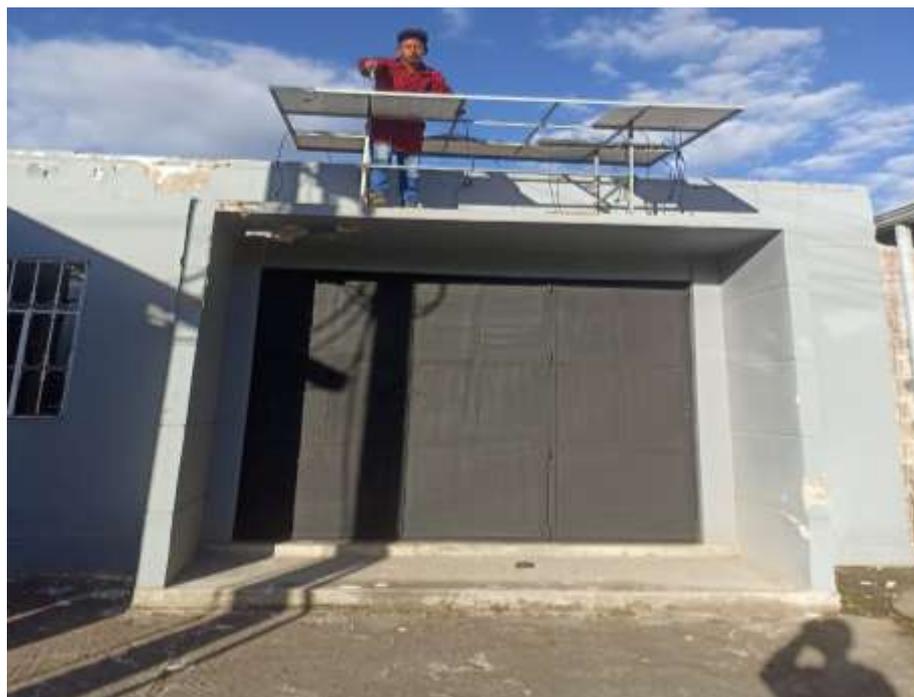


Denominación	Dimensiones			Peso		Área
	mm			kg/m	kg/6m	
	A	B	e			
TEE 20X3	20	20	3	0,90	5,40	1,15
TEE 25X3	25	25	3	1,19	7,14	1,52
TEE 30X3	30	30	3	1,41	8,48	1,80

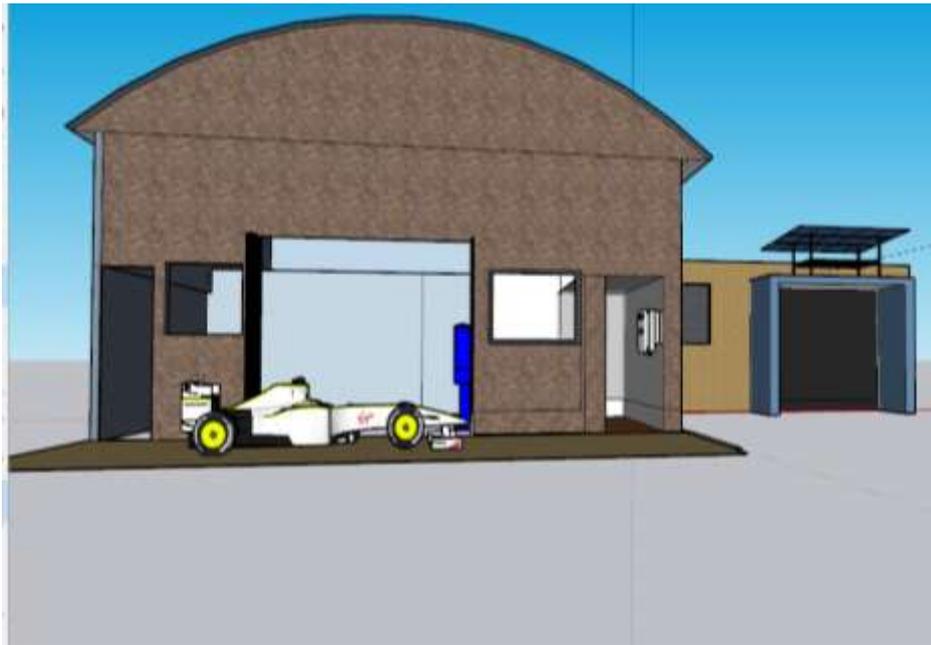
ANEXO E: CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA



ANEXO F: INSTALACIÓN DE LOS PANELES SOLARES A LA ESTRUCTURA METÁLICA



ANEXO G: UBICACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA



ANEXO H: REDICIÓN SOLAR POR MES EN LA ESPOCH

Parámetros del sitio geográfico para Hacienda Macaji, MHA.L.317

Coordenadas geográficas | Muestra mensual | Mapa interactivo

Sitio: Hacienda Macaji (Ecuador)
Fuente de datos: Meteonorm B.1 (2016-2021), Sat=100%

	Irradiación horizontal global	Irradiación difusa horizontal	Temperatura	Velocidad del viento	Turbidez Linke	Humedad relativa
	kWh/m²/mes	kWh/m²/mes	°C	m/s	[]	%
Enero	183.2	67.4	14.1	3.70	2.698	75.2
Febrero	158.2	69.2	14.0	3.50	2.766	77.1
Marzo	181.5	78.1	13.9	3.26	2.709	76.1
Abril	172.8	64.1	13.6	3.00	2.588	76.0
Mayo	177.0	60.4	13.7	3.60	2.541	76.8
Junio	159.6	53.0	12.9	4.46	2.408	77.5
Julio	155.3	62.8	12.8	5.01	2.455	74.6
Agosto	144.7	68.5	12.9	4.90	2.742	71.9
Septiembre	140.3	67.7	13.0	4.38	2.675	72.5
Octubre	180.3	61.2	14.0	3.50	2.887	72.9
Noviembre	170.3	73.1	13.9	3.00	2.845	75.1
Diciembre	177.5	77.5	14.2	3.35	2.854	75.2
Año	1688.9	633.6	13.6	3.8	2.667	75.6

Irradiación horizontal global variabilidad año a año: 6.8%

Detalles requeridos:

- Irradiación horizontal global
- Temperatura ext. promedio

Detalle adicional:

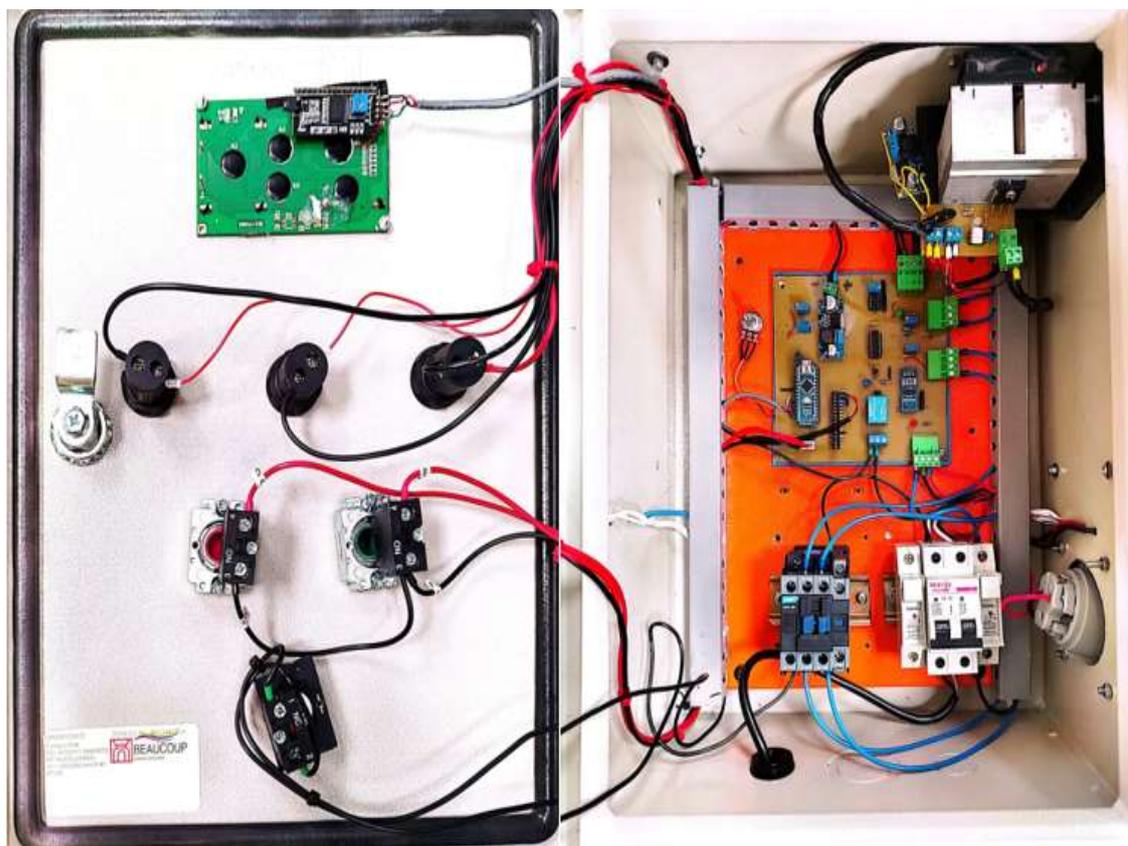
- Irradiación difusa horizontal
- Velocidad del viento
- Turbidez Linke
- Humedad relativa

Unidades de irradiación:

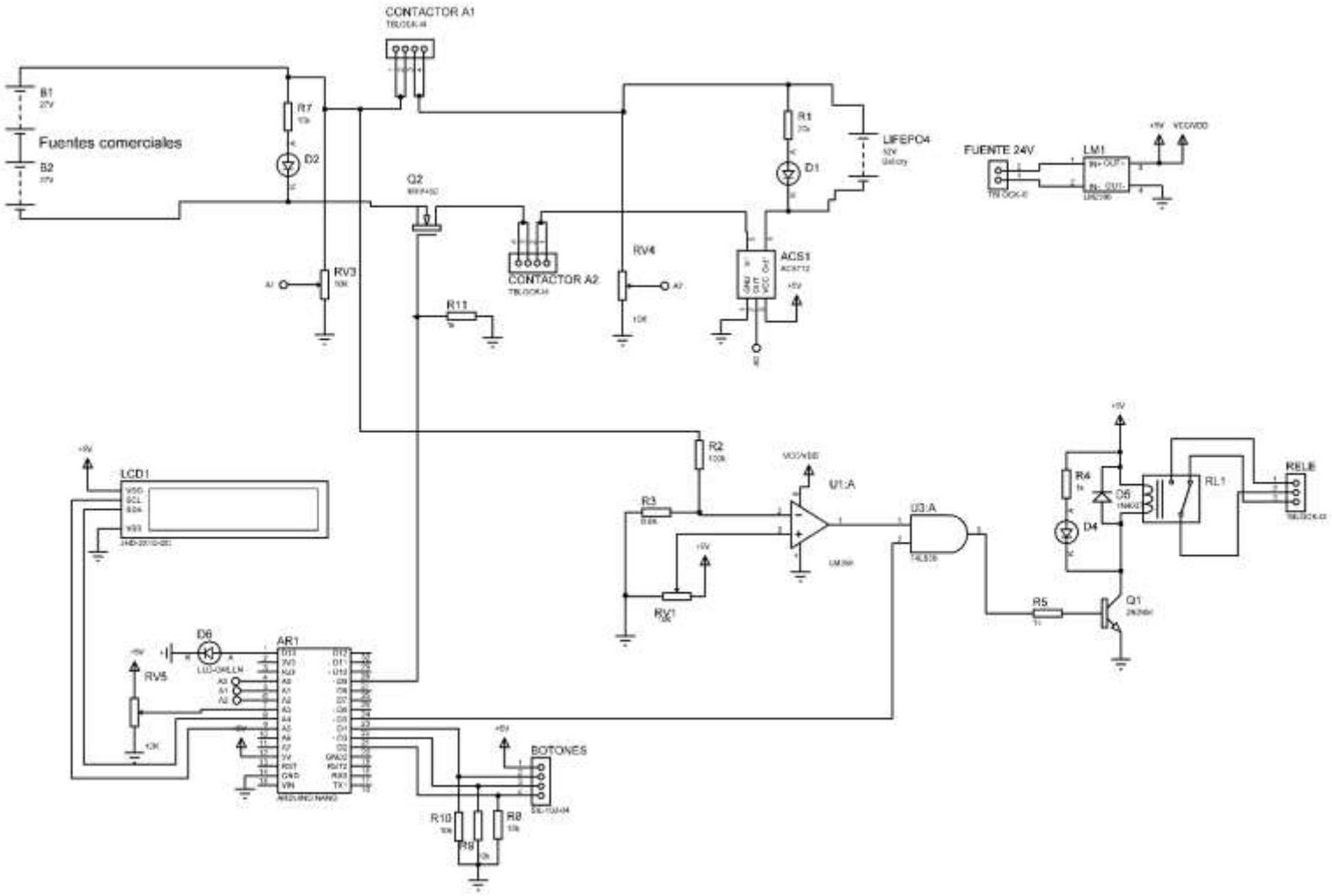
- kWh/m²/año
- kWh/m²/mes
- MJ/m²/día
- MJ/m²/hora
- W/m²
- Índice de claridad KI

Importar | Exportar línea | Exportar tabla | Nuevo año | Imprimir | Cancelar | OK

ANEXO I: DISEÑO FINAL DEL CIRCUITO DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE LA BATERÍA LIFEP04



ANEXO J: DISEÑO FINAL DEL CIRCUITO DE LA FUENTE ALIMENTACIÓN DE LA BATERÍA (LIFEPO4) EN EL SOFTWARE PROTEUS



ANEXO L: CÓDIGO DEL MICROPROCESADOR

```
#include <Wire.h>
#include<LiquidCrystal_I2C.h>
#define I2C_ADDR    0x27

LiquidCrystal_I2C      lcd(I2C_ADDR,2, 1, 0, 4, 5, 6,
7);

int star=3;
int sto=4;
int estado=0;
float Sensibilidad=0.066;
int enable=5;
int pwm=0;
float V, I, Vset;

float umbralCorriente = 0.700; // Umbral de corriente en
amperios
unsigned long tiempoEspera = 300000; // 300,000 milisegundos
= 5 minutos
unsigned long tiempoInicio = 0;
// initialize the library by associating any needed LCD
interface pin
// with the arduino pin number it is connected to

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(5,OUTPUT);
  pinMode(9,OUTPUT);
  pinMode(3,INPUT);
  pinMode(4,INPUT);

  // set up the LCD's number of columns and rows:
  lcd.begin (20,4);
  lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE);
  lcd.setBacklight(HIGH);
  lcd.home ();
}

void loop() {
  int aux=analogRead(A6);
```

```

// pwm=map(aux,0,1023,0,255);
I=get_corriente(400);//obtenemos la corriente promedio de
500 muestras
V=get_voltaje(400);//obtenemos la corriente promedio de 500
muestras
Vset=get_set(20);
// analogWrite(9,pwm);
star=digitalRead(3);
sto=digitalRead(4);
if(star==HIGH){estado=1;}
if(sto==HIGH){estado=0;}

Serial.print("estado: ");
Serial.print(estado);
Serial.print(" Vset: ");
Serial.print(Vset);
Serial.print(" V: ");
Serial.print(V);
Serial.print(" PWM: ");
Serial.println(pwm);

lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("V Cargador: ");
lcd.print(V,1); lcd.setCursor(17, 0); lcd.print("[V]");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("V. Corte: ");
lcd.print(Vset,1); lcd.setCursor(17, 1); lcd.print("[V]");
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("Corriente: ");
lcd.print(I,3); lcd.setCursor(17, 2); lcd.print("[A]");

if(estado==1 && Vset>V)
{
  if(I<=5)
  {
    pwm=pwm+1; if(pwm>=255){pwm=255;}
    analogWrite(9,pwm);
    delay(100);
  }
}

```

```

        lcd.setCursor(17, 3); lcd.print(pwm);
    }
    digitalWrite(enable, HIGH);
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("CONTACTOR ON");

    if(pwm>=255)
    {
        Serial.println("PWM mayor a 255");
        if(I<umbralCorriente) {

            Serial.println("I < umbralCorriente");
            // Si la corriente es menor al umbral
            if (tiempoInicio == 0) {
                tiempoInicio = millis(); // Inicia el
contador de tiempo
                Serial.println("Corriente baja. Iniciando
conteo de tiempo.");
            }
            Serial.print("Tiempo conteo: ");
            Serial.println((millis() -
tiempoInicio)/1000);
            lcd.setCursor(16, 3); lcd.print((millis() -
tiempoInicio)/1000);
            // Si ha pasado el tiempo de espera,
desactiva el relé
            if (millis() - tiempoInicio >= tiempoEspera) {
                estado=0;
                Serial.println("Relé desactivado.");
            }
        }
    }
    }else{
    digitalWrite(enable, LOW);

    pwm=0;
    lcd.setCursor(17, 3); lcd.print(pwm);
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("CONTACTOR OFF");
    }
}

```

```

// Serial.print("Corriente: ");
// Serial.println(I,3);
// delay(50);
}

float get_corriente(int n_muestras)
{
    float voltajeSensor;
    float corriente=0;
    for(int i=0;i<n_muestras;i++)
    {
        voltajeSensor = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0);
        ///lectura del sensor
        corriente=corriente+(voltajeSensor-2.5)/Sensibilidad;
        //Ecuación para obtener la corriente
    }
    corriente=corriente/n_muestras;
    if(corriente<=0.1){corriente=0;}
    return(corriente);
}

float get_voltaje(int n_muestras)
{
    float voltajeSensor;
    float voltaje=0;
    for(int i=0;i<n_muestras;i++)
    {
        voltajeSensor = analogRead(A1) * (86.0 / 1023.0);
        ///lectura del sensor
        voltaje=voltaje+voltajeSensor; //Ecuación para obtener
la corriente
    }
    voltaje=voltaje/n_muestras;
    if(voltaje<=0.1){voltaje=0;}
    return(voltaje);
}

float get_set(int n_muestras)
{
    float voltajeSensor;
    float voltaje=0;

    for(int i=0;i<n_muestras;i++)
    {
        voltajeSensor = analogRead(A3) * (300.0 / 1023.0);
        ///lectura del sensor
        voltaje=voltaje+voltajeSensor; //Ecuación para obtener
la corriente
    }
    voltaje=voltaje/n_muestras;
    if(voltaje<=0.1){voltaje=0;}
    return(voltaje);
}

```



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 31/07/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Jorge Roberto Guaquipana Patín Marco Vinicio Malqui Mariño
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Ingeniería Automotriz
Título a optar: Ingeniero Automotriz
 Dr. Mario Efraín Andelo Guevara Director del Trabajo de Integración Curricular
 Ing. Fabián Celso Gunsha Maji Asesor del Trabajo de Integración Curricular