

IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE CARGA ELÉCTRICA POR
PÁNELES SOLARES PARA DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS EN ZONAS NO
INTERCONECTADAS DEL DEPARTAMENTO DEL META

CRISTIAN JOSÉ CASTAÑEDA JUNCA

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ D.C.

2023

IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE CARGA ELÉCTRICA POR
PÁNELES SOLARES PARA DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS EN ZONAS NO
INTERCONECTADAS DEL DEPARTAMENTO DEL META

CRISTIAN JOSÉ CASTAÑEDA JUNCA

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
MECATRÓNICO

Director:

MEng. JAIME ALEJANDRO QUIROGA FORERO

Co-Directora:

MSc. NYDIA CAROLINA CHÁVES GARCÍA

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ D.C.

2023

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 24 de febrero de 2023

Dedicatoria

Este proyecto va dedicado a todas las personas que de una u otra forma me apoyaron voluntaria y amorosamente a lo largo de todo mi proceso de formación como ingeniero mecatrónico, sin todas ellas hubiera sido diferente la historia hasta el día de hoy.

Principalmente quiero dedicárselo a mi verdadero papá, mi abuelo materno José del Carmen Junca Lozano; a mi mamá Elsa María Junca Bernal y a mi segunda mamá, mi abuela materna Gloria Alcira Bernal de Junca, que fueron aquellas personas que me criaron, me enseñaron y me siguen ayudando a salir adelante en la vida desde siempre. En segundo lugar, a mis tíos Juan Carlos, Leonardo, Liliana y Floralba, que durante estos años siempre estuvieron dispuestos a ayudarme y apoyarme cuando se los pedía o veían que lo necesitaba. Por último, al resto de mi familia, a mis amigos y a los docentes que también estuvieron presentes en este proceso de formación.

Nota de agradecimiento

Agradezco y agradeceré siempre a todas las personas que se involucraron en el desarrollo de este proyecto, ya que no fue fácil conseguir realizarlo y sin ellas hubiera sido diferente.

Primero agradezco a mi papá José, a mi mamá Elsa y a mi segunda mamá Gloria, que siempre estuvieron de acuerdo con todo lo que quise hacer y me apoyaron en su desarrollo en todo sentido. A mi amigo Alex Suta, por colaborarme con gran parte de la manufactura; a mi amiga Melissa Ramírez, por ayudarme con parte de la financiación del proyecto; a mi tío Leonardo, por su colaboración con la parte eléctrica del sistema; a Alejandro y Carolina, que además de ser mis directores del proyecto son mis amigos y que siento me ayudaron desde el corazón con el desarrollo de este proyecto y también con mi desarrollo como profesional; y a todas y cada una de las demás personas que me aportaron y me ayudaron para lograrlo. Sin todos ustedes este proyecto de grado no sería lo que hoy es.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN	23
3. OBJETIVOS	27
3.1 OBJETIVO GENERAL	27
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
4. MARCO REFERENCIAL.....	28
4.1 ESTADO DEL ARTE.....	28
4.2 MARCO HISTÓRICO.....	30
4.3 MARCO TEÓRICO	32
4.3.1 Recurso solar	32
4.3.2 Tecnologías en células solares fotovoltaicas.....	35
4.3.3 Generalidades en la fabricación de paneles solares	37
4.3.4 Economía circular	38
4.3.5 Diseño circular	40
4.3.6 Diseño de sistemas mecánicos	42
4.3.6.1 Materiales de ingeniería	42
4.3.7 Diseño de sistemas eléctricos fotovoltaicos	44
4.3.7.1 Reguladores de carga	44
4.3.7.2 Inversores	45
4.3.7.3 Baterías electroquímicas.....	46
4.4 MARCO CONCEPTUAL.....	52
4.5 MARCO LEGAL.....	53
4.6 MARCO GEOGRÁFICO	55
5. DISEÑO METODOLÓGICO.....	57
5.1 TIPO Y ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	57
5.2 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	57
5.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	58
5.4 POBLACIÓN Y MUESTRA	58

5.5	PROCEDIMIENTO Y FASES	59
6.	CRITERIOS DE DISEÑO	62
6.1	CRITERIOS DE DISEÑO ELÉCTRICO	62
6.1.1	Necesidades energéticas	62
6.1.2	Recursos energéticos	70
6.1.3	Elementos generales del sistema eléctrico.....	76
6.1.4	Protecciones eléctricas.....	77
6.2	CRITERIOS DE DISEÑO MECÁNICO	78
6.2.1	Requisitos específicos	78
6.2.2	Diseño modular	79
6.2.3	Sostenibilidad	79
6.2.4	Cantidad de componentes.....	79
7.	DISEÑO	81
7.1	DISEÑO ELÉCTRICO.....	81
7.1.1	Cantidad de dispositivos a conectar y energía de consumo.....	81
7.1.2	HSP corregida	85
7.1.3	Factor de seguridad.....	87
7.1.4	Potencia y cantidad de paneles solares	88
7.1.5	Potencia regulador de carga.....	89
7.1.6	Capacidad del sistema del almacenamiento de energía	89
7.1.7	Potencia del inversor	90
7.1.8	Cableado eléctrico	91
7.1.9	Protecciones eléctricas.....	93
7.1.10	Selección de los elementos comerciales.....	94
7.1.11	Simulación sistema eléctrico	100
7.2	DISEÑO MECÁNICO.....	120
7.2.1	Estructura	120
7.2.1.1	Miembro estructural.....	120
7.2.1.2	Geometrías y topologías	123
7.2.2	Piezas de espesor constante.....	126
7.2.3	Métodos de unión	132
7.2.4	Creación de los módulos estructurales.....	134

7.2.5	Simulación.....	135
7.2.6	Árboles de fallas.....	146
8.	IMPLEMENTACIÓN.....	150
7.3	FABRICACIÓN.....	150
7.4	PUESTA EN OPERACIÓN.....	154
7.5	ENSAMBLE FINAL.....	156
9.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	157
10.	CONCLUSIONES.....	168
11.	RECOMENDACIONES.....	170
	BIBLIOGRAFÍA.....	171
	ANEXOS.....	177

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Revisión documental.	28
Tabla 2.	Valores de las variables eléctricas de teléfonos celulares.	67
Tabla 3.	Valores variables eléctrica de computadores portátiles.	68
Tabla 4.	Datos de irradiación global y brillo solares diarios en Puerto López. .	70
Tabla 5.	Resumen datos energéticos.	85
Tabla 6.	Matriz de decisión factor de corrección k	86
Tabla 7.	Resultados HSP Corregida.	87
Tabla 8.	Secciones transversales para las cuatro etapas.	91
Tabla 9.	Corrientes en etapa de CC a máxima potencia.	93
Tabla 10.	Corrientes en etapa de CA a máxima potencia.	94
Tabla 11.	Matriz de decisión tecnología del panel solar.	95
Tabla 12.	Referencias comerciales de paneles solares preseleccionados.	95
Tabla 13.	Matriz de decisión panel solar comercial.	96
Tabla 14.	Matriz de decisión tecnología regulador de carga.	96
Tabla 15.	Referencias comerciales de reguladores preseleccionados.	97
Tabla 16.	Matriz de decisión regulador de carga comercial.	97
Tabla 17.	Matriz de decisión tecnología de baterías.	98
Tabla 18.	Referencias comerciales de baterías preseleccionadas.	99
Tabla 19.	Matriz de decisión batería comercial.	99
Tabla 20.	Referencias comerciales de inversores preseleccionados.	100
Tabla 21.	Matriz de decisión inversor comercial.	100
Tabla 22.	Temperaturas mensuales en Puerto López.	101
Tabla 23.	Matriz de decisión material miembro estructural.	122

Tabla 24.	Matriz de decisión forma del perfil del miembro estructural.	122
Tabla 25.	Matriz de decisión tamaño perfil comercial.	123
Tabla 26.	Matriz de decisión materiales para paredes.	127
Tabla 27.	Masas y pesos elementos cámara sistema eléctrico.	139
Tabla 28.	Resultados funcionamiento en los días 1 a 3.	157
Tabla 29.	Resultados funcionamiento en los días 1 a 3.	160
Tabla 30.	Resultados día de autonomía banco de baterías.	163
Tabla 31.	Resultados evaluación de rendimiento.	164
Tabla 32.	Comparativa de precio de energía comercial y generada.	167

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Porcentaje de los países con más emisores de CO ₂	17
Figura 2.	Comparación entre las emisiones de China y de Latinoamérica.....	18
Figura 3.	Estado de las ZNI en Colombia para el año 2019.....	20
Figura 4.	Comparación entre las energías solar y eólica de 2009 a 2019.....	23
Figura 5.	Crecimiento fuentes de energía a nivel mundial en 2019.....	24
Figura 6.	Línea de tiempo energía solar.....	31
Figura 7.	Reducción de la densidad de irradiación solar.....	33
Figura 8.	Efectos de las estaciones y atenuación atmosférica.....	33
Figura 9.	Efectos de la latitud sobre la irradiación solar.....	34
Figura 10.	Mapamundi de irradiación solar entre 2017 y 2021.....	34
Figura 11.	Irradiancia en sobre diferentes escenarios.....	35
Figura 12.	Estructuras de células solares fotovoltaicas.....	35
Figura 13.	Espesor de tecnologías de células PV.....	36
Figura 14.	Esquema de la utilidad de cada grupo de tecnologías PV.....	37
Figura 15.	Proceso de fabricación de paneles solares de silicio.....	37
Figura 16.	Etapas de la Economía Circular.....	39
Figura 17.	Etapas del ciclo de consideración para un Diseño Circular.....	41
Figura 18.	Relación entre las ciencia e ingeniería de materiales.....	43
Figura 19.	Clasificación de los materiales en ingeniería.....	43
Figura 20.	Ilustración instalación eléctrica conectada a red pública.....	45
Figura 21.	Categorías de tecnologías de baterías.....	46
Figura 22.	Costo energético de las baterías electroquímicas.....	47
Figura 23.	Formas y tamaños de baterías de Plomo—ácido.....	48

Figura 24.	Batería de Ion de Litio compuesta de varias celdas.....	49
Figura 25.	Avances en costos.....	50
Figura 26.	Crecimientos y decrecimientos históricos en baterías de litio.	51
Figura 27.	Crecimiento proyectado de manufactura de baterías de litio.	51
Figura 28.	Imagen satelital del centro poblado La Balsa.....	55
Figura 29.	Resultados preguntas 1, 7 y 13.	63
Figura 30.	Resultados preguntas 2 y 8.	64
Figura 31.	Resultados preguntas 3 y 9.	64
Figura 32.	Resultados preguntas 4 y 10.	65
Figura 33.	Resultados preguntas 5 y 11.	65
Figura 34.	Resultados preguntas 6 y 12.	66
Figura 35.	Tabla de radiación promedio horaria de Villavicencio, Meta.	71
Figura 36.	Distribución de Irradiación y brillo solares en Villavicencio.	72
Figura 37.	Temperaturas promedio mensuales en Puerto López.	73
Figura 38.	Precipitaciones promedio mensuales en Puerto López.	74
Figura 39.	Humedad relativa promedio mensual en Villavicencio.....	75
Figura 40.	Diagrama de bloques instalación fotovoltaica aislada.....	76
Figura 41.	Clasificación de tecnología de almacenamiento de energía.	77
Figura 42.	Esquemático circuito paralelo de carga simultánea.	83
Figura 43.	Esquemático circuito serie de carga simultánea.	84
Figura 44.	Tabla para seleccionar los valores de factor de corrección k	86
Figura 45.	Tabla de calibres AWG y su conversión a mm ²	92
Figura 46.	Modelo panel solar en Simulink.	102
Figura 47.	Parámetros del modelo 'PV Array' en Simulink.....	103

Figura 48.	Comportamiento de V, I y P a diferentes irradiancias.	104
Figura 49.	Comportamiento de V, I y P a diferentes temperaturas.	105
Figura 50.	Circuito de máxima potencia en Simulink.	106
Figura 51.	Resultados simulación a 25°C y 1000W/m ²	107
Figura 52.	Ingreso a configuración del modelo de Simulink.	107
Figura 53.	Selección Configuración Importación/Exportación de datos.	108
Figura 54.	Activación e importación de variables.	108
Figura 55.	Conexión elemento 'Inport' en el modelo de Simulink.	108
Figura 56.	Resultados de V a temperaturas mínimas en Simulink.	109
Figura 57.	Resultados de V a temperaturas medias en Simulink.	109
Figura 58.	Resultados de V a temperaturas máximas en Simulink.	110
Figura 59.	Resultados de I y P a temperaturas mínimas en Simulink.	111
Figura 60.	Resultados de I y P a temperaturas medias en Simulink.	111
Figura 61.	Resultados de I y P a temperaturas máximas en Simulink.	112
Figura 62.	Modelo batería electroquímica en Simulink.	113
Figura 63.	Parámetros generales modelo de batería en Simulink.	113
Figura 64.	Parámetros de descarga modelo de batería en Simulink.	114
Figura 65.	Corriente nominal de descarga característica.	114
Figura 66.	Comportamiento de la batería a diferentes en descarga.	115
Figura 67.	Parámetros de envejecimiento modelo de batería en Simulink. ...	115
Figura 68.	Circuito de máxima potencia a consumir.	116
Figura 69.	Establecimiento del tiempo de simulación en Simulink.	116
Figura 70.	Bloques del solver de Simulink de tiempos discreto y continuo. ...	117
Figura 71.	Parámetros de powergui de Simulink.	117

Figura 72.	Estados finales de las baterías	118
Figura 73.	Resultados V, I y P sistema de almacenamiento completo.....	119
Figura 74.	Tabla de propiedades acero estructural ASTM A572 grado 50. ...	121
Figura 75.	Tabla de propiedades aleación aluminio 1060 H12.	121
Figura 76.	Dimensiones panel solar CSUN 370-72M.....	123
Figura 77.	Croquis 3D estructura base de la estación en SolidWorks.	125
Figura 78.	Modelo 3D de la estructura base en SolidWorks.	126
Figura 79.	Modelo 3D pared horizontal en SolidWorks.	128
Figura 80.	Modelo 3D pared lateral larga en SolidWorks.....	128
Figura 81.	Modelo 3D pared lateral corta en SolidWorks.....	129
Figura 82.	Modelo 3D paredes ensambladas en SolidWorks.	129
Figura 83.	Tabla de propiedades madera maciza de pino.	130
Figura 84.	Modelo 3D de la mesa en la estructura en SolidWorks.	131
Figura 85.	Modelo 3D del suelo en la estructura en SolidWorks.....	132
Figura 86.	Operación para unión en mesa de trabajo en SolidWorks.....	133
Figura 87.	Método de unión roscada entre piezas en SolidWorks.....	134
Figura 88.	Despiece de módulos con líneas de explosión en SolidWorks.	135
Figura 89.	Nodos de unión en la estructura de simulación en SolidWorks. ...	136
Figura 90.	Materiales aplicados a miembros estructurales en SolidWorks. ...	137
Figura 91.	Conjunto de contactos entre miembros en SolidWorks.	137
Figura 92.	Puntos de apoyo de la estructura para la simulación.....	138
Figura 93.	Aplicación de fuerza a los miembros estructurales inferiores.	139
Figura 94.	Fuerzas en miembros estructurales cámara eléctrica.....	140
Figura 95.	Fuerzas en miembros estructurales soporte de panel solar.....	141

Figura 96.	Parámetros de mallado en SolidWorks.	142
Figura 97.	Detalles de la malla hecha sobre la estructura.	142
Figura 98.	Estructura mallada en SolidWorks.	143
Figura 99.	Resultados de simulación de esfuerzos en la estructura.	144
Figura 100.	Resultados de simulación de desplazamiento en la estructura.	144
Figura 101.	Resultados de simulación de deformación unitaria estructura.	145
Figura 102.	Resultados de simulación de factor de seguridad en estructura.	146
Figura 103.	Árbol de Fallas No 1 – Eléctrico.	147
Figura 104.	Árbol de Fallas No 2 – Eléctrico.	147
Figura 105.	Árbol de Fallas No 3 – Eléctrico.	148
Figura 106.	Árbol de Fallas No 4 – Eléctrico.	148
Figura 107.	Árbol de Fallas No 4 – Mecánico.	149
Figura 108.	Fotografía Módulo A de la estructura.	150
Figura 109.	Fotografía Módulo B de la estructura.	151
Figura 110.	Fotografía Módulo C de la estructura.	151
Figura 111.	Fotografía Módulo D de la estructura.	152
Figura 112.	Pared lateral corta cámara sistema eléctrico.	153
Figura 113.	Mesa de trabajo.	153
Figura 114.	Circuito de prueba para carga de una batería.	154
Figura 115.	Estación de carga en modo prueba.	155
Figura 116.	Estación de carga ensamblada.	156
Figura 117.	Temperatura durante los días de prueba.	165

LISTA DE ANEXOS

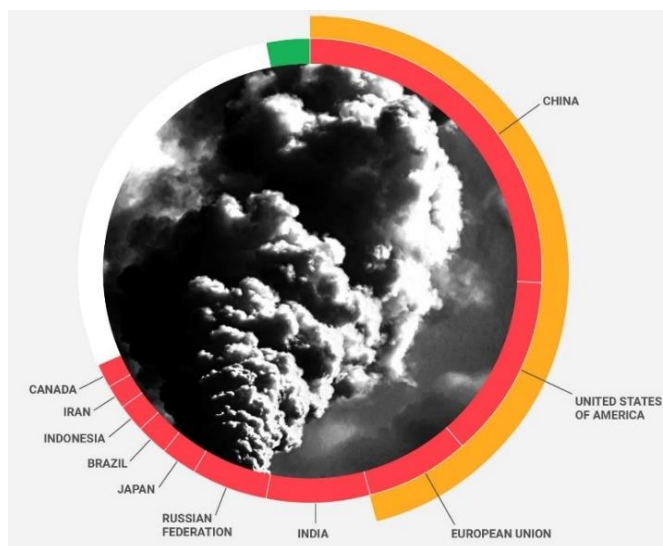
ANEXO A. Tabla 2.1 RETIE.....	177
ANEXO B. Panel solar CSUN.....	179
ANEXO C. Regulador de carga MPPT EPEVER.....	181
ANEXO D. Batería de litio VNH LiFePo.....	184
ANEXO E. Inversor de onda completa EPEVER.....	186
ANEXO F. Planos eléctricos.....	190
ANEXO G. Planos de fabricación mecánicos.....	192
ANEXO H. Manual de Usuario.....	209
ANEXO I. Recursos.....	231

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cambio climático es un proceso natural que la tierra sufre desde hace varias décadas por el cual se experimentan gran cantidad de variaciones de temperaturas más calientes y frías, lluvias y vientos torrenciales, sequías, entre otros, que son causadas por las actividades humanas (United Nations, 2020b). Estas consecuencias vienen principalmente por la generación de gases de efecto invernadero que a su vez vienen de los procesos de las grandes cantidades de dióxido de carbono, metano y otros gases que se dan al quemar combustibles fósiles para vehículos, calefacción de edificios y casas, la manufactura, la agricultura y el sector de la energía (United Nations, 2020b). Las concentraciones de los gases de efecto invernadero han causado que desde el siglo XIX la temperatura promedio de la tierra haya aumentado en 1.1°C, lo cual ha hecho que aumentan las sequías, incendios espontáneos, variaciones en las mareas de los mares, etcétera y que por tanto el cambio climático sea un problema global de importancia.

Según la Organización de las Naciones Unidas, para evitar catástrofes peores en el futuro cercano, se deben de reducir en un 45% estas emisiones para el año 2030 y alcanzar un cero absoluto de gases de efecto invernadero en el año 2050. La transición a un mundo sin emisiones es hoy en día el reto más grande que tiene la humanidad para su futuro; con esto se piensa principalmente que cambiar la forma en cómo se genera la energía que se consume diariamente es lo primero, debido a que esta industria es la responsable del 75% de los gases de efecto invernadero que se emiten a la atmósfera (United Nations, 2020a) ya que se relaciona con las otras industrias que más aportan.

Figura 1. Porcentaje de los países con más emisores de CO2.

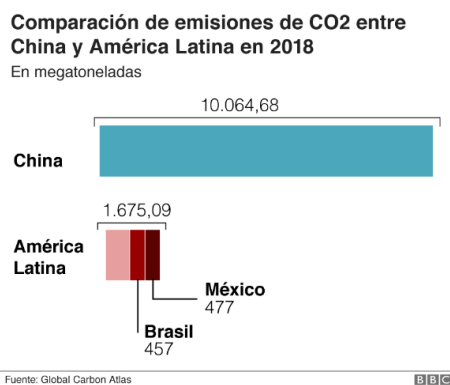


Fuente: (United Nations, 2020a).

Estados Unidos, China y la Unión Europea son los mayores emisores de gases de efecto invernadero, los cuales ya hacen parte del grupo de los 70 países que lideraron de se comprometieron en 2016 a reducir y eliminar sus emisiones en el acuerdo de París, cubriendo así un 76% del total mundial (United Nations, 2020a). Estos tres a su vez están liderando el desarrollo de tecnologías y métodos de trabajo sustentables ejemplares, para que se acoplen en todo el mundo y así acelerar la transición a cero emisiones, enfocados especialmente en los métodos de generación de electricidad por fuentes de energías renovables. Para el caso de los Estados Unidos, según el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de ese país se espera que con la nueva Ley de Reducción de la Inflación firmada en 2022, para el año 2030 las energías solar y eólica generen el 60% de la electricidad demandada allí ya que esta ley promueve la inversión local en investigación, desarrollo e innovación de nuevas tecnologías renovables y de igual manera aumentar la exportación de productos fabricados en Norteamérica (Norman, 2023). Para el caso de China, para el año 2020 contó con el 70% de la producción global de módulos fotovoltaicos y sigue aumentando su cadena de suministro y de igual manera es el país que más instala capacidad de renovables (International Energy Agency, 2020). Y para el caso de la Unión Europea, debido a las crisis sociales y geopolíticas, se ha estado radicando desde febrero de 2023 el Acuerdo Verde Europeo para incentivar aún más el despliegue y manufactura de tecnologías de energías renovables (Sanchez Molina & Santos, 2023).

En América Latina los problemas del cambio climático se evidencian principalmente en las extremas temperaturas altas, sequías y aumento del nivel del mar (WWF, 2021). Estas consecuencias se presentan mayormente en las zonas costeras de los océanos Pacífico y Atlántico, y del mar Caribe debido a que sus condiciones geográficas así lo permiten. A pesar de que Brasil y México sean los únicos países de Latinoamérica que tengan un alto porcentaje de participación a nivel mundial (BBC News Mundo, 2019), los demás países son también partícipes en la generación de los gases, lo cual hace que deban de igual manera comprometerse a cambiar sus procesos industriales.

Figura 2. Comparación entre las emisiones de China y de Latinoamérica.



Fuente: (BBC News Mundo, 2019).

Para el año 2017, Colombia cerró su capacidad de generación eléctrica neta en el Sistema Interconectado Nacional con 16,7 GW de potencia; de los cuales un 63,7% provino de recursos hídricos, 31,5% de recursos combinados de gas, carbón, gasolina y combustóleo, y el 4,8% restante quedó para fuentes de energía no convencionales (Enel Colombia, 2019). Estos datos indican que el sector de la generación de electricidad colombiano está atrasado en cuanto a su transición energética por su baja participación de sus fuentes de energías renovables. Además, Colombia al ser un país geográficamente accidentado y tropical, presenta el problema de que en todo lo largo de su territorio no es posible el fácil acceso para la implementación de la infraestructura necesaria con el fin de suministrar energía eléctrica a todas sus zonas pobladas, por lo que hay gran cantidad de territorios que no cuentan con este servicio en su totalidad o que simplemente no lo tienen.

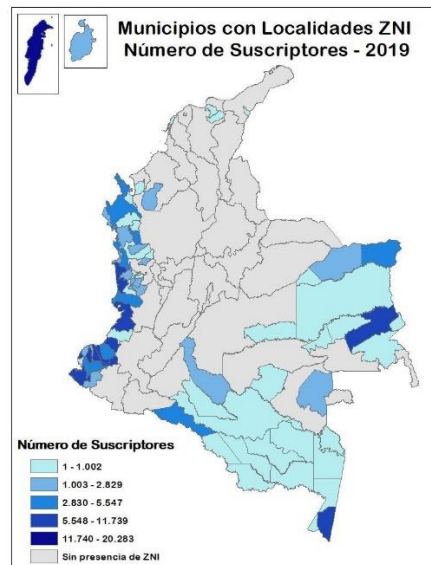
Las Zonas No Interconectadas (ZNI) son aquellas zonas donde el Sistema Interconectado Nacional (SIN) no está presente. El Artículo 11 de la Ley 143 de 1994 las define como aquellas zonas “donde no se presta el servicio público de electricidad a través del Sistema Interconectado Nacional” (Bustos González et al., 2014); El Artículo 1 de la Ley 855 de 2003 las define como “los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al Sistema Interconectado Nacional” (Comisión de Regulación de Energía y Gas, n.d.). Según el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE), estas representan un 53% del territorio nacional (García et al., 2020a). Con más de 20 departamentos involucrados, son 74 los municipios que se ven afectados con el problema de no tener el acceso a energía eléctrica, las cuales son cifras de gran importancia en términos de cantidad de zonas y territorio cubierto y a pesar de poder tener una gran capacidad operativa, casi no se han desarrollado ni implementado las soluciones para solventar este problema y los que acarrearía por la intervención directa del medio (García et al., 2020a).

Teniendo en cuenta sus definiciones y sus datos, en estas ZNI habitan personas que no tienen acceso a electricidad constante y/o de calidad, lo cual hace más difícil su desarrollo de vida en ámbitos personales, académicos, profesionales, laborales, etcétera. Debido a los altos costos que acarrea el tratar de hacer que el SIN llegue a todo el territorio nacional y el gran impacto ambiental que dejaría su instalación de transporte, operación y mantenimiento, en el país aún no se tienen soluciones óptimas para que el 100% de los habitantes cuenten con este servicio desde cualquier tipo de fuente de energía. Esto con el paso del tiempo empobrece aún más la calidad de vida de los colombianos que residen en las ZNI, además de retrasar el avance tecnológico que podrían tener a su disposición para educación, productividad, ocio y acceso a las TIC (Bustos González et al., 2014). Según el artículo 365 de la Constitución Política de Colombia, es responsabilidad directa del Estado asegurar la prestación eficiente de energía eléctrica a todos los habitantes del territorio nacional, aún en las ZNI (Ley 855 de 2003), con lo cual se determina

que el Estado es o genera causas directas de los problemas que se presentan en estos territorios por la falta de un servicio activo de energía eléctrica, que lo hace responsable dar solución por medio de sus diferentes entes y organizaciones.

Llevando la situación a tipología de localidades, la cual se determina con base en lo establecido en el artículo 6° de la Resolución MME 182138 de 2007, se sabe que el 42.1% de las localidades son de tipo 1 (cuentan con más de 300 suscriptores), el 16.3% de tipo 2 (entre 151 y 300 suscriptores), el 31.7% de tipo 3 (51 y 150 suscriptores) y el restante 9.9% de tipo 4 (hasta 50 suscriptores) (García et al., 2020a). Estos datos muestran que las zonas que menos tienen pobladores se presentan en menos cantidad. De este modo, se tiene que los usuarios de los centros poblados más alejados del centro del país pueden estar y sentirse excluidos aún más porque no representan un alto porcentaje en participación económica ni social por la falta de la energía eléctrica para cada una de sus actividades, lo cual no hace que no merezcan tener este servicio. Así entonces, se hace énfasis en que las zonas con menos suscriptores necesitan de soluciones modulares y poco robustas para evitar el desperdicio de recursos pero que puedan suplir sus necesidades.

Figura 3. Estado de las ZNI en Colombia para el año 2019.



Fuente: (García et al., 2020b).

Para el caso del departamento del Meta, la zona suroriente de este es la que más presenta la falta de acceso al SIN (de Derecho et al., 2020) con menos de mil suscriptores establecidos por todo ese territorio y en el cual se encuentra que hay más de 32 localidades que presentan la carencia de este servicio. Aunque existen zonas que sí tienen el acceso, se presenta el problema de intermitencia en el

servicio, por lo cual hace que estén en un punto intermedio de pertenecer al SIN y a las ZNI.

El Meta es conocido por tener la puerta más importante a los llanos orientales colombianos: Villavicencio, (el TIEMPO, 2020) “la cual es el centro cultural, comercial y turístico de esta región”. Por tanto y al estar conectada directamente a Bogotá por tierra, hace que el departamento del Meta, del cual es capital, cuente con más avances en la llegada del SIN a todo su territorio. Además de esto, genera un puente de comunicación directo entre las actividades del sur y suroriente con las del centro y norte del territorio nacional. Pero a pesar de estar cerca de la zona centro del país, no puede contar con una buena infraestructura de transporte, distribución y comercialización de electricidad desde la capital del país ni con la riqueza hidrográfica de la cordillera de Los Andes debido a que esta misma los separa, lo cual hace aún más difícil la instalación para su transporte.

Aunque Colombia cuente con una gran riqueza hidrográfica en su territorio y lo utilice para la mayoría del total de su generación de energía eléctrica (Bustos González et al., 2014), son más de 7400 ZNI que no son conectables en un 100% al SIN, lo que no permite aprovechar esta energía hidroeléctrica, que se puede generar en gran cantidad de Colombia. Por tanto, la idea de pensar en otra fuente de energía no convencional y renovable es importante para mitigar la cantidad de zonas ni interconectadas en el país.

Los habitantes de La Balsa, centro poblado ubicado en los aledaños del municipio de Puerto López, Meta, se quejan de que a pesar de tener en sus domicilios el acceso a la red pública del SIN, por condiciones de mala operación y causas ambientales, hay días en la semana que no cuentan con energía eléctrica o cuentan con una intermitencia diaria. Estos problemas hacen que las actividades diarias de cada usuario no se lleven a cabo ya que, por ejemplo, la mayoría requieren de una carga eléctrica portátil fuera de sus hogares para ser realizadas, las cuales pueden ser de índole académico, laboral, de ocio, informativo, de comunicación, etcétera. Así entonces, este lugar es uno de los que presenta la intermitencia con el SIN y al que se le debería una solución modular al ser de tipología tipo 4.

Analizando la parte climatológica en el Meta para obtención de energía (sin tener en cuenta sus recursos hidrográficos), al tener la mayoría de su territorio en suelo plano y una altura a nivel del mar relativamente baja, presenta precipitaciones muy bajas respecto a otras zonas del país, de entre 2000mm y 2200mm (IDEAM, 2021a); por estar en el centro del país y estar muy cerca de las altas montañas de Los Andes, su velocidad promedio del viento anual también es baja, tan solo de 2 m/s (IDEAM, 2021c); sin embargo, al no tener montañas que obstaculicen la incidencia solar sobre el suelo y que generen precipitaciones más constantes, presenta un índice de radiación solar promedio bastante alto de 4,5 kWh/m² (IDEAM, 2021b).

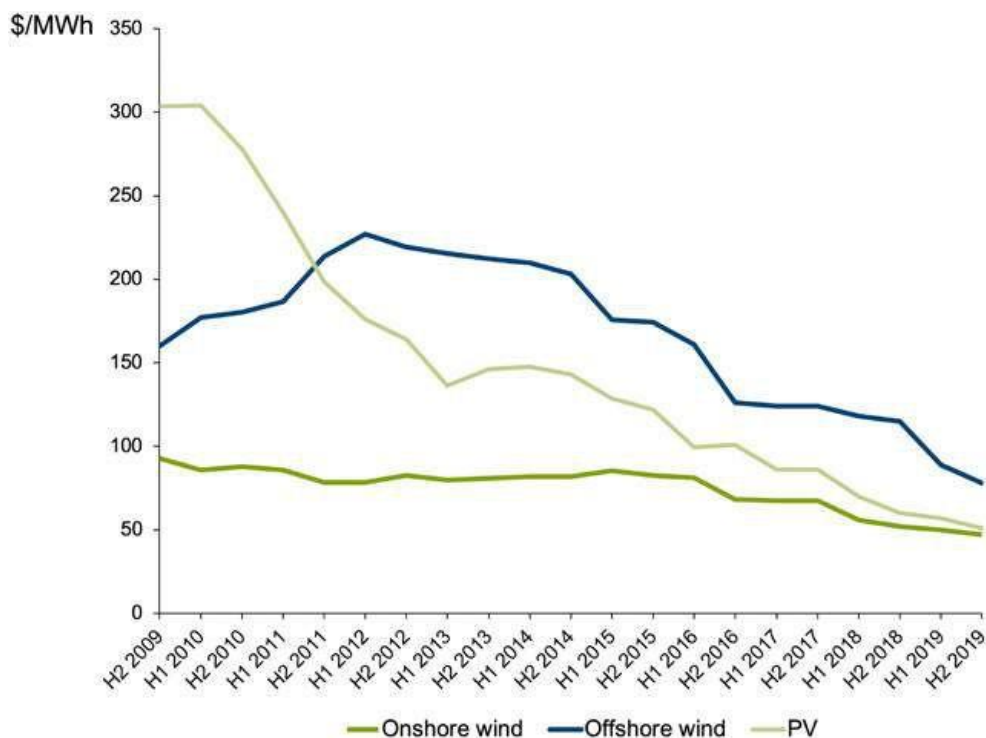
La energía eléctrica fotovoltaica es una energía renovable que permite generar y almacenar electricidad fácilmente en baterías y perfectamente instalable en zonas rurales o de complejo acceso para suplir la demanda energética en estas zonas. Además de ser una energía no contaminante, es idónea para instalar en ZNI debido al alto índice de radiación solar que Colombia posee en promedio de 4,5 kWh/m² (Bustos González et al., 2014). Por lo tanto, se hace importante el proponer el desarrollo de una solución con paneles solares en donde esta pueda ser puesta a funcionar en ZNI o zonas intermitentes del SIN, que permitan a los habitantes de estas utilizar esta energía generada para sus dispositivos electrónicos de cotidiano.

Con lo anterior, se procede a preguntar ¿cómo la implementación de una estación de carga eléctrica puede mejorar el desarrollo de las actividades cotidianas en el centro poblado La Balsa? Ya que aprovechando el recurso solar a lo largo de todo el año en el país, los incentivos tributarios y arancelarios que el gobierno nacional ha dispuesto desde el año 2014 para la promoción y despliegue de renovables en el país, la facilidad de instalación y bajos costos la factibilidad de una solución fotovoltaica para este tipo de problemas es alta.

2. JUSTIFICACIÓN

Ya que la Organización de las Naciones Unidas declaró que la industria de la electricidad debe de ser una de las principales que cambie sus fuentes primarias de energía, la transición energética hacia fuentes de energía renovable no convencionales ha crecido en los últimos años de manera rápida (United Nations, 2020a). Para esta industria, las energías solar y eólica han sido las que más han aumentado su capacidad de generación, al tiempo que han ido reduciendo sus costos de cada uno de los procesos por los que pasan, mostrando esta última energía una pendiente mucho más inclinada en los últimos años. Para el caso de la energía solar fotovoltaica, desde la creación de las células fotovoltaicas hasta la instalación de los paneles solares se ha disminuido el precio, y de igual manera la prestación del servicio que se da con ellos (IRENA, 2018).

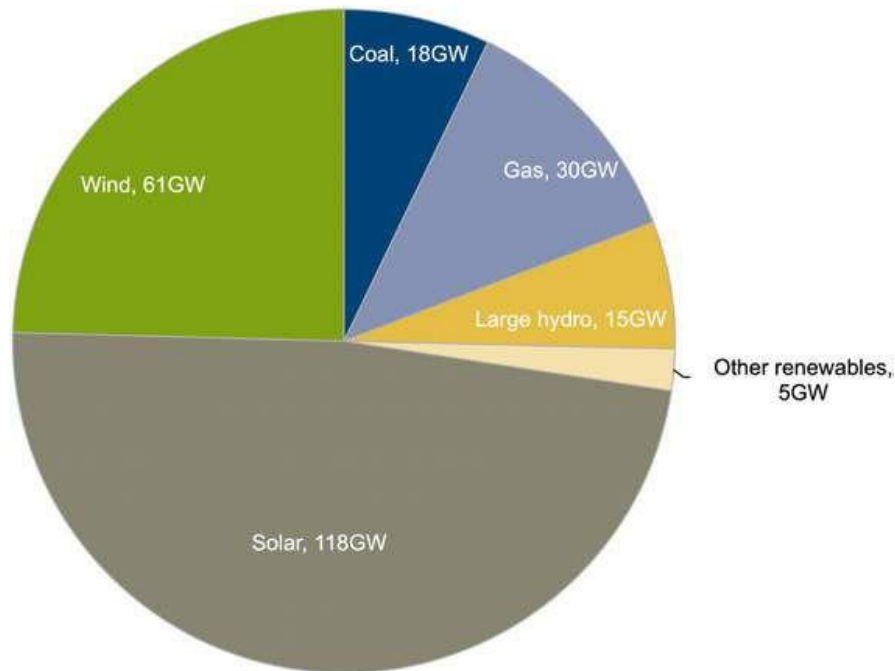
Figura 4. Comparación entre las energías solar y eólica de 2009 a 2019.



Fuente: (Frankfurt School-UNEP Centre, 2020).

Aparte de su bajo costo adquisitivo por el usuario final, los paneles solares son una tecnología de fácil transporte, instalación, mantenimiento y reparación, lo cual les permite ser aún más competitivos para dar solución a lugares donde el acceso geográfico sea difícil y de pocos usuarios, y de igual manera los hace ser la fuente de energía eléctrica a nivel general que más aumenta de capacidad de generación anualmente (Frankfurt School-UNEP Centre, 2020).

Figura 5. Crecimiento fuentes de energía a nivel mundial en 2019.



Fuente: (Frankfurt School-UNEP Centre, 2020).

A pesar de que Colombia tenga casi el 97% de su población con acceso al SIN, no se puede dejar de lado el porcentaje restante ya que los poblados sufren diariamente atrasos en sus actividades académicas, profesionales y laborales conforme avanza la digitalización y electrificación en el mundo, con lo cual su calidad de vida es baja. Colombia por tener una gran incidencia de radiación solar en promedio a lo largo de toda su extensión al estar ubicada cerca al paralelo del Ecuador, tiene la obligación de aprovechar y utilizar gran parte de esa energía solar que recibe.

Según información dada por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Colombia en el año 2017 presentó un incremento del 32% en las propuestas de generación de energía eléctrica por energía solar (CELSIA, 2020) con lo cual se evidencia que el proceso de la integración de fuentes de energía renovables no convencionales ha ido creciendo desde que en el año 2014 se estableció la ley 1715, la cual promueve el desarrollo y la utilización de la fuentes renovables mediante la integración en el mercado eléctrico y su participación en ZNI. Este crecimiento se ha debido gracias a que esta ley ha orientado políticas públicas para ofrecer incentivos tributarios, arancelarios, contables y de participación en el mercado energético colombiano, lo cual ha hecho, entre otras cosas, que los precios de paneles solares, reguladores de carga e inversores solares se puedan adquirir comercialmente sin impuesto al valor agregado (IVA).

En las ZNI, que abarcan el 53% del territorio nacional, el gobierno nacional a través del Ministerio de Minas y Energía ha identificado que hay 653 000 familias no interconectadas al SIN, de las cuales solo 243 000 (37%) ya han sido atendidas pero que de estas solo el 23% tiene 24 horas de servicio continuo y 42 000 reciben energía eléctrica por generación fotovoltaica. En términos de capacidad instalada en las ZNI por parte del IPSE, existe una capacidad de 307.4 GW, de la cual 41.7 GW de fuentes no convencionales de energía renovable y el 76% de esta proviene de la energía solar fotovoltaica. Es notable entonces que desde el gobierno nacional se ha tratado de aprovechar las fuentes de energía renovables y que la solar fotovoltaica que llega al país es la que más ha tenido este efecto para proveer de energía eléctrica a los usuarios de las ZNI, tratando posteriormente también de proveer servicios de conectividad, entretenimiento y productividad para que estas familias tengan una transformación de sus vidas al tener elementos y servicios a su disposición que le dan calidad a sus actividades diarias (IPSE, 2022).

Hoy en día ya es un hecho que hay más de 60 millones de dispositivos móviles activos en el país para más de 50 millones de personas, con lo cual se evidencia que es más fácil acceder a uno de estos y que se utilizan bastante. Además, se sabe que diariamente se gasta más de 10 horas por persona utilizándolos para navegar por el internet con fines varios (BRANCH, 2021). Así entonces y entre otras situaciones, estos dispositivos móviles se han vuelto parte importante en la vida de todas las personas y para no afectar las actividades que se llevan a cabo con ellos, se deben de tener principalmente servicios de energía activos y de calidad.

El utilizar la energía proveniente del sol para energizar la tecnología de dispositivos móviles es importante debido a que permite cargar dispositivos celulares, computadores portátiles, tabletas, linternas, entre otros; lo cual hace que los trabajos, actividades y demás que se realicen con ellos sea más provechoso al tener energía eléctrica siempre lista para utilizarse y con ello se mejore la calidad de vida. Siendo así, una estación de carga eléctrica mediante energía solar fotovoltaica en el centro poblado La Balsa, donde no se tiene la continuidad ni calidad de acceso a la electricidad que el Estado debería de proveer de esta manera, permitirá instalarse y acceder a ella de una manera rápida, eficiente y limpia para cumplir con los propósitos de mantener cargados los dispositivos móviles para ayudar al desarrollo de las actividades de los usuarios.

A parte de proveer una solución a ciertos puntos donde no se encuentra la electricidad a la mano fácilmente, el desarrollar la solución por medio de una energía renovable y sustentable como la solar fotovoltaica hace que la humanidad siga trabajando por su propio futuro de no sufrir las consecuencias del cambio climático como altas temperaturas y pérdidas del hábitats, las cuales se ven en los lugares más accidentados geográficamente en Colombia y que también pertenecen a las ZNI. Es importante denotar que además de aportar una ayuda a nivel global, a nivel nacional se ayuda a potenciar el desarrollo energético, ambiental y económico de Colombia al trabajar con una de las denominadas energías del futuro y la continua

ayuda a las actividades de los usuarios en ZNI, en este caso el centro poblado La Balsa.

La profesión de ingeniería mecatrónica y las habilidades y conceptos obtenidos desde esta y otras actividades complementarias de formación permiten desarrollar completamente una solución energética para esta problemática. Aprovechando los conceptos de la carrera de mecatrónica como los son los mecánicos, que van desde el diseño hasta la manufactura; los conceptos de electricidad y electrónica, que abarcan diseño, simulación e implementación; los de software y programación para simulación de procesos embebidos; y habilidades técnicas en estas tres áreas son todo lo que permitirá realizar la solución.

La solución de una estación de carga por energía solar fotovoltaica para dispositivos móviles de consumo en el centro poblado La Balsa estará desarrollada por una parte mecánica estática conformada por una estructura para la cabina de trabajo y para los elementos necesarios de la instalación, y conformada por una parte eléctrica en donde se encontrará lo necesario con el fin de proveer la electricidad suficiente que se demande.

El objeto de investigación de este tipo de soluciones tiene un impacto social a nivel local principalmente porque lo que se buscará a largo plazo es empezar a conectar digitalmente los municipios de las ZNI por medio de la energía que se obtenga del sol y entregándola a los dispositivos móviles que se pongan a su disposición, mitigando los atrasos y problemas presentados. Siendo así, se busca por medio de la investigación trabajar la menor cantidad de materiales y elementos posibles para tratar de tener una solución fácil y de bajo costo, pero de gran eficiencia y trabajo cumpliendo una mentalidad de economía circular. Así entonces, se solucionó algunos problemas a los que el Estado no responde propiamente como la del acceso continuo a las TIC por falta de energía eléctrica y también se aporta un grano de arena al acuerdo de París evitando utilizar energías convencionales y contaminar el medio en donde se instale.

Por último, esta solución propuesta como próximo egresado de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia está comprometida en tener un impacto en el desarrollo regional en el departamento del Meta trabajando sobre territorios con escasez de calidad en energía eléctrica y de igual manera tener una sustentabilidad a lo largo de los años debido a que tanto la parte eléctrica como la parte mecánica del producto estarán a disposición de no generar problemas al medio ambiente durante su funcionamiento y sí para volver parcialmente autogeneradores a los usuarios.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar una estación de suministro eléctrico mediante paneles solares para la carga de dispositivos electrónicos de consumo de los habitantes residentes en el centro poblado La Balsa del municipio de Puerto López, Meta.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar criterios de diseño necesarios de las partes eléctrica y mecánica a partir del estado de arte y las necesidades y oportunidades de la población.
- Diseñar los sistemas eléctrico y mecánico cumpliendo los criterios encontrados y siguiendo parámetros de sostenibilidad.
- Desarrollar la estación de carga mediante la integración completa de los sistemas mecánico y eléctrico.
- Evaluar el funcionamiento y el rendimiento de la estación de carga disponiéndola a trabajar en el centro poblado La Balsa.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ESTADO DEL ARTE

A continuación, se presenta una revisión de los documentos investigativos más relevantes que aportan conocimientos para el diseño, cálculo, desarrollo, operación y mantenimiento del presente proyecto a desarrollar.

Tabla 1. Revisión documental.

N°	Título	Año	Tipo	Autores	Relación con el proyecto
1	Influence of dirt accumulation on performance of PV panels	2014	Artículo Científico	Sulaiman, Shaharin Anwar, et al.	Análisis de los efectos ambientales que afectan el rendimiento de los paneles solares.
2	The Future of Solar Energy	2015	Libro	Massachusetts Institute of Technology	Explicación de las principales tecnologías para obtener energía del sol, los avances de estas y sus políticas.
3	Environmental Impact Assessment of a Photovoltaic Power Station in Stockholm	2017	Artículo Científico	Raouz, Khalid	Principales impactos ambientales en la materia prima utilizada, el transporte, la manufactura, operación y mantenimiento de las estaciones de carga PV.
4	Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada	2018	Artículo Científico	Alvarado, Jorge, et al.	Criterios de diseño, cálculo e implementación de una instalación PV en territorio colombiano.
5	Handbook on Battery Energy Storage System	2018	Libro	Asian Development Bank	Explicación de las diferentes tecnologías de baterías para gran almacenamiento de energía eléctrica, usos y aplicaciones de estas, y modelos financieros de sus instalaciones.
6	Instalaciones solares fotovoltaicas	2019	Libro	Guerrero, Juan	Explicación teórica y práctica de todos los elementos de una instalación eléctrica fotovoltaica y los métodos correctos de instalaciones.

N°	Título	Año	Tipo	Autores	Relación con el proyecto
7	Medición de la eficiencia energética de los paneles solares de silicio	2019	Artículo Científico	Rosario, Norma, et al.	Métodos de medición de eficiencia y rendimientos en paneles solares de silicio cristalino y comparación entre diferentes instalaciones.
8	Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones	2020	Artículo Científico	Cepeda, Juan, Sierra, Adriana.	Explicación de factores intrínsecos y extrínsecos de los paneles solares que inciden en la eficiencia de los paneles PV de silicio y soluciones a los problemas que presentan.

Fuente: (propia del autor, 2022).

Como el presente proyecto se desarrollará para implementar en Zonas No Interconectadas del Meta y estas a su vez presentan condiciones ambientales importantes para tener en cuenta, la selección de cada uno de los materiales y equipos para este fin deben de ser bien conocidos. La buena referencia acerca de conceptos físicos, tipos de paneles solares, componentes de instalación, estructuras para el proyecto, normativas y seguridad permitirán y asegurarán tener una estación de carga óptima acorde a la necesidades presentadas (Guerrero, 2019).

Debido a que estos sistemas de energías renovables por medio de la energía solar son tecnologías nuevas y constantemente mejoradas que se basan en la obtención de electricidad por medio de los efectos fotoeléctrico y fotovoltaico, es importante el reconocimiento de las diferentes tecnologías de las que están hechas las células fotovoltaicas para hacer una buena selección de los módulos, ya que estos determinarán los impactos económico, social y ambiental que tendrán en cada una de las etapas del proyecto (Massachusetts Institute of Technology, 2015) debido a sus características para obtener la energía solar y generar la energía eléctrica.

Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta durante la operación de la estación de carga es el no desperdiciar la energía eléctrica generada por la intermitencia de la energía solar, por tanto, es importante el saber y entender que un sistema de almacenamiento por baterías debe ser (Asian Development Bank, 2018), “de tecnologías comúnmente usadas por sus buenas características como costos, ciclo de vida, densidad de energía, eficiencia, capacidad de potencia y duración de la descarga”, además de ser el sistema de almacenamiento de energía menos costoso. Esto entonces permitirá cumplir los objetivos de entregar la suficiente electricidad en los momentos donde los paneles no estén trabajando a máxima potencia o potencia mínima.

Con la premisa de tener bien definidos los conceptos teóricos de la obtención y almacenamiento de la energía eléctrica, también es importante tener en cuenta un

buen diseño y cálculo de la cantidad y características de los componentes de la estación de carga. Estos dos elementos determinarán otras características como el costo y tiempo de desarrollo, además de dar la guía base para la búsqueda y captación de componentes que se encuentren comercialmente.

Como se buscará la máxima sostenibilidad posible en cada una de las etapas del ciclo de vida del producto y (Raouz, 2017), “la extracción de recursos, manufactura, transporte, operación y mantenimiento” son las etapas más críticas que pueden generar una huella de carbono, desde las fases de diseño y cálculo hasta las de implementación y operación inicial del proyecto se tendrán en cuenta las características que en cada etapa que puedan generar menos daño al ambiente y aplicarla para así trabajar a lo largo de todo el proyecto.

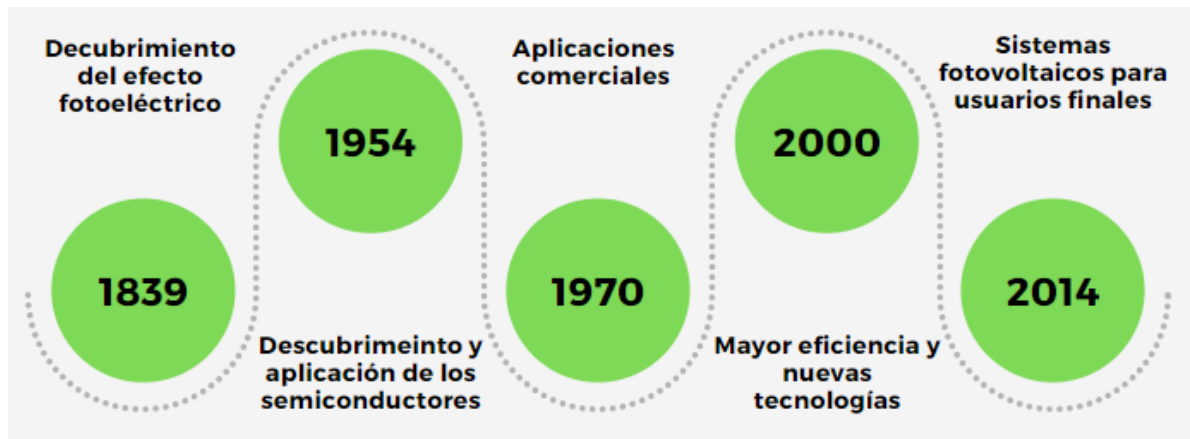
La etapa de operación es una de las últimas del ciclo de vida de la estación de carga, pero la más larga. Aspectos como la eficiencia a futuro, correcto funcionamiento y estética del producto son importantes en esta etapa, por tanto es importante hacer el reconocimiento de los factores ambientales a los que estará sometido lo cual puede afectar las características físico-químicas de algunos elementos y su funcionamiento.

La eficiencia de los paneles solares se ve afectada en dos factores: internos y externos. En los factores internos se tiene que los materiales que los constituyen pueden afectar considerablemente la obtención de energía al aumentar la temperatura ya que (Cepeda & Sierra, 2020), “ocasiona una saturación de corriente impidiendo una óptima salida potencia y generando daños en las células”, por lo que es importante saber que la transferencia del calor para disminuir pérdidas será una clave en la fase de diseño. En los factores externos, la acumulación de partículas como polvo, agua y arena sobre las superficies de los paneles obstruyen considerablemente la obtención de energía haciendo que la eficiencia se pueda reducir hasta en un 85% del valor nominal (Sulaiman et al., 2014). Por tanto, es importante seguir las recomendaciones para hacer que la operación del sistema completo se la más eficiente por medio de buenos diseños y métodos de mantenimiento.

4.2 MARCO HISTÓRICO

A continuación, se muestra una línea de tiempo como referencia de los eventos más relevantes sucedidos en la historia de la humanidad y que abordan de gran interés el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos para aplicaciones comerciales.

Figura 6. Línea de tiempo energía solar.



Fuente: (propia del autor, 2022).

En el año 1839 el científico francés Edmond Becquerel descubrió por casualidad el efecto fotoeléctrico cuando estaba experimentando con una celda electrolítica de placas metálicas paralelas en una solución conductora (U.S. Department of Energy, 2002). Por accidente puso la celda bajo una fuente luminosa y al ver que la electricidad entre las dos placas fluía a través del aire se dio cuenta que la luz causaba que el aire se ionizara y permitiera la conducción de la electricidad, pero sin saber explicar por qué sucedió este fenómeno. El siguiente evento importante se dio en el año 1877 cuando el inglés William Grylls creó la primera célula fotovoltaica hecha de selenio (CECU, 2019). Aunque estos experimentos no tuvieron relevancia en alguna aplicación por su baja conversión, sí la tuvo el saber que transformar la luz en electricidad por medio de elementos sólidos sin partes móviles era posible.

No fue hasta 1905 que Albert Einstein, con su postulado sobre el efecto fotoeléctrico, que se entendió por qué la luz permitía ocurrir al efecto fotovoltaico. Así entonces, en los años posteriores se empezó a trabajar más sobre estos fenómenos para convertirlos en tecnologías útiles. En la década de los 1950 en los laboratorios Bell se descubrió que los semiconductores de silicio tenían una mayor eficiencia en conversión energética (Planas, 2015) y “era lo suficientemente eficiente para hacer funcionar pequeños dispositivos eléctricos”. De ahí en adelante se popularizaron más las células fotovoltaicas y empezaron a trabajar más en su desarrollo investigadores de todo el mundo.

En la segunda década del siglo XX se descubrieron nuevos materiales semiconductores y ferroeléctricos que empezaron a utilizarse mucho para la su aplicación en células fotoeléctricas. Desde aquel entonces, los materiales más comunes tienen como base el silicio cristalino, el telurio de cadmio o diselenuro de cobre (Massachusetts Institute of Technology, 2015) y hoy en día se siguen trabajando para mejorar su eficiencia. A partir de la primera década de los 2000, se han venido trabajando nuevos materiales como el sulfuro de zinc, cobre y estaño; perovskitas y hasta puntos coloidales fotovoltaicos por su gran eficiencia de conversión natural (Massachusetts Institute of Technology,

2015) y que prometen ser el futuro de la industria fotovoltaica por proveer mejores características físicas, ambientales y económicas en los paneles solares.

Como los precios de la aplicación comercial de la tecnología fotovoltaica eran prohibitivos para usuarios civiles, solo los departamentos de investigación espacial de las grandes potencias mundiales eran los que se permitían el uso de esta. En el año 1958 Estados Unidos se permitió lanzar un satélite al espacio con menos de 1 W potencia alimentado por un módulo fotovoltaico (Planas, 2015). Debido a los altos precios, que hasta los años de 1970 se pudo reducir hasta un 80% su precio (Planas, 2015), y la alta demanda en los combustibles fósiles, el desarrollo de la energía solar fotovoltaica no fue en gran medida y por ende sus aplicaciones tampoco.

Sin embargo, cuando el mundo se enteró, por medio de la ONU que se promulgó, acerca del gran problema del cambio climático de que esta fuente de energía renovable es una de las soluciones permanentes que se tendrán en el futuro, las aplicaciones comerciales aumentaron en gran medida para muchas áreas de trabajo. Desde el suministro de electricidad a una población hasta la alimentación de un satélite de telecomunicaciones (Massachusetts Institute of Technology, 2015), se han llegado a tener diversidad de tecnologías aplicadas a dar solución a problemas o necesidades cotidianas y de gran importancia social.

Gracias al avance de la ciencia aplicada para la generación de energía eléctrica, los sistemas de generación fotovoltaicos se han vuelto más asequibles al usuario final y por tanto hoy en día es más fácil que alguna persona o comunidad de habitantes implementen los sistemas fotovoltaicos para satisfacer necesidades de bienes electrónicos como vehículos eléctricos, plantas de tratamiento, invernaderos, talleres de trabajo manual, etcétera.

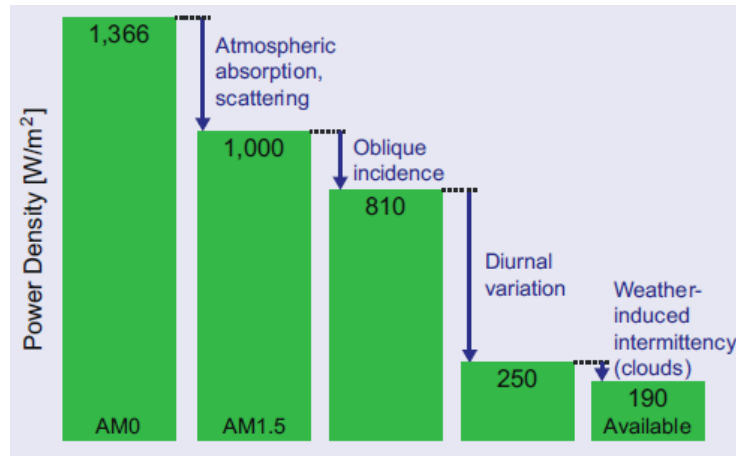
4.3 MARCO TEÓRICO

El presente marco teórico dará un entendimiento y acercamiento mucho mejor sobre el proyecto de investigación.

4.3.1 Recurso solar

El recurso de radiación solar que llegar a la Tierra es significativamente la fuente de energía más abundante que existe. Cerca de 174 000 tera vatios (TW) de potencia son continuamente recibidos en la parte superior de la atmósfera. A pesar de esto, debido a condiciones ambientales la energía media que llega a la superficie de la Tierra puede llegar a ser tan solo el 14% del total (Massachusetts Institute of Technology, 2015).

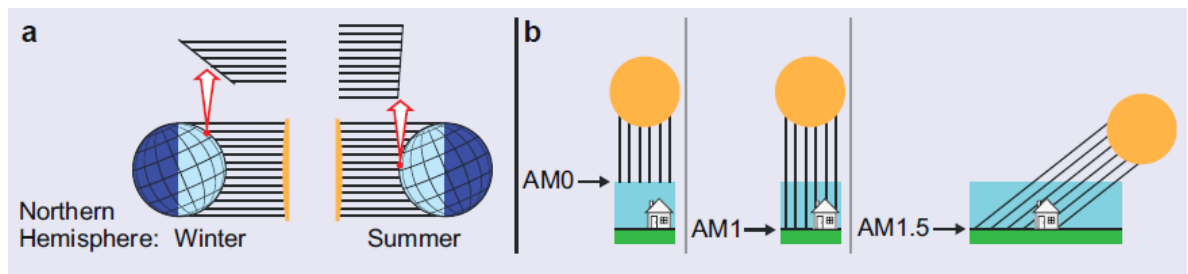
Figura 7. Reducción de la densidad de irradiación solar.



Fuente: (Massachusetts Institute of Technology, 2015)

El espesor de la capa de atmósfera que cubre por completo a la Tierra en el aire se denomina Masa de Aire (Air Mass en inglés, AM) y esta interactúa constantemente con los rayos de sol que intentan entrar al planeta, con lo cual es un factor importante a tener en cuenta para los datos de irradiación solar. El valor de AM comúnmente utilizado para la energía solar es de 1.5, el cual significa que los rayos de sol están entrando a un ángulo de 48.2° a la Tierra y este valor es un promedio anual de como llegan estos rayos de luz (Massachusetts Institute of Technology, 2015).

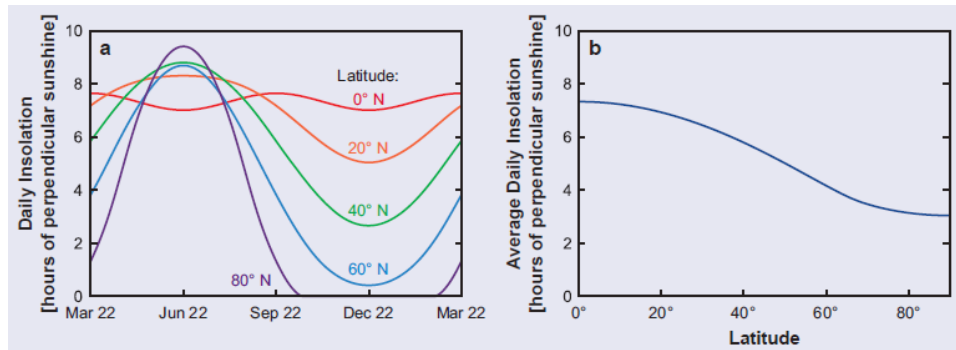
Figura 8. Efectos de las estaciones y atenuación atmosférica.



Fuente: (Massachusetts Institute of Technology, 2015)

Teniendo en cuenta que la variación estacional por la traslación de la Tierra sobre el Sol y su inclinación sobre ella misma hace que los valores de irradiación varíen en todo el planeta, la época del año y la ubicación geográfica determinarán en gran medida la energía sobre la superficie.

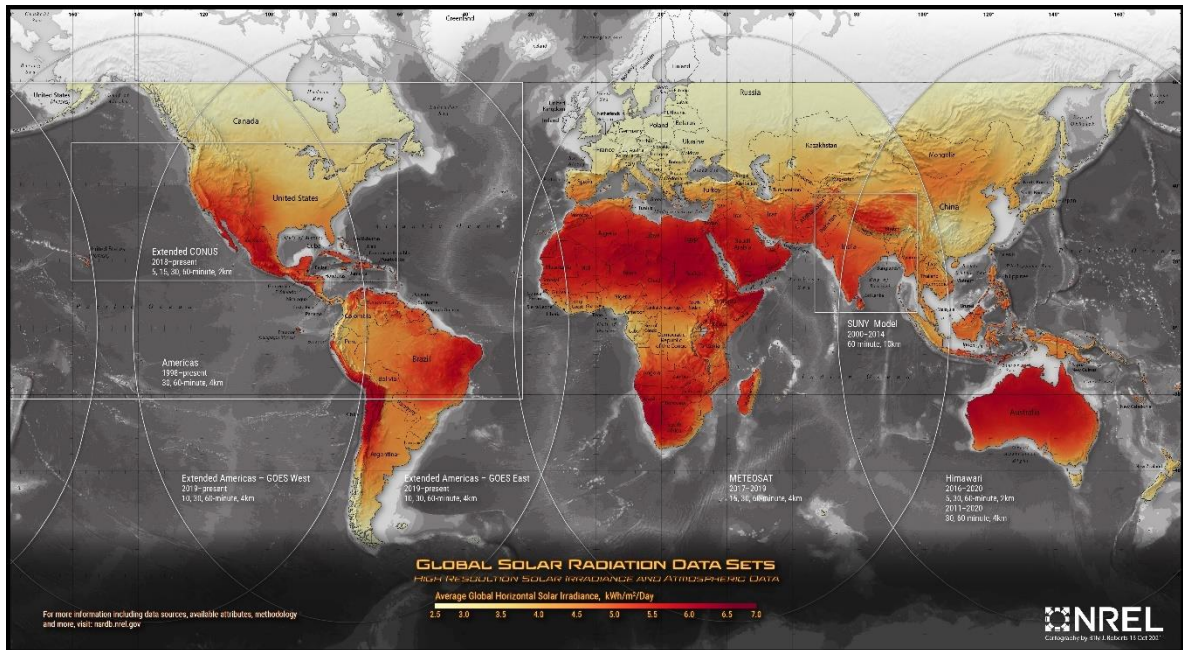
Figura 9. Efectos de la latitud sobre la irradiación solar.



Fuente: (Massachusetts Institute of Technology, 2015)

Así entonces, las zonas con una ubicación más cercana al paralelo del Ecuador tendrán menos variación en irradiación solar y más cantidad de energía en su superficie, y las que estén por debajo de este límite tendrán grandes variaciones, pero más irradiación en comparación con las zonas ubicadas hacia el norte.

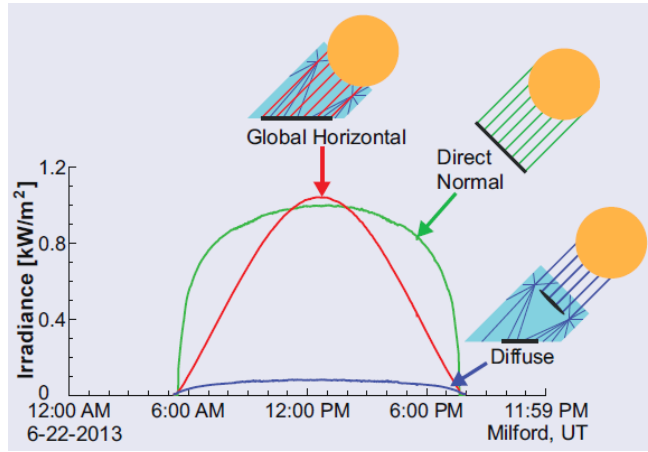
Figura 10. Mapamundi de irradiación solar entre 2017 y 2021.



Fuente: (National Renewable Energy Laboratory, 2021).

Ya que el sol no ilumina todas las zonas del mundo de manera constante en el día, la cantidad de irradiación que estas reciben tienen un comportamiento similar a una campana de Gauss, en donde el punto máximo se encuentra alrededor del mediodía diurno.

Figura 11. Irradiancia en sobre diferentes escenarios.

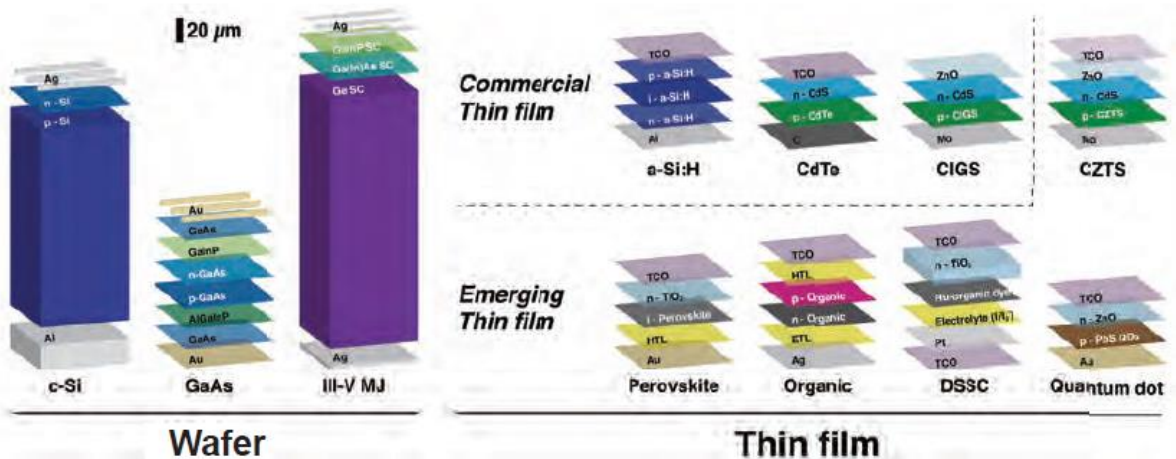


Fuente: (Massachusetts Institute of Technology, 2015)

4.3.2 Tecnologías en células solares fotovoltaicas

A lo largo de los años de existencia la energía solar fotovoltaica ha sido constantemente comercializada y mejorada gracias a que se han desarrollado varias tecnologías, las cuales se clasifican en tres grandes familias o grupos: de oblea o “wafer” en inglés (grupos 1, G1), de película fina (thin film) comercial (G2) y de película fina emergente (G3). El orden de los grupos es debido a su histórica creación.

Figura 12. Estructuras de células solares fotovoltaicas.

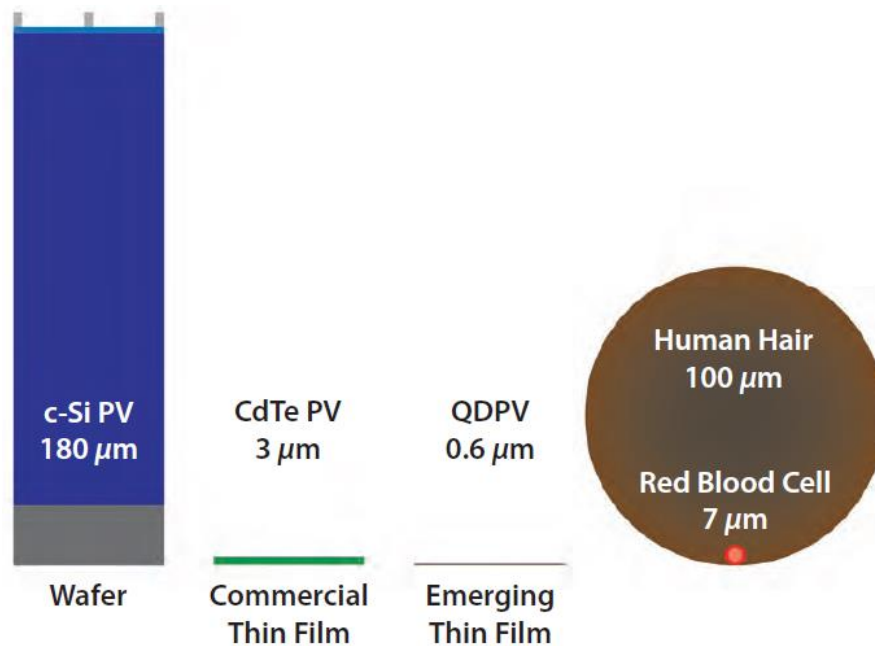


Fuente: (Massachusetts Institute of Technology, 2015)

Las células solares de tipo oblea son las primeras tecnologías que se desarrollaron en esta industria y son las que hasta hoy siguen dominando el mercado de los paneles solares gracias a la abundancia de la materia prima, facilidad de procesamiento y manufactura, y los cada vez más bajos costos y más altas eficiencias. Entre estas se encuentran las de silicio monocristalino y policristalino (c-Si), las de arseniuro de galio (GaAs) y las de multi—unión de los grupos III-V de la tabla periódica (Massachusetts Institute of Technology, 2015).

Las tecnologías de película fina, tanto comercial como emergente, utilizan como materia prima elementos no tan comunes ni tan abundantes naturalmente con el fin de aprovechar las ventajas electrónicas en eficiencia de conversión que ofrecen estos materiales en espesores mucho más delgados, pero debido a esto tienen dificultades de procesamiento, manufactura y costo. En el grupo de las comerciales se encuentran telurio de cadmio (TeCd), silicio amorfo hidrogenado (a-Si:H) y di seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS); por otro lado, en las de película fina emergente se encuentran las perovskitas, las de materiales orgánicos y punto cuántico fotovoltaicos (QDPV) (Massachusetts Institute of Technology, 2015).

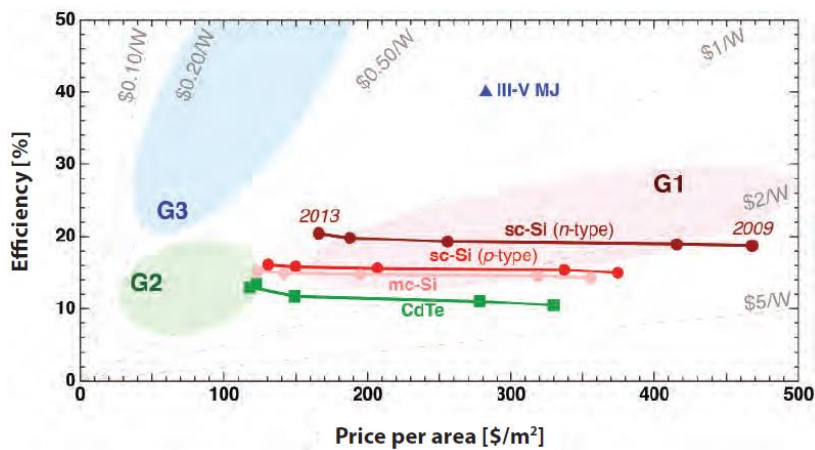
Figura 13. Espesor de tecnologías de células PV.



Fuente: (Massachusetts Institute of Technology, 2015)

Aun así, se espera que el mercado de la energía solar fotovoltaica tenga una mayor participación de las tecnologías de los grupos G2 y G3 por desarrollos en el procesamiento y manufactura de estas, haciendo que el precio por unidad disminuya mientras que su eficiencia aumenta.

Figura 14. Esquema de la utilidad de cada grupo de tecnologías PV.

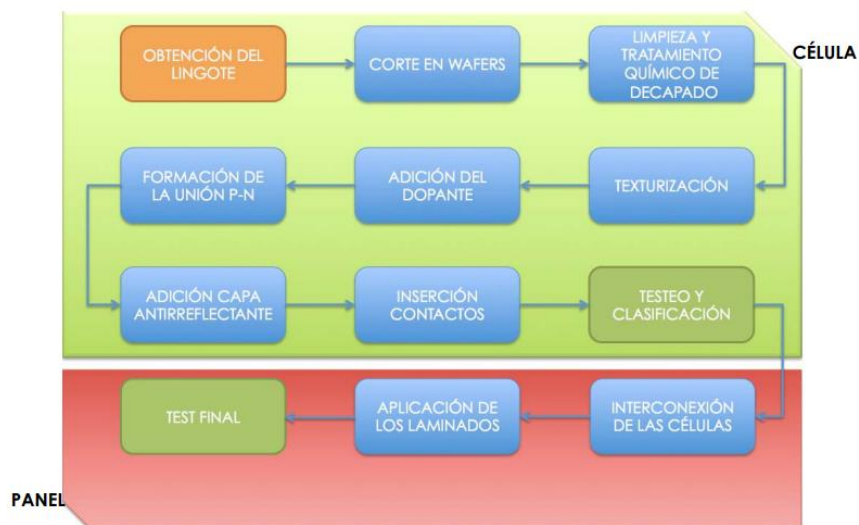


Fuente: (Massachusetts Institute of Technology, 2015)

4.3.3 Generalidades en la fabricación de paneles solares

Actualmente las tecnologías de células fotovoltaicas que más abundan comercialmente están hechas a partir de silicio monocristalino y policristalino. Para este caso, el silicio se obtiene principalmente del óxido de silicio, el cual abunda en gran cantidad en la Tierra y asimismo por sus características fisicoquímicas y facilidad de procesado, permite obtener una alta eficiencia en la conversión de energía (Barrera et al., 2021).

Figura 15. Proceso de fabricación de paneles solares de silicio.



Fuente: (Barrera et al., 2021).

Los paneles solares a base de silicio tienen características físicas como menor peso, menor tamaño comercial y una vida útil mayor por tener una mayor eficiencia en la conversión de energía respecto de otras tecnologías (Barrera et al., 2021). Económicamente son menos costosos de adquirir, lo cual los hace oportunos para usuarios finales o comunidades. Por último, ambientalmente permiten que sus constituyentes sean reciclados hasta en un 94.7% por métodos de aplastamiento donde después son separados materiales como aluminio, cobre, plata, silicio, células, plástico y vidrio (Rollet & Beetz, 2020) lo cual minimiza el impacto de su huella de carbono equivalente en todo su ciclo de vida.

Otros materiales importantes son los thin—film (película/capa fina), por ejemplo, de silicio amorfo y los semiconductores compuestos policristalinos como telurio de cadmio y seleniuro de cobre están avanzando constantemente, pero su capacidad de producción en serie aún ha tenido buenos avances para que sean capaces de mantener un puesto importante en el mercado como lo tiene el silicio cristalino (Barrera et al., 2021).

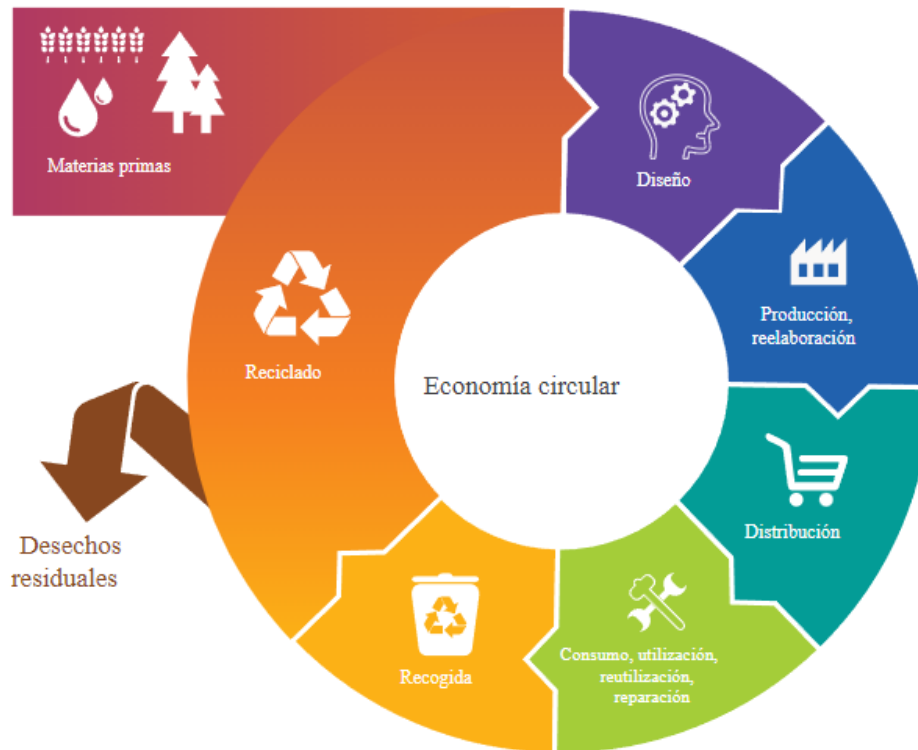
Por último, los paneles solares a base de perovskitas son otra tecnología que se ha venido desarrollando en forma durante las últimas dos décadas. Han pasado de tener una eficiencia de conversión del 3% en 2006 hasta una del 25% (US Department of Energy, 2020). A pesar de que prometan ser mejores que el silicio cristalino en conversión energética, poseen dos grandes problemas para la fabricación masiva: su estabilidad y degradación y su manufacturabilidad. Para el primer caso, no son estables expuestos a oxígeno ni a largos periodos de exposición de luz ni altas temperaturas; para el segundo caso, las células fotovoltaicas de perovskitas están hechas por finas capas de este material, normalmente en 2D, las cuales generan problemas en la probabilidad de tener la maquinaria necesaria para su gran producción (US Department of Energy, 2020).

En este sentido, a pesar de que existan bastantes tecnologías diversificadas que se pueden encontrar en paneles solares, no solo hay que tener en cuenta sus características eléctricas sino también su comportamiento en su etapa de funcionamiento para hacer la mejor selección acorde a las necesidades del proyecto.

4.3.4 Economía circular

La búsqueda de soluciones generales para problemas particulares que presenta el cambio climático ha hecho que la mayoría de los países en el mundo y sus empresas piensen en brindarlas con el fin de combatir este problema a gran escala. La economía circular es una de las soluciones más importantes que se están adaptando en los países y empresas debido a que busca la sostenibilidad y sustentabilidad de todos los productos que se fabrican (Fundación Economía Circular, 2020).

Figura 16. Etapas de la Economía Circular.



Fuente: (Parlamento Europeo, 2015).

Le economía circular es un (Parlamento Europeo, 2015), “un modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes” con el fin de extender el ciclo de vida de estos y darle un valor agregado durante todo este. Este modelo es el opuesto a la economía lineal tradicional en la cual se tiene extracción de materia prima, procesado, manufactura, uso y desecho del producto, la cual impacta en gran manera al medio ambiente por el corto ciclo de vida que tienen estos productos (Parlamento Europeo, 2015).

Los dos grandes beneficios que permite la economía circular son el ahorro de dinero a las empresas, por la reutilización y reciclaje de materiales que aún pueden continuar su ciclo de vida para con otros productos, y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, que se producen durante la extracción y procesado de los materiales, los cuales son responsables del 45% de emisiones de CO2 (Parlamento Europeo, 2015), para la posterior manufactura de los productos. Especialmente se hace una (Parlamento Europeo, 2015), “atención a los sectores intensivos en recursos, como la electrónica y las TIC, los plásticos, los textiles o la construcción” ya que estos son los que más cantidad de productos de corto ciclo de

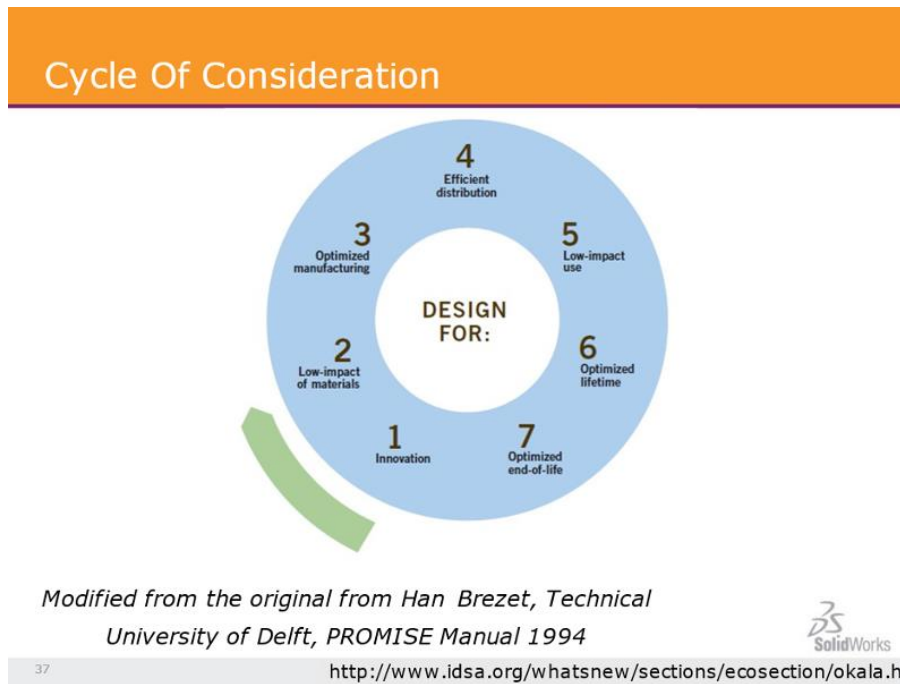
vida se producen y luego se desechan o que durante su fabricación generan una gran cantidad de afectaciones al medio ambiente.

Es importante entender que el cambio climático y las soluciones para sus múltiples consecuencias es interés particular para cada profesional que tenga conocimientos acerca de las causas que lo generan. De este modo, el desarrollo de productos tanto industriales como comerciales que requieran de energía eléctrica deben de estar basados en la economía circular, por medio de la utilización de materiales que permitan la sustentabilidad y la sostenibilidad del proyecto a través de la generación de esta energía de tal manera que se cumpla lo anterior. Y ya que la solución energética estaría diseñada a partir de módulos fotovoltaicos, es importante resaltar que por sí sola esta tecnología es capaz de ser reciclada hasta en un 94%, haciendo un desarme de los módulos donde se pueden extraer manualmente materiales de aluminio, vidrio, células, plástico, cobre y plata para luego ser separados y luego entregados a un reciclador especializado y certificado en esta labor (Rollet, 2020). Esto haría entonces que soluciones a pequeña escala implementadas en gran cantidad fueran capaces de ser recicladas cuando terminen su ciclo de vida útil y vuelvan a ser procesados para nuevos productos fotovoltaicos en grandes cantidades, cumpliendo así con una economía circular y sostenibilidad ambiental.

4.3.5 Diseño circular

Una etapa importante de la economía circular es la de diseño, en la cual se piensa de qué manera se calcularán, crearán y manufacturarán los productos de tal manera que cumpla con los lineamientos de la economía circular de generar menos emisiones y obtener un mayor ciclo de vida de estos. Aquel ingeniero o equipo de ingeniería que quiera desarrollar productos dentro de economía circular de siempre tener presente que, (Iberdrola, 2022), “esta forma de diseño aboga por repensar el proceso de creación de un producto desde el inicio y, para ello, los diseñadores deben adoptar la sostenibilidad y el respeto al medio ambiente como punto de partida”. Así entonces, el diseño del producto no debe de estar pensado desde la etapa de definición de geometría y cálculos, sino desde la selección de los procesos óptimos que permitan realizar todo el desarrollo del producto sosteniblemente desde la extracción de su materia prima hasta su disposición final luego de finalizar su ciclo de vida útil (reciclaje o degradación natural).

Figura 17. Etapas del ciclo de consideración para un Diseño Circular.



Fuente: (Endersby, 2022).

Generalmente quienes participan en el desarrollo de productos tanto industriales como comerciales son ingenieros, quienes son considerados como solucionadores de problemas pero que a su vez también deben de tener innovación a la hora de diseñar (Endersby, 2022). Según (Endersby, 2022), los siguientes son los principales factores para tener en cuenta durante para el proceso de diseño con el fin de lograr un producto de economía circular:

- **Factores humanos:** Donde de debe tener en cuenta las necesidades del usuario para hacer productos amigables con este y que le sean relevantes. A su vez, tener en cuenta también la reducción de contaminantes y cancerígenos.
- **Búsqueda de un uso de bajo impacto:** integración de fuentes de energía renovable y mitigación de emisiones, reducir ineficiencias en el uso de la energía, del agua y el uso de materiales.
- **Reciclaje y reutilización:** diseñar para una fácil reparación, limpieza, mantenimiento y cambio de partes desgastadas u obsoletas.
- **Selección de material:** escoger los mejores materiales con el mínimo impacto ambiental maximizando el potencial de reciclaje y reutilización.

El uso de estos principios basados en la economía circular permite desarrollar productos más eco-amigables ya que además de sus beneficios económicos y ambientales, esto será ley en los países que tengan sus principios basados en la defensa del medio ambiente.

4.3.6 Diseño de sistemas mecánicos

El diseño mecánico es la actividad de la ingeniería mecánica que (Zhuming, 2017), “diseña partes, componentes, productos o sistemas de naturaleza mecánica” tanto estáticos como dinámicos.

El presente proyecto deberá contar con toda una estructura modular que permita albergar el sistema de generación eléctrico y los componentes correspondientes para la conexión de los elementos a cargar. Asimismo, debe contar con el espacio suficiente y los elementos necesarios para que, al tiempo de que los elementos estén siendo cargados, se permita a los usuarios trabajar con estos.

Según (Zhuming, 2017), los problemas a resolver de diseño mecánico deben ser formulados por los siguientes tres principios claves:

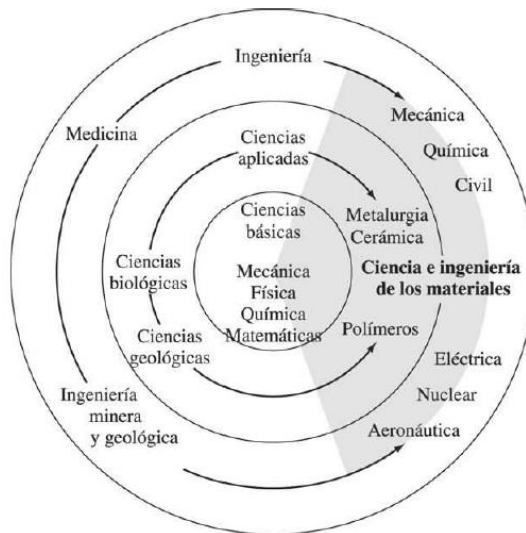
- **Funciones:** las cuales son descritas por declaraciones no cuantitativas.
- **Especificaciones:** son los requerimientos detallados descritos mediante declaraciones cuantitativas como tamaño, masa, peso, precisión, capacidad de carga, manufactura.
- **Criterios de evaluación:** son declaraciones de la características cualitativas deseadas. Son tratados como objetivos de diseño para la óptima solución del problema.

Así entonces, se determina que la función de la estructura del presente proyecto será de carácter estático para albergue de los demás componentes que componen la estación de carga, la cual deberá tener especificaciones de tamaños, peso, cargas permitidas, métodos de ensamblaje y des ensamblaje, entre otros. Por último, sus criterios de evaluación de diseño estarán basados en los de la economía circular y en la selección óptima de los materiales necesarios para su desarrollo.

4.3.6.1 Materiales de ingeniería

La correcta selección de los materiales para convertirlos en productos industriales o comerciales constituyen una parte importante de la economía actual. Los ingenieros diseñan la mayoría de los productos manufacturados y los sistemas de elaboración necesarios para su producción (Smith et al., 2006).

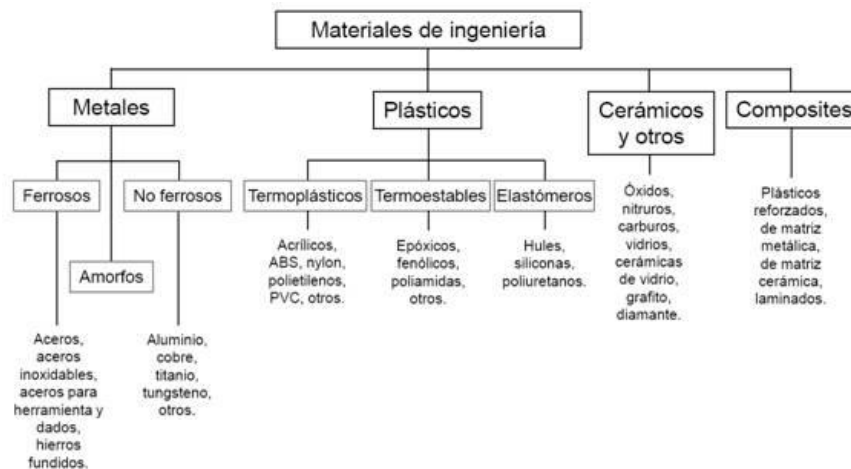
Figura 18. Relación entre las ciencia e ingeniería de materiales.



Fuente: (Smith et al., 2006).

Dado que este proceso de selección de materiales es parte importante para el desarrollo del producto, los ingenieros deben conocer las principales propiedades que estos deben tener, de tal manera que puedan elegir los más adecuados para cada aplicación (mecánica, eléctrica, electrónica, lumínica, entre otros) y crear los mejores métodos para procesarlos y así lograr la óptima solución de producto (Smith et al., 2006).

Figura 19. Clasificación de los materiales en ingeniería.



Fuente: (Joel Frax, 2022).

Con un apropiado conocimiento de cada uno y acerca de los materiales y sus posibles aplicaciones, y entendiendo condiciones mecánicas, eléctricas y ambientales a las que estarán sometidos, es posible determinar criterios que permitan desglosar la solución de los elementos y las funciones que estos tendrán en la aplicación que se les dará para lograr el desarrollo del producto.

4.3.7 Diseño de sistemas eléctricos fotovoltaicos

Como el producto estará en desarrollo de manera tal que en él estén embebidos los elementos necesarios del sistema eléctrico para la conversión de energía solar en energía eléctrica, se deben de establecer las correctas conexiones e instalaciones de estos para lograr el funcionamiento de alimentar los dispositivos necesarios (Carreño, 2022).

Para poder hacer la selección correcta de cada elemento y llevar a cabo la instalación fotovoltaica, se debe iniciar con un análisis del consumo diario que puedan llegar a tener los dispositivos electrónicos móviles para posteriormente plantear la instalación eléctrica de estos con su par de elementos mecánicos (Alvarado, 2018). De este modo, los siguientes elementos son algunos que serán integrados en el producto que seleccionarán después de calcular las necesidades eléctricas:

4.3.7.1 Reguladores de carga

Reguladores PWM: Sus siglas significan “Pulse-Width Modulation” (modulación del ancho del pulso). Estos reguladores utilizan la tensión exacta que necesita la batería y deben de ser conectados a módulos fotovoltaicos que suministren un tensión igual o mayor al de esta.

Su vida útil es bastante larga por estar hechos de componentes muy sencillos, pero a su vez hacen que no se aproveche toda la potencia generada ya que la energía de la tensión sobrante proveniente por el panel solar no se aprovecha para cargar las baterías o energizar la carga directamente. Este tipo de regulador finaliza el proceso de carga desconectando el panel solar de la batería, cuando toda la corriente pasó a completar la capacidad de esta.

Reguladores MPPT: Sus siglas corresponden a “Maximun Power Point Tracker” (seguidor del punto de máxima potencia). Por la avanzada tecnología de la que están hechos, son capaces de aprovechar toda la potencia generadas por las placas solares a la que están conectados. De este modo, su nombre indica que es un “maximizador” para la eficiencia en la utilización de toda la energía eléctrica que pasa por él y mantiene la tensión deseada en su punto óptimo (Tarifasgluz, 2021a).

Al no depender de la tensión de las baterías, estos reguladores siempre hacen un seguimiento del punto óptimo para funcionar, permitiendo hasta un 30% más de rendimiento (Tarifasgasluz, 2021a).

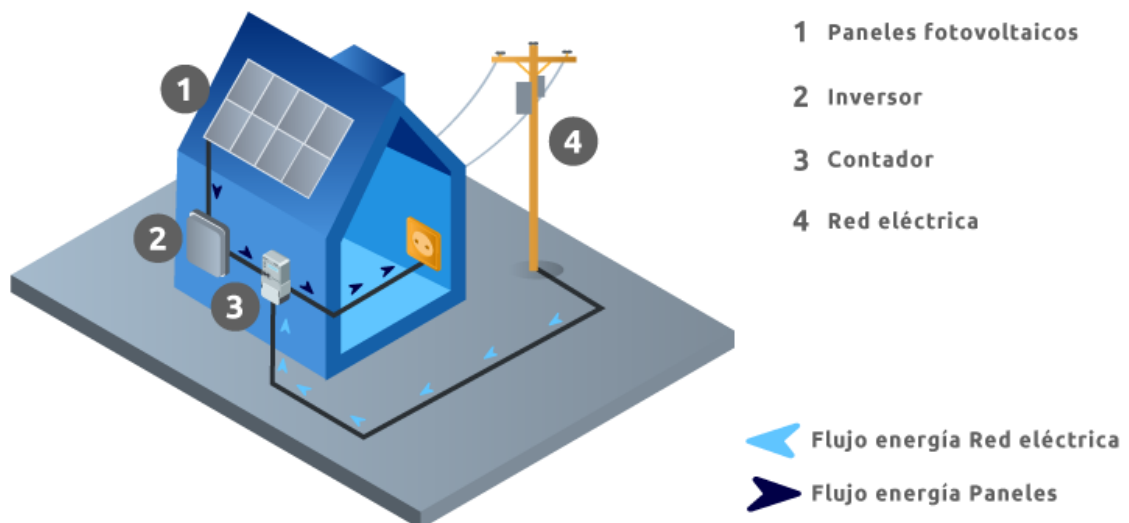
Por ejemplo (Tarifasgasluz, 2021a) “si tu instalación produce 1 kWp con un voltaje de 100V y una intensidad de 10A, para adaptarse a tus baterías de 48V, se reducirá el voltaje a 48V y se aumenta la intensidad a 20.8A, lo cual te permite que mantengas la potencia producida”. Así entonces, utilizará la energía necesaria para cargar las baterías y la demás la utilizará para el suministro de la carga, sin desperdiciar nada.

4.3.7.2 Inversores

Inversores de conexión a red: Son aquellos que son empleados para utilizar la energía entregada por los paneles solares o las baterías para el consumo en viviendas, negocios o edificaciones que necesiten estar sincronizados a la red eléctrica general, aunque no necesariamente deben tener un sistema almacenamiento de energía.

También son capaces de mantener la tensión de su entrada por encima del de las baterías o paneles solares, permitiendo anteponerse y priorizar la utilización de la energía solar antes que la de la red pública, maximizando la economía de la energía pagada (Tarifasgasluz, 2021b).

Figura 20. Ilustración instalación eléctrica conectada a red pública.



Fuente: (Tarifasgasluz, 2021b).

A su vez se dividen en dos tipos de inversores de conexión a red, String y Microinversor. El primero es centralizado o “de cadena”, es el modelo estándar y toda la energía generada por los paneles se envía a un único dispositivo. El segundo, es conocido para inversores distribuidos, ya que para cada placa o conjunto de placas solares se tiene un inversor (Tarifasgluz, 2021b).

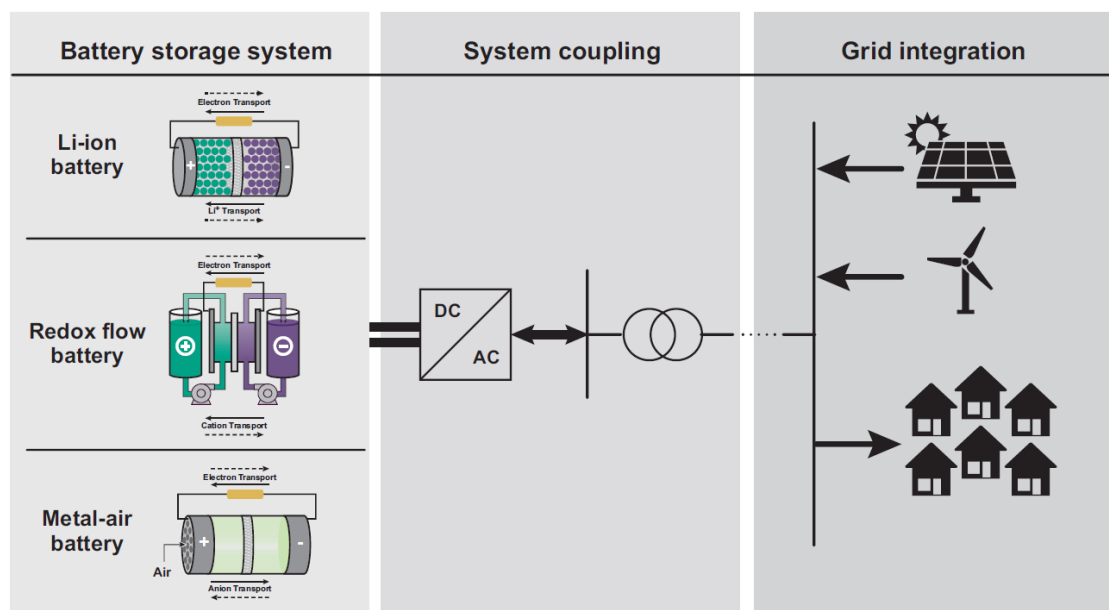
Inversores para instalaciones fotovoltaicas aisladas: Son los utilizados para instalaciones que no requieran de conexión a la red eléctrica. Por ende, la utilización de baterías es de uso obligatorio para almacenar la energía que no se consume directamente.

Así entonces, aumentan la tensión de las baterías a 110V o 220V para alimentar los electrodomésticos y pueden estar programados para parar el suministro de energía en casos de sobredescargas (Tarifasgluz, 2021b).

4.3.7.3 Baterías electroquímicas

Los sistemas de almacenamiento a través de baterías electroquímicas han sido desplegados en grandes cantidades para diversas aplicaciones a través de los años desde el siglo XX. Estas baterías interconvierten energía química y energía eléctrica para la carga y descarga de las mismas a través de reacciones de reducción y oxidación que ocurren a su vez en dos electrodos (positivo y negativo) y que están conectados eléctricamente a través de un circuito externo y separados físicamente por un medio iónico conductor (Massachusetts Institute of Technology, 2022).

Figura 21. Categorías de tecnologías de baterías.

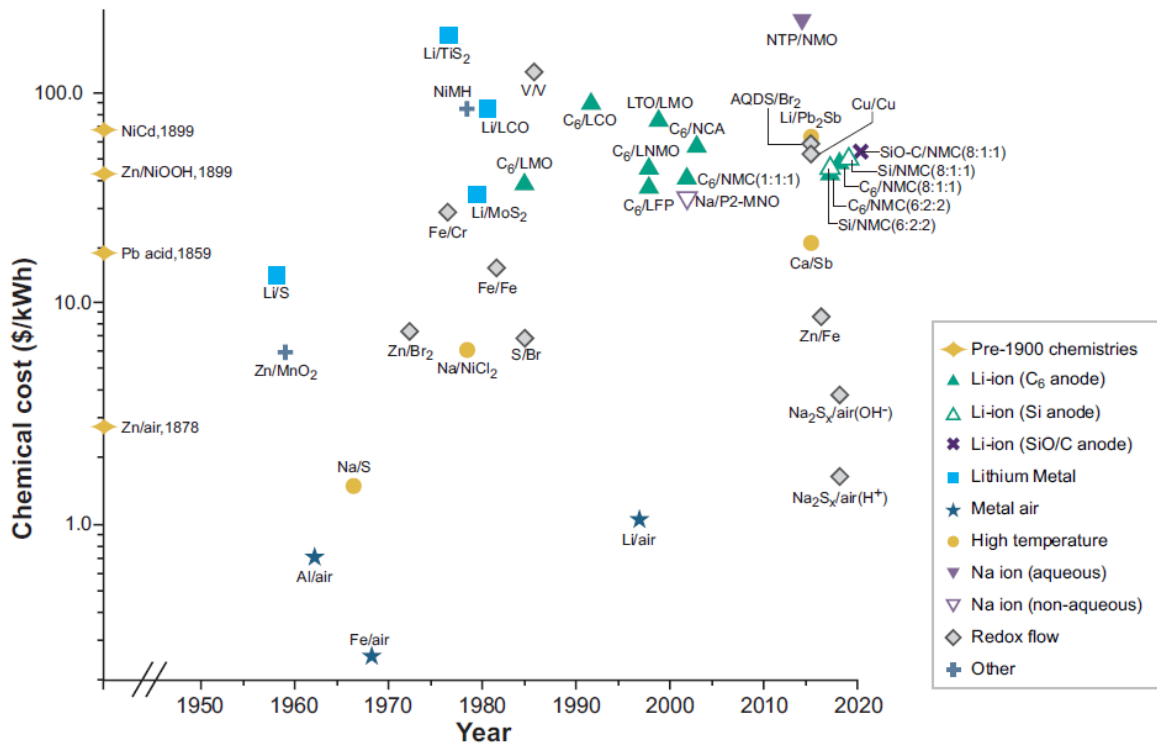


Fuente: (Massachusetts Institute of Technology, 2022).

Para el interés de sistemas fotovoltaicos aislados o de conexión a red se habla de las baterías secundarias, que son aquellas que permiten ser cargadas y descargadas químicamente y eléctricamente por varios ciclos y que por ende tienen una vida útil más larga, en comparación con las baterías primarias que son de un solo uso.

Debido a que existen diferentes materiales desarrollados y siendo investigados para esta tecnología de almacenamiento de energía, el costo de cada una es diferente y sus aplicaciones varían de igual manera.

Figura 22. Costo energético de las baterías electroquímicas.



Fuente: (Massachusetts Institute of Technology, 2022).

De esta manera, las principales tecnologías vistas a nivel general en aplicaciones de todo tipo han sido las de plomo-ácido, perteneciente a la categoría de batería de flujo de oxido-reducción, y las de ion de litio.

Batería de Plomo-Ácido (PbA): Este tipo de baterías constan de dos electrodos, uno positivo (cátodo) y otro negativo (ánodo). Cuando estos se conectan forman una red por la cual puede circular la corriente. Están compuesta de un electrolito compuesto por una disolución de ácido sulfúrico con agua destilada. El funcionamiento de estas baterías trata de una reacción química que tiene lugar entre el plomo y el ácido sulfúrico que produce una diferencia de potencial entre los bornes de la batería (SolarPlak, 2022).

Son ampliamente utilizadas en vehículos y otras aplicaciones que requieran valores altos de corriente para energizar elementos de alta potencia. Sus principales beneficios son bajo precio, madurez de la tecnología y eficiencia de ser recicladas.

Figura 23. Formas y tamaños de baterías de Plomo—ácido.



Fuente: (Irene Onate, 2015).

Asimismo, tienen una manufactura sencilla y poco costosa, bajo costo del Wh (watt-hora) y un rendimiento alto tanto en bajas como en altas temperaturas. En cuanto a sus desventajas, son pesadas, tienen procesos de carga lenta, ciclo de vida limitado, cuidados especiales para evitar sulfatación y un impacto adverso para el ambiente cuando no son bien tratadas luego de finalizar su vida útil y no ser recicladas (Asian Development Bank, 2018).

Batería de Ion-Litio (Li-Ion): Estas baterías han revolucionado la industria que trabaja en el desarrollo de tecnología para almacenamiento de energía y han permitido la revolución de movilidad eléctrica (THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES, 2019). Por medio de la transferencia de iones de litio entre los polos positivo y negativo de la pila, en donde la intercalación de estos ocurre con el litio metálico. Esta tecnología le permite tener la mayor densidad de energía de las baterías comerciales y son consideradas como las más seguras. No requieren de memoria o ciclado programado para prolongar su vida útil.

Figura 24. Batería de Ion de Litio compuesta de varias celdas.



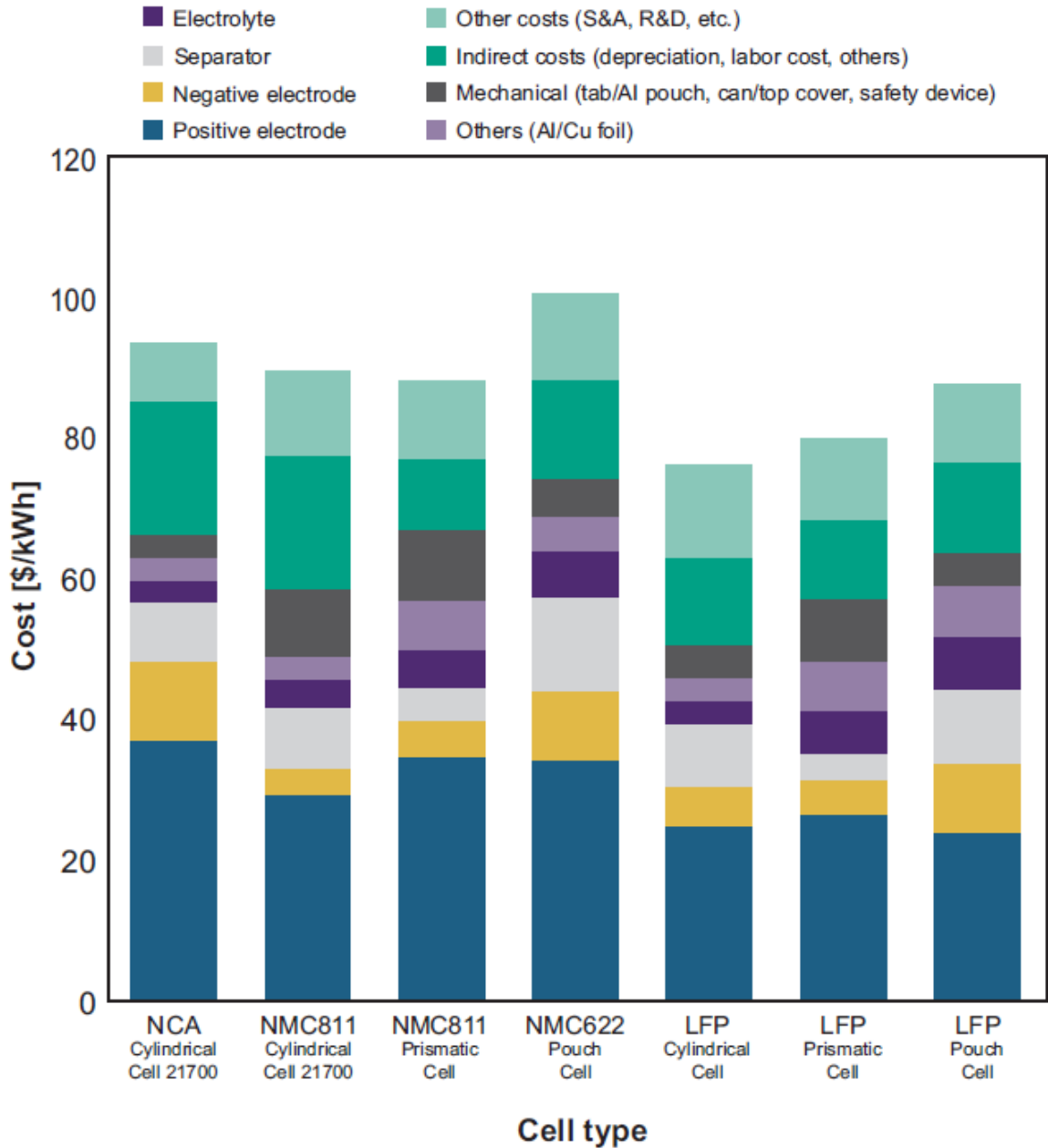
Fuente: (Manolo Toledo, 2010).

Sus principales beneficios son la alta capacidad de energía por medio de sus celdas, larga vida útil sin mantenimientos y un proceso de carga simple y de manera rápida. Entre sus desventajas se encuentra la protección a corto circuito para prevenir esfuerzos térmicos, degradación por altas temperaturas y almacenamiento de altas tensiones y baja respuesta de carga en temperaturas menores a 0°C (Asian Development Bank, 2018). Debido a que esta tecnología es relativamente madura y sus capacidades de almacenamiento de energía son prometedores, los avances y desarrollos de este tipo de baterías se han venido intensificando para lograr una mayor densidad energética y menor costo por unidad de energía (Massachusetts Institute of Technology, 2022).

Normalmente las tecnologías derivadas de estas baterías se clasifican por el material primario del electrodo positivo, el cual normalmente es un óxido metálico de transición de litio como el óxido de cobalto de litio (LCO), el óxido de manganeso de litio (LMO), el óxido de cobalto-manganeso-niquel de litio (NCM) o litio ferro-fosfato (LFP) y debido a que no se tiene un material en el electrodo positivo en la mayoría de veces diferente basado en carbono como lo es el grafito, aunque ya hay investigaciones y desarrollo para en base a espinelas de titanato de litio (Massachusetts Institute of Technology, 2022).

Por lo tanto, el esfuerzo hecho para las tecnologías de los electrodos positivos han determinado cuánto han avanzado las capacidades de estas, dando que las baterías de litio ferro-fosfato son las que más han sido desarrolladas e instaladas debido a su costo menor por kilo vatio hora de energía, pero siendo seguida muy de cerca por las demás tecnologías.

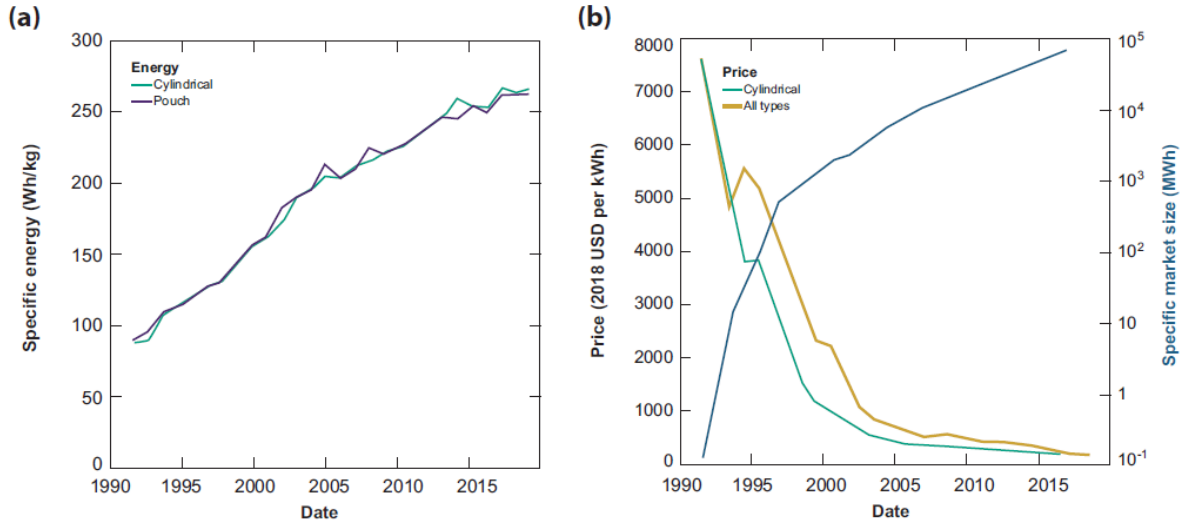
Figura 25. Avances en costos.



Fuente: (Massachusetts Institute of Technology, 2022).

Por consiguiente, con todo el avance hecha sobre y con estas tecnologías, la tasa de relación energía específica-precio por kWh ha aumentado, significando que en menos cantidad de masa y espacio se tiene más energía a menor costo, dando como resultado densidades energéticas de 100-200 Wh/kg, y 300-650Wh/L y una tensión de 3.6-4V por celda (Massachusetts Institute of Technology, 2022).

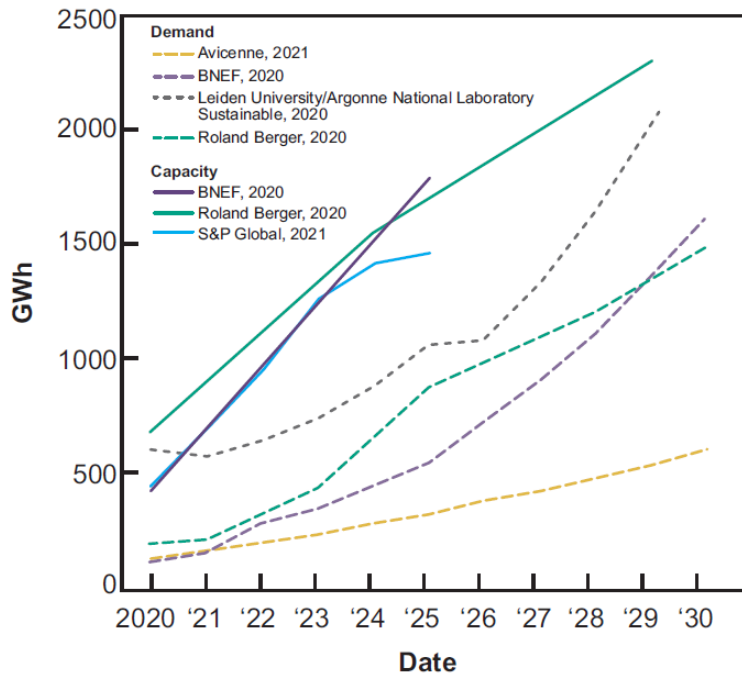
Figura 26. Crecimientos y decrecimientos históricos en baterías de litio.



Fuente: (Massachusetts Institute of Technology, 2022).

Por último, se espera que el crecimiento de las tecnologías actuales de ion de litio en sus diferentes clases aumente de manera significativa en los próximos años y sea la que mas se despliegue en sistemas de energías renovables y vehículos eléctricos principalmente.

Figura 27. Crecimiento proyectado de manufactura de baterías de litio.



Fuente: (Massachusetts Institute of Technology, 2022).

4.4 MARCO CONCEPTUAL

Para este proyecto de investigación se es necesario el conocimiento de los conceptos más importantes que abarcan el desarrollo de este. Este proyecto integra una serie de disciplinas y definiciones las cuales se relacionan y explican a continuación por medio de las siguientes palabras claves:

Célula fotovoltaica: es aquel dispositivo que permite transformar la energía lumínica de cualquier fuente de luz en energía eléctrica por medio del efecto fotovoltaico.

Efecto fotovoltaico: producción de una diferencia de potencial por la generación de una corriente eléctrica (fotocorriente) a causa de que la célula esté expuesta a luz o a radiación electromagnética del espectro visible.

Panel solar: son módulos que incorporan un arreglo bidimensional de células fotovoltaicas conectadas en serie haciendo que la potencia que pueda entregar todo el grupo sea mayor.

Gemelo digital: se puede definir como la copia virtual exacta de un producto, proceso, pieza de equipamiento que permite simular y administrar cada uno de estos mediante modelos digitales antes de ser implementados y de igual manera cuando lo sean, haciéndolo en tiempo real.

Estructura metálica: se puede definir como el conjunto de partes mecánicas donde la mayoría son de materiales metálicos. Unidas las partes entre sí por otros elementos de unión o entre ellas mismas, forman un cuerpo ensamblado con el fin de soportarse a sí mismo y soportar cargas externas.

Perfil metálico: se puede definir como las partes que se utilizan como elementos estructurales de una estructura metálica. Varían de acuerdo con especificaciones técnicas, de material y de procesado, con las cuales se pueden encontrar estándares de perfiles comerciales para la interpretación de sus posibles aplicaciones.

Unión mecánica: es aquel elemento encargado de unir dos o más elementos que pertenecen a un sistema mecánico, cumpliendo además las funciones de soporte y resistencia a cargas internas y externas al sistema.

CAE: Por sus siglas en inglés (*Computer Aided Engineering*), la ingeniería asistida por computadora es el desarrollo de procesos ingenieriles por medio de software de modelado, simulación, predicción, entre otros. Permite desarrollar productos y soluciones de manera eficiente, óptima y con menor tiempo de trabajo.

CAD: Por sus siglas en inglés (*Computer Aided Design*), el diseño asistido por computador es el proceso de modelado 2D y 3D por medio de un software especializado con el fin de diseñar los modelos de productos, permitiendo una fase de diseño y cálculos más fácil y rápida.

Regulador de carga: puede definirse como aquel elemento que se encarga de controlar el estado de carga de un sistema de almacenamiento de energía eléctrica, suministrándole la electricidad necesaria, que recibe de una fuente principal, de manera óptima para completar la carga de este.

Batería eléctrica: es aquel dispositivo eléctrico que tiene internamente dos o más celdas electroquímicas que es capaz de almacenar energía química para luego entregarla en forma de energía eléctrica a dispositivos de consumo eléctrico. Cada una de sus celdas consta de un electrodo positivo, llamado cátodo, y un electrodo negativo (ánodo), con los cuales se consigue tener un flujo de corriente continuo.

Inversor: es aquel dispositivo que se encarga de convertir la corriente continua en corriente alterna. Pudiendo entregar diferentes tipos de onda para su señal eléctrica alterna de salida, lo más común es una sinusoidal ya que todos los electrodomésticos funcionan con este tipo de corriente alterna.

Luminotecnia: es el área del conocimiento que se encarga de calcular, diseñar y modelar los sistemas de iluminación artificial basándose en la fotometría. Se encarga de trabajar para proyectos de espacios públicos y privados, abiertos y cerrados.

4.5 MARCO LEGAL

Dentro del marco legal, se encuentran algunas de las más importantes normativas para el diseño, construcción, operación y mantenimiento que determinan la seguridad y alcances de la instalación eléctrica, asimismo disposiciones legales y resoluciones que fomentan la utilización de fuentes no convencionales de energías renovables. El Ministerio de Minas y Energía tiene a disposición de los interesados documentos técnico—legales que involucran estas normativas como lo son el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) de la resolución 90708 de 2013, y la Norma Técnica Colombiana (NTC) que a su vez están basados en normativas de carácter internacional como IEEE, ISO e IEC.

El párrafo 1 del Artículo 21 del RETIE establece que para pequeños aprovechamientos de fuentes no convencionales de energía (entre ellas la energía solar) se debe tener en cuenta el conocimiento del recurso energético disponible. Para sistemas solares, se debe “conocer la parte de radiación solar que recibe la Tierra en el lugar donde se instalen los paneles, siendo la Irradiancia Solar el

parámetro que determina la potencia de la radiación solar por unidad de superficie en el lugar de interés, la unidad de medida será $[W/m^2]$ ". Así entonces, se debe demostrar que la fuente de energía es la correcta para ese lugar de aplicación.

Como el objeto fundamental del RETIE es establecer las normativas necesarias para garantizar la seguridad de las personas, la vida animal y vegetal y la preservación del medio ambiente, la Tabla 2.1 del parágrafo 3 del Artículo 2 (ver ANEXO 1) establece que las baterías, inversores de corriente continua a alterna, paneles solares fotovoltaicos, cajas y conduletas (encerramientos) deben contar con el Certificado de Conformidad de Producto expedido por un organismo de certificación acreditado para que la instalación eléctrica cumpla con el objeto fundamental.

El Artículo 9 del RETIE establece las indicaciones de las tareas a llevar a cabo para el análisis de riesgos de origen eléctrico que pueda haber en la instalación eléctrica, donde se tienen las consecuencias más comunes de riesgo como contacto directo con partes energizadas, contacto indirecto, cortocircuito, electricidad estática, entre otros, y que también contiene las posibles causas y medidas de protección necesarias para evitar estos riesgos.

Asimismo, el Artículo 27 del RETIE establece requisitos generales, por medio de la aplicación de algunos de los contenidos de la NTC, para las instalaciones de uso final (independientemente de su aplicación) como canalizaciones, cajas y conduletas, clavijas y tomacorrientes, interruptores, etcétera, con el fin de evitar incendios y riesgos eléctricos. Como algunos productos deben de contar con otros requisitos para los sistemas de generación con fuentes no convencionales de energía, los parágrafos desde el 8.1 hasta el 8.5 del Artículo 21 del RETIE establece materiales, equipos, aislamientos, protecciones, condiciones de operación y otras normativas para la instalación de paneles solares, inversores y controladores de carga con el fin de garantizar la seguridad y funcionamiento de la instalación.

En el reglamento técnico del NTC, en los Capítulos 2, 3, 6 habla de las técnicas en alambrado, métodos y materiales a utilizar e iluminación del entorno respectivamente, que se deben tener en cuenta al momento de realizar la instalación. Así entonces, después de seleccionados los elementos principales de la instalación eléctrica, el seguir los debidos procesos de desarrollo es esencial para una buena práctica de seguridad y funcionamiento.

Asimismo, el gobierno nacional colombiano a través de la ley 1715 de 2014 reguló la integración de las energías renovables no convencionales al mercado nacional, de la cual para este proyecto interesa que, sobre ciertos elementos que la resolución UPME 203 de 2020 determina, no se tienen impuestos al valor agregado y se permite una adquisición monetaria mucho más fácil debido a estas disposiciones.

4.6 MARCO GEOGRÁFICO

El actual proyecto está destinado a solucionar el problema presentado en el centro poblado La Balsa, perteneciente al municipio de Puerto López, Meta.

Figura 28. Imagen satelital del centro poblado La Balsa.



Fuente: (Google Maps, 2022).

- **Ubicación geográfica**

El municipio de Puerto López está ubicado en el departamento del Meta, en los Llanos Orientales colombianos. A una distancia de 83 km de la capital de este departamento, Villavicencio, y a 206 km de Bogotá (Alcaldía de Puerto López, 2022), se encuentra a 4 grados, 5 minutos de latitud Norte sobre el paralelo del Ecuador y 72 grados de longitud Oeste sobre el meridiano de Greenwich.

El centro poblado La Balsa se encuentra en el lado occidental del municipio de Puerto López, en dirección sentido Villavicencio por la Ruta Nacional 40, estando a una Latitud de 4.065° y una Longitud de -73.05°. Asimismo, está a una altura de 365 msnm (metros sobre el nivel del mar).

- **Clima**

El municipio de Puerto López pertenece a la unidad bioclimática de la mega cuenca de sedimentación de la Orinoquía. En la definición de Caldas-Lang corresponde al clima cálido semihúmedo (Alcaldía de Puerto López, 2022).

Precipitación: según la Alcaldía de Puerto López y considerando los promedios históricos de la precipitación en cinco estaciones ubicadas de manera equidistante al centro del municipio, los valores van desde los 2000 mm hasta los 2700 mm anualmente, aumentando del Sur hacia el Norte de este (Alcaldía de Puerto López, 2022).

Temperatura: El valor medio de la temperatura a lo largo de todo el territorio oscila entre los 26 °C y los 26.5 °C durante todo el año. En los meses de febrero y marzo son los meses más cálidos llegando a alcanzar una temperatura de 28 °C y los meses de junio y julio los más fríos encontrándose una temperatura de 24 °C. Las temperaturas máximas absolutas han superado los 38.5 °C y las mínimas absolutas han descendido hasta los 14 °C (Alcaldía de Puerto López, 2022).

Hidrografía: dentro de la red hidrográfica que recorre todo el municipio, el río Meta es el de mayor importancia viniendo desde el nacimiento que este tiene en la cordillera oriental de los Andes y que lo recorre de norte a sur. Otros ríos presentes como el Guayuriba, el Guatiquia, el Pajure y el Humea aportan sus aguas al río Meta. Asimismo, cuenta con dos caños importantes, el Banderas y el caño La Venturosa (Alcaldía de Puerto López, 2022).

- **Población**

Contando con la categoría 6, el municipio de Puerto López cuenta en su extensión territorial de 6239 km² con una población de 32 992 habitantes los cuales se ubican en la cabecera del municipio en una concentración del 66% y el resto en los alrededores. El centro poblado La Balsa cuenta con aproximadamente con más de 300 habitantes (DNP, 2014).

Su economía se basa en la producción y comercialización de productos agropecuarios y servicios de construcción, alimentación y entretenimiento.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

En el diseño metodológico se muestran los tipos y los enfoques a utilizar para el desarrollo de la investigación, así como la población y las fases de desarrollo.

5.1 TIPO Y ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

El proyecto se desarrolló por medio de investigaciones básica y aplicada. La primera, con el fin de partir de un marco teórico ya desarrollado sobre estaciones de carga por energía solar para desarrollar cálculos y diseños y obtener una solución óptima al problema basándose en teorías ya confirmadas (ASESORIA MSS, 2020); la segunda, para aplicar los conocimientos que se adquieran de la investigación nombrada anteriormente y con ellos desarrollar la implementación de la estación de carga, haciendo posteriormente una extracción de datos y un análisis de esta información acerca del rendimiento de la solución y la experiencia con ella.

5.2 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Según (SOLEN, 2019), “en Colombia, cualquier zona que tenga más de cinco horas solares pico se considera como una ubicación óptima para la producción de energía solar y hace que cualquier instalación sea rentable con un mínimo de paneles solares”. Así entonces, se parte de la hipótesis de que con cierta cantidad de energía durante el día en una zona de alta irradiancia se puede tener un producto en funcionamiento óptimo para suministro eléctrico y así ayudar a mejorar el desarrollo de las actividades cotidianas en el centro poblado La Balsa.

Debido a que se buscará desarrollar un producto que cuente con la capacidad de suplir las necesidades de energía eléctrica que requieren los dispositivos electrónicos de consumo de los habitantes para ser cargados, la metodología de investigación será cuantitativa. Con el fin de obtener los datos necesarios para el diseño y comprobar el rendimiento del prototipo, los análisis de datos numéricos (por análisis estadístico o modelación matemática) serán los que determinen cada uno de estos parámetros.

Se requerirán de fuentes primaria y secundaria de información para el desarrollo de estas metodologías de investigación. La fuente primaria será por medio de encuestas de preguntas cerradas y abiertas, debido a que será un trabajo de campo donde se necesita saber la potencia de consumo y el tipo de todos los dispositivos que puedan llegar a tener los habitantes, para así tener un desarrollo óptimo del prototipo con base en esa información técnica; además de obtener información del habitante acerca de su sensación con el prototipo al momento de usarlo. La segunda fuente, para tomar datos procesados por centros de información climatológica como el IDEAM para continuar con el cálculo del prototipo en la zona indicada y así finalizar el diseño de todo el prototipo.

5.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para la metodología de trabajo a utilizar a lo largo de toda la investigación, se escoge la Kanban japonesa. Esta metodología visual permite tener presente los estados, etapas y tareas del proyecto por hacer, en desarrollo y ya finalizados (Redacción APD, 2021).

Se decidió por esta debido a que también permite tener un flujo de trabajo constante que se divide en metas pequeñas, distribución de tareas y estado del proyecto en un tablero con tarjetas que contienen la información gráfica necesaria. Esto permitirá tener una monitorización continua del trabajo y realizar los ajustes necesarios con el fin de tener eficiencia en el desarrollo de la investigación (Kanban tool, 2020).

Para desarrollar esta metodología de trabajo se necesita de un medio visual. Por lo tanto, se escoge utilizar alguna aplicación digital que sirva tanto para computadores como para celulares y que permita acceder al tablero de trabajo en cualquier momento con el propósito de tener siempre a la mano las tareas, seleccionarlas, saber cuáles están en desarrollo, etc.

Por último, se decidió trabajar con tableros digitales ya que las aplicaciones digitales permiten mayor eficiencia en el trabajo, además de que no se quiere utilizar elementos y materiales para hacer del desarrollo de la investigación más sostenible y sustentable.

5.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población del objeto de investigación es el municipio de Puerto López. Allí la mayoría de los usuarios tienen acceso a la electricidad, por encima del 90% cuenta con este servicio (Concejo Municipal de Puerto López, 2015). Debido a que en el centro poblado La Balsa, contando con aproximadamente 50 usuarios, tiene un acceso a la red pública, pero a veces presenta fallas en su suministro eléctrico, esta será la muestra hacia la cual se tome la información y se desarrolle la investigación.

5.5 PROCEDIMIENTO Y FASES

Con el propósito de cumplir con el objetivo de la investigación, a continuación, se presentan cada una de las fases por medio de las cuales se desarrollará el proyecto:

ETAPA 1: ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS.

Sobre los dispositivos electrónicos para consumo y trabajo se debe tener en cuenta la energía que consumen durante el tiempo que su batería esté cargada y permita utilizarlos de manera efectiva. Los más comunes hoy en día son los teléfonos celulares, los computadores portátiles y las tabletas digitales (Protección de datos de España, 2019). Estos dispositivos son comúnmente utilizados para actividades académicas, de trabajo y de entretenimiento, por lo que cada vez ha ido aumentando el porcentaje de personas en cada país que pueden tener uno o más de estos. En el centro poblado La Balsa, debido a su alta población de usuarios, se encontró una necesidad de brindar un sistema de suministro eléctrico para solucionar los problemas de intermitencias que puedan llegar a tener.

Debido a la alta demanda de estos dispositivos electrónicos a nivel general, se han desarrollado tecnologías más eficientes para que sus baterías puedan mantener encendido el dispositivo más tiempo. Pero de igual manera sucede con el tiempo de descarga, la carga de estos siempre tiene un tiempo considerable y aún más cuando se trata de dispositivos antiguos tanto por uso como por tecnología utilizada.

De este modo, el correcto análisis de la información que se obtenga directamente de los habitantes acerca de sus dispositivos sobre la potencia, tiempo de uso diario, tiempo de descarga, tiempo de carga, entre otros, es de vital importancia para el desarrollo de la investigación debido a que la estación de carga debe de suministrar la energía necesaria para aquellos dispositivos que se vayan a conectar a ella.

Asimismo, el análisis de las condiciones climatológicas como irradiación solar, precipitaciones y contaminación harán que los requisitos de mantenimiento y operación de la estación de carga tengan sentido en el lugar donde se instalará para continuar con un rendimiento óptimo.

ETAPA 2: ANÁLISIS DOCUMENTAL.

Con el fin de tener un tiempo de desarrollo y una utilización de materiales, componentes y elementos en la instalación eficientes, toda la información recopilada en el estado del arte y el marco teórico de este documento servirán para tomar las mejores decisiones de cara a cumplir con este objetivo, aparte de contar con la búsqueda de información de otras fuentes no citadas para complementar conocimientos en caso de que se requiera.

Partiendo de libros, artículos y textos en general donde el tema principal sea acerca del desarrollo de instalaciones solares fotovoltaicas aisladas hasta documentos que hablen de cada parte específica requerida para estas, se espera poder trabajar con ellos para que en la instalación del proyecto se tengan unos estándares de calidad, utilidad económica y ayuda al medio ambiente (Carreño, 2022).

ETAPA 3: DESARROLLO.

Para tener un buen desarrollo del proyecto y así llegar a la siguiente etapa de implementación con un prototipo de buen funcionamiento, fácil instalación y fácil mantenimiento, se es necesario la utilización de herramientas digitales que permitan una optimización de esta etapa (Carreño, 2022). El uso de softwares para diseñar, simular y validar los diseños y procesos de las partes mecánica y eléctrica del proyecto ayudará a tener una instalación acorde con las necesidades, de calidad y de seguridad. Para esta etapa, se contará con tres actividades generales.

Diseño eléctrico: En esta fase, se procede a calcular y diseñar todo lo que respecta a la parte de suministro eléctrico del sistema. Desde el cálculo de potencia y energía a demandar hasta la selección de los modelos comerciales calificados de cada uno de los elementos. Aquí se considerarán las características del consumo diario, la potencia instalada, los paneles solares, el inversor, el banco de baterías y su regulador, elementos de conexión, entre otros.

Esta fase estará compuesta de métodos analíticos y de métodos basados en CAE que permitan crear un gemelo digital del prototipo y hacer una sinergia enfocada hacia la capacidad y el rendimiento de este en su fase de operación luego de instalado.

Diseño mecánico: Luego de tener un diseño eléctrico definido, se procede a dar forma a la estructura que tendrá la estación de carga, dimensionando las partes, seleccionando sus tipos de uniones, formas de ensamblaje, selección de material, cálculo y simulación de resistencia mecánica; todo esto por un software CAD/CAE.

Así entonces, la parte mecánica estática del proyecto estará desarrollada acorde a las necesidades que se tengan desde el diseño eléctrico y considerando fuertemente el diseño circular en cada una de sus actividades para hacer con esta fase un aporte sustentable y sostenible.

Fabricación: Luego de tener definidos los requisitos eléctricos y mecánicos de la cabina, se procede a realizar la manufactura de los elementos mecánicos que no se encuentren fácilmente o que simplemente no se encuentren en el mercado.

Debido a que este prototipo es de un proyecto de investigación, se entiende que no hay estándares para cada parte del desarrollo que se tendrá, por lo tanto, se recurre a la fabricación de las piezas necesarias para cumplir con la instalación, reiterando el enfoque hacia una economía circular intentando obtener siempre materiales ya

utilizados pero que puedan extender su vida útil para ser parte de la vida útil de la estación de carga.

ETAPA 4: IMPLEMENTACIÓN.

Con cada una de las partes eléctrica y mecánica totalmente definidas entre sí, se procede a poner en práctica los conocimientos y habilidades adquiridos a través de la etapa de formación haciendo la construcción del prototipo. Empezando por la obtención de todos y cada uno de los materiales necesarios para la instalación de la estación, se procede a desglosar las tareas de las partes mecánica y eléctrica para realizarlas en ese orden respectivamente.

Haciendo uso de los planos de fabricación y de ensamblaje creados en la fase de diseño mecánico, se hace la unión respectiva entre piezas y su ajuste necesario para formar toda la estructura de la estación y que así ya se tenga el espacio para cada elemento de la parte eléctrica. Posteriormente y siguiendo también los planos de conexión eléctricos del sistema eléctrico, se hace la instalación de cada uno de los elementos de generación, conversión y suministro eléctrico que correspondan a la estación.

Así entonces, se permite tener ya la práctica para la construcción del sistema completo y que pueda empezar su fase de operación en el centro poblado La Balsa buscando.

ETAPA 5: EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN.

En esta etapa se definen los procesos de evaluación para la validación de la funcionalidad y rendimiento de la estación de carga en el centro poblado La Balsa en el municipio de Puerto López, Meta. Asimismo, corroborar si los objetivos planteados fueron cumplidos en la puesta en operación de la estación de carga.

De acuerdo con los reglamentos técnicos y los objetivos que se tengan para una instalación fotovoltaica aislada por entes oficiales, se buscará verificar el correcto funcionamiento de la parte mecánica y de la parte eléctrica desde su instalación individual hasta su operación.

Después, por medio de la experiencia compartida por parte de los habitantes, se buscará validar si estos se sienten satisfechos con el prototipo instalado. Posteriormente, se realiza busca realizar una posible recopilación y análisis de información acerca de la operación de la estación de carga para tener en cuenta aspectos claves que puedan servir para corrección y/o mejoramiento de la estación de carga (Carreño, 2022).

6. CRITERIOS DE DISEÑO

Con el fin de desarrollar un buen proceso de diseño para todo el sistema, se establecieron y trabajaron diversos criterios cuantitativos y cualitativos tanto eléctricos como mecánicos. Los del tipo mecánicos estuvieron principalmente basados en los del tipo eléctricos ya que estos fueron los que determinaron cómo se seleccionarán y ajustarán cada uno de los elementos a la instalación fotovoltaica.

6.1 CRITERIOS DE DISEÑO ELÉCTRICO

La energía solar es una fuente no renovable que abunda la Tierra y bastante en Colombia y que respecto a otras energías es fácil de trabajar por medio de energía solar fotovoltaica. Con el fin de desarrollar una solución basada en esta tecnología, se determinaron cuatro principales criterios de diseño eléctrico: necesidades energéticas, recursos energéticos, elementos del sistema y protecciones eléctricas.

Los datos de necesidades energéticas se obtuvieron de la información primaria obtenida de consultar a los habitantes del centro poblado La Balsa acerca de sus dispositivos electrónicos nominalmente por medio de una encuesta y de realizar de manera experimental mediciones sobre algunos de estos.

La energía solar disponible y demás variables físicas ambientales para trabajar en esta zona del país se determinaron por medio de la extracción de la información secundaria que presenta el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) acerca de estas variables.

Los elementos del sistema eléctrico se determinaron haciendo el estudio del estado del arte disponible acerca de otros proyectos de instalaciones fotovoltaicas aisladas.

Por último y de igual manera que en el ítem anterior, los criterios de las protecciones eléctricas se definieron conforme al tipo de elementos del sistema y las condiciones a las que estarán sometidos.

6.1.1 Necesidades energéticas

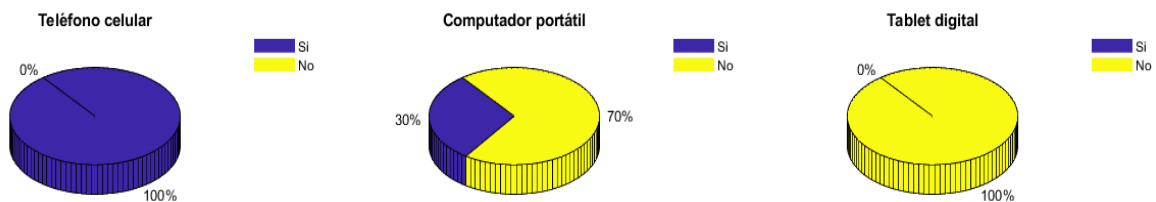
Para el desarrollo de la parte eléctrica del proyecto, fue necesario recurrir al estudio de las informaciones primaria y secundaria que se mencionaron en la sección de diseño metodológico y también lo fue tener en cuenta la hora solar pico corregida como necesidad energética, todo esto con el fin de determinar posteriormente las potencias y energías de entrega y consumo en el sistema eléctrico.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENCUESTAS:

A partir de las encuestas hechas a una muestra de 30 usuarios de energía eléctrica en el centro poblado La Balsa, Puerto López, se presentan los resultados y el estudio respectivo de estos.

La solución debía de estar pensada para los dispositivos teléfonos celulares, computadores portátiles y tablets digitales de los usuarios del centro poblado La Balsa. De esta manera, lo primero que se hizo fue determinar la cantidad de usuarios que poseían o no estos dispositivos a través de las preguntas 1 (¿Posee usted un teléfono celular?), 7 (¿Posee usted un computador portátil?) y 13 (¿Posee usted una tablet digital?).

Figura 29. Resultados preguntas 1, 7 y 13.

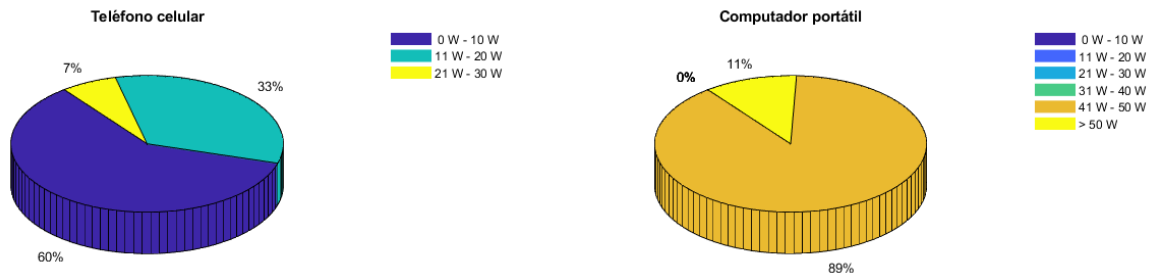


Fuente: (propia del autor, 2022).

Se observó que todos los usuarios encuestados poseían teléfonos celulares, que menos de un tercio de estos poseía también un computador portátil y que ninguno de los usuarios poseía una tablet digital. Siendo así, se procedió solo a analizar y mostrar los resultados de las demás preguntas respecto a variables eléctricas y de tiempo de uso sobre teléfonos celulares y computadores portátiles, ya que no había datos que analizar respecto a tablets digitales.

Las preguntas 2 (¿De cuánta potencia nominal es el cargador de su teléfono celular?) y 8 (¿De cuánta potencia nominal es el cargador de su computador portátil?) de la encuesta referían a la potencia nominal de los cargadores a la cual funcionaban estos dispositivos.

Figura 30. Resultados preguntas 2 y 8.



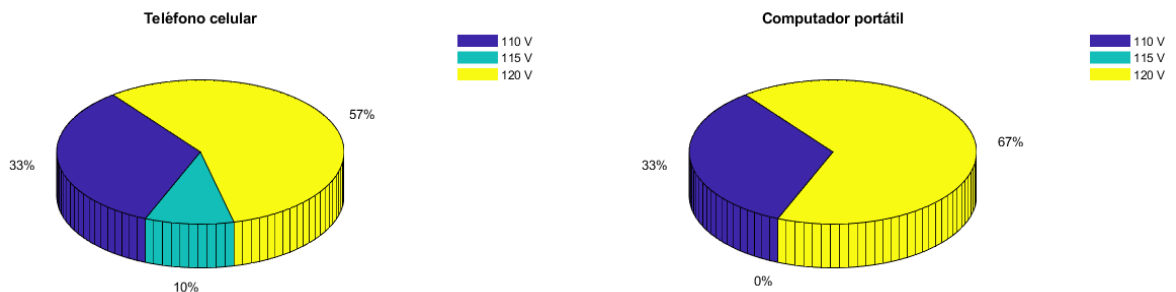
Fuente: (propia del autor, 2022).

En el caso de los celulares, el 60% de los usuarios tuvo en estos dispositivos para carga una potencia de consumo que es menor o igual a 10W, el cual es un valor muy común hoy en día. Además, el 40% restante tiene una tecnología que permite entregar más energía, lo cual también hoy en día se está viendo con mayor frecuencia en los nuevos dispositivos de carga.

Respecto a los computadores portátiles, la gran mayoría de los usuarios respondieron que los cargadores de estos equipos tenían una potencia de consumo de entre 40 W y 50 W, lo cual significa que también están en el promedio de valores que los dispositivos más comerciales sostienen. Estos valores fueron de vital importancia porque fueron los más altos encontrados entre los dos tipos de dispositivos y con ellos se determinó las energías de consumo y de suministro.

Las preguntas 3 (¿Cuál es el valor de tensión nominal de entrada del cargador de su teléfono celular?) y 9 (¿Cuál es el valor de tensión nominal de entrada del cargador de su computador portátil?) referían a la tensión alterna nominal a la que funcionaban estos dispositivos. Se observó que la mayoría de cada tipo de dispositivo funcionaba a 120 V nominales, algo importante para la etapa de suministro de energía eléctrica.

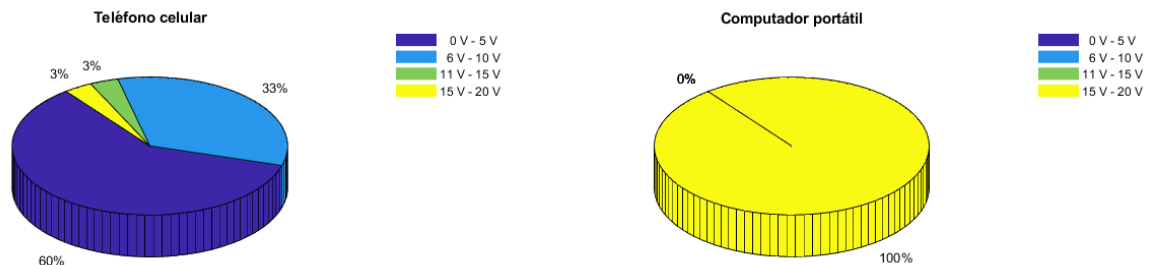
Figura 31. Resultados preguntas 3 y 9.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Las preguntas 4 (¿Cuál es la tensión nominal de salida del cargador de su teléfono celular?) y 10 (¿Cuál es la tensión nominal de salida del cargador de su computador portátil?) fueron hechas para saber la tensión continua nominal a la que funcionaban cada uno de los dispositivos. Dichas preguntas fueron importantes para realizar correctamente algunos experimentos de medición de variables eléctricas, con el fin de obtener información acerca de del comportamiento real de una muestra.

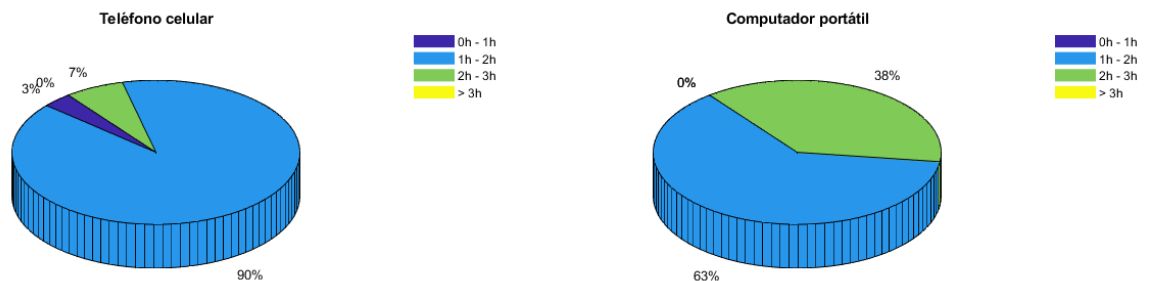
Figura 32. Resultados preguntas 4 y 10.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Se encontró entonces que la mayoría de los celulares funciona a una tensión de 5 V, mostrando una correlación alta con los cargadores de 10 W y corroborando la utilización de este tipo de tecnología en la mayoría de los dispositivos encuestados. Por otro lado, el 100% de los cargadores para los computadores portátiles funcionaban entre 15 V y 20 V, algo que significa que la tecnología utilizada en todos estos sigue las corrientes tecnológicas actuales de consumo eléctrico.

Figura 33. Resultados preguntas 5 y 11.

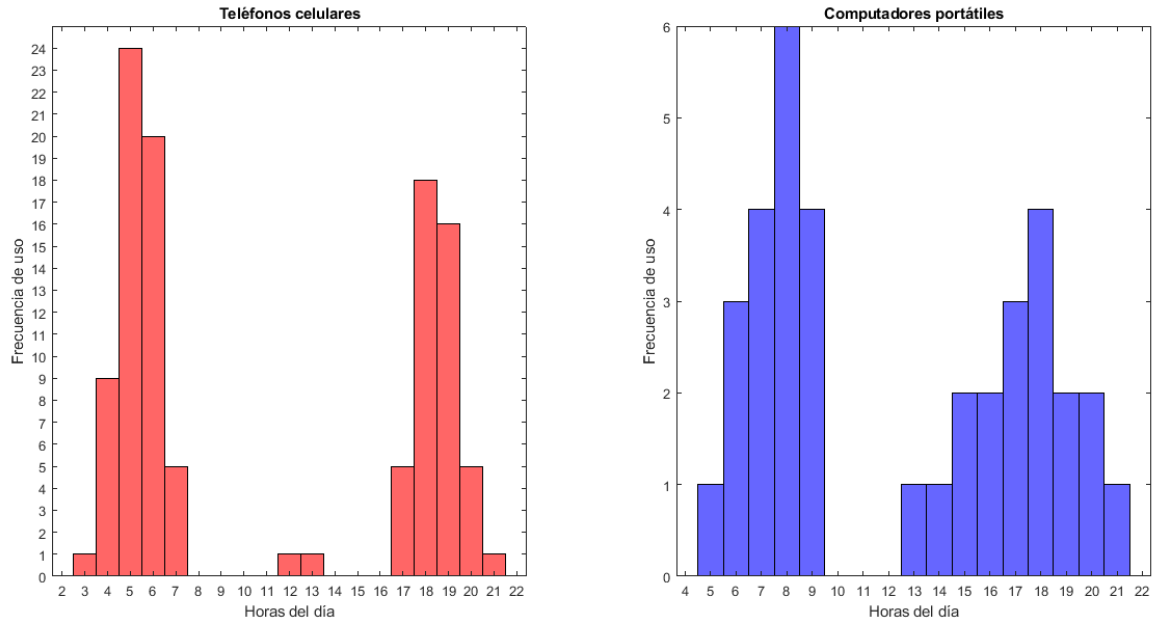


Fuente: (propia del autor, 2022).

Una pieza clave para el diseño de un sistema de suministro de energía eléctrica es la cantidad de tiempo en el cual están los equipos conectados al sistema de electricidad consumiendo potencia. Las preguntas 5 (¿Cuánto tiempo en promedio tarda su teléfono celular en cargarse completamente desde una carga nula?) y 11 (¿Cuánto tiempo en promedio tarda su computador portátil en cargarse desde una carga nula?) refieren al tiempo que les toma a sus dispositivos ser cargados en su totalidad y las preguntas 6 (¿En qué horarios pone a disposición su teléfono celular

para ser cargado?) y 12 (¿En qué horarios pone a disposición su computador portátil para ser cargado?) los horarios en los que son conectados para este fin.

Figura 34. Resultados preguntas 6 y 12.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Se observó que la gran mayoría de los teléfonos celulares demoran un tiempo menor o igual a 2 horas para ser cargados, y de igual manera se ve que el 63% de los computadores portátiles toman entre 1 y 2 horas para ser cargados. Estos pares de datos fueron importantes para determinar la energía necesaria a suministrar.

Por otro lado, se observó que los picos de acción para la carga de teléfonos celulares se encuentran ubicados entre las 5 y 6 de la mañana y entre las 6 y 7 de la noche, presentando un tiempo pico de consumo de 2 horas. Asimismo, para los computadores portátiles se encuentran dos pares de picos de alto consumo para su carga, entre las 7 y 9 de la mañana y entre las 5 y 6 de la tarde, presentando un tiempo de consumo de 3 horas.

Así entonces, concatenando ambos intervalos de tiempo, se obtuvo que aproximadamente existen 6 horas diarias de alto consumo para todos los dispositivos, horas pico que se tuvieron en cuenta en la sección de diseño eléctrico, estando el primero intervalo desde las 5 a.m. hasta las 9 a.m. y el segundo intervalo entras las 5 p.m. y las 7 p.m. De esta manera, se tuvo un tiempo de consumo tres veces mayor que el tiempo pico de consumo de teléfonos celulares y el doble de tiempo de consumo para computadores portátiles.

ANÁLISIS DE DATOS Y CÁLCULOS DE VARIABLES ELÉCTRICAS:

Con el fin de hacer la comprobación de que los datos nominales obtenidos de las encuestas hechas eran confiables, se realizaron medidas experimentales de las variables eléctricas de tensión y corriente y asimismo los cálculos pertinentes para determinar potencia, resistencia equivalente y eficiencia de conversión en cada uno de los dispositivos de una muestra aleatoria que se escogió al momento de realizar las encuestas. Así entonces, de manera experimental se obtuvo más información acerca del comportamiento real de aquellos dispositivos para realizar a conformidad el diseño del sistema eléctrico.

En primera instancia se realizaron las mediciones y cálculos en cinco teléfonos celulares, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. Valores de las variables eléctricas de teléfonos celulares.

Muestra	Variable eléctrica	Entrada		Salida		Eficiencia (%)
		Teórico	Experimental	Teórico	Experimental	
1	Potencia (W)	10.00	11.16	10.00	9.60	86.06
	Tensión (V)	120.00	124.00	5.00	4.90	
	Corriente (A)	0.08	0.09	2.00	1.96	
	Resistencia (Ω)	1440.00	1377.78	2.50	2.50	
2	Potencia (W)	18.00	17.36	18.00	17.10	98.50
	Tensión (V)	120.00	124.00	9.00	9.00	
	Corriente (A)	0.15	0.14	2.00	1.90	
	Resistencia (Ω)	800.00	885.71	4.50	4.74	
3	Potencia (W)	15.00	14.88	15.00	14.25	95.77
	Tensión (V)	120.00	124.00	5.00	5.00	
	Corriente (A)	0.13	0.12	3.00	2.85	
	Resistencia (Ω)	960.00	1033.33	1.67	1.75	
4	Potencia (W)	10.00	9.42	10.00	9.25	98.15
	Tensión (V)	120.00	124.00	5.00	5.00	
	Corriente (A)	0.08	0.08	2.00	1.85	
	Resistencia (Ω)	1440.00	1631.58	2.50	2.70	
5	Potencia (W)	10.00	9.30	10.00	9.25	99.46
	Tensión (V)	120.00	124.00	5.00	5.00	
	Corriente (A)	0.08	0.08	2.00	1.85	
	Resistencia (Ω)	1440.00	1653.33	2.50	2.70	

Fuente: (propia del autor, 2022).

De la tabla anterior se pudo decir que, a pesar de que la potencia experimental de uno de los dispositivos fue mayor que la potencia nominal en su puerto de entrada

- los dispositivos son altamente eficientes, ya que la conversión de energía eléctrica en promedio fue de 95.6 %,
- la desviación entre los valores nominales y experimentales tanto en los puertos de entrada como en los de salida no supera el 10 %,
- los valores nominales de todos los dispositivos son confiables para el proyecto.

Posteriormente se realizaron las medidas y cálculos para los computadores portátiles, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Valores variables eléctrica de computadores portátiles.

Muestra	Variable eléctrica	Entrada		Salida		Eficiencia (%)
		Teórico	Experimental	Teórico	Experimental	
1	Potencia (W)	45.00	43.40	45.00	42.68	98.34
	Tensión (V)	120.00	124.00	19.50	19.40	
	Corriente (A)	0.38	0.35	2.31	2.20	
	Resistencia (Ω)	320.00	354.29	8.45	8.82	
2	Potencia (W)	45.00	40.92	45.00	38.03	92.93
	Tensión (V)	120.00	124.00	20.00	19.50	
	Corriente (A)	0.38	0.33	2.25	1.95	
	Resistencia (Ω)	320.00	375.76	8.89	10.00	
3	Potencia (W)	45.00	44.64	45.00	41.50	92.95
	Tensión (V)	120.00	124.00	19.50	19.30	
	Corriente (A)	0.38	0.36	2.31	2.15	
	Resistencia (Ω)	320.00	344.44	8.45	8.98	
4	Potencia (W)	45.00	42.16	45.00	41.20	97.73
	Tensión (V)	120.00	124.00	19.00	18.90	
	Corriente (A)	0.38	0.34	2.37	2.18	
	Resistencia (Ω)	320.00	364.71	8.02	8.67	
5	Potencia (W)	45.00	40.30	45.00	39.91	99.04
	Tensión (V)	120.00	124.00	19.50	19.47	
	Corriente (A)	0.38	0.33	2.31	2.05	
	Resistencia (Ω)	320.00	381.54	8.45	9.50	

Fuente: (propia del autor, 2022).

De la tabla anterior se pudo decir que

- todos los dispositivos trabajan con una tecnología similar entre ellos ya que la potencia nominal de todos fue la misma, de 45 W,
- los dispositivos son altamente eficientes ya que el promedio de conversión fue de 96.20 %,
- los valores nominales son confiables para el desarrollo del proyecto.

Por último, no se pudo obtener una tabla de datos para los dispositivos de tablets digitales ya que ninguno de los usuarios poseía al menos una unidad de estos, por lo cual era insustancial siquiera hacer una tabla sin valores diferentes a cero.

HORA SOLAR PICO CORREGIDA:

La hora solar pico (HSP) es el momento durante el cual un panel solar recibe 1,000 W de potencia durante una hora en un metro cuadrado de área. Debido a que la trayectoria del sol a lo largo de todo el año no es la misma variando de estación a estación y a que su radiación lo hace de igual manera dependiendo de la zona geográfica del planeta, la HSP corregida fue un criterio importante con el fin de aprovechar la mayor cantidad de energía solar posible.

$$HSP_{corregida} = HSP * k * k' * k'' \quad (1)$$

Donde

k es el factor de inclinación del panel respecto al punto geográfico global,

k' es el factor de corrección por efectos atmosféricos y

k'' es el factor de corrección por orientación de los paneles por su instalación.

El valor de k' se tomó como valor unitario debido a que el IDEAM en sus datos presentados de la irradiación solar ya tiene en cuenta los efectos atmosféricos que se presentan en sus zonas de medición.

Según (Alvarado, 2018), " k'' se toma también como valor unitaria si la estructura sobre la cual estarán ubicados los módulos fotovoltaicos no tiene una orientación fija preestablecida". En este caso se tomó así, como unitario, debido a que la estructura sobre la cual estarían dispuestos es de diseño e instalación propia, por lo cual la orientación no era una limitante.

De esta manera, el único factor a calcular por medio de tablas guías ofrecidas por entes gubernamentales fue el del factor de inclinación, el cual estuvo basado en la latitud del lugar y la inclinación de los paneles solares en la estructura que lo soporta.

6.1.2 Recursos energéticos

Toda la información secundaria presentada se encontró en los atlas interactivos “Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia” y “Atlas Climatológico de Colombia” del IDEAM. De estos se extrajeron datos e información acerca de la irradiación solar, brillo solar, temperatura, precipitaciones y humedad relativa para el municipio de Puerto López.

Estas variables fueron seleccionadas porque son las que más incidirán en la operación y rendimiento de la estación de carga y debido a que será susceptible a ellas por estar en un ambiente totalmente abierto.

Irradiación Solar Global Horizontal y Brillo Solar:

Los datos relevantes extraídos acerca de la irradiación global horizontal y brillo solar para el municipio se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Datos de irradiación global y brillo solares diarios en Puerto López.

Mes	Irradiación solar (kWh/m ²)		Brillo solar (h)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Enero	4.0	4.5	6	7
Febrero	5.0	5.5	6	7
Marzo	4.0	4.5	4	5
Abril	4.0	4.5	4	5
Mayo	4.0	4.5	4	5
Junio	4.0	4.5	3	4
Julio	4.0	4.5	3	4
Agosto	4.0	4.5	4	5
Septiembre	4.5	5.0	5	6
Octubre	5.0	5.5	5	6
Noviembre	4.5	5.0	5	6
Diciembre	5.0	5.5	6	7
PROMEDIO	4.33	4.83	4.58	5.58

Fuente: (propia del autor con datos del IDEAM, 2022).

De este modo, se encontró con los promedios temporales mensuales diarios mínimos y máximos de irradiación solar global horizontal y brillo solar que el municipio de Puerto López:

- Recibe un mínimo de 4.5 kWh/m² y un máximo de 5.0 kWh/m² promedio de energía solar aproximadamente a diario durante todo el año. Lo que significa a su vez que recibe entre 1.64 MWh/m² y 1,8 MWh/m² de energía anualmente.
- Tiene un promedio diario de entre 4.5 HSP y 5.0 HSP, teniendo en cuenta que 1 HSP refiere al lapso en el cual un panel solar ideal puede generar 1,000 W de potencia o más por cada metro cuadrado.
- Presenta entre 5 y 6 horas de brillo solar, tiempo en el cual la radiación proveniente del sol llega de manera directa a su superficie.

Adicionalmente, se buscó información acerca del intervalo de horas donde la irradiación global es máxima y el intervalo donde ocurren las horas de brillo solar.

Figura 35. Tabla de radiación promedio horaria de Villavicencio, Meta.

ESTACION ICA (VILLAVICENCIO)												
PROMEDIO HORARIO DE LA RADIACION (Wh/m ²)												
HORA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0-1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
1-2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
2-3	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
3-4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
4-5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
5-6	0,1	0,1	0,1	0,7	1,6	1,4	0,5	0,4	1,6	3,8	2,5	0,6
6-7	38,5	32,9	35,1	53,8	58,5	64,1	52,0	53,7	77,3	100,6	86,0	60,1
7-8	186,1	145,5	134,0	167,8	169,3	181,1	171,7	175,4	245,6	281,1	271,1	246,3
8-9	384,5	311,1	270,0	304,0	303,0	338,9	316,9	332,8	425,7	483,5	451,0	445,9
9-10	602,6	500,6	426,6	466,8	451,5	490,3	439,2	482,1	594,9	660,9	642,8	616,6
10-11	758,7	656,2	540,9	572,0	549,6	578,8	554,5	588,8	648,5	720,2	715,9	723,8
11-12	743,9	709,7	591,5	614,9	615,4	631,2	591,5	624,3	663,6	701,8	683,8	671,5
12-13	723,3	646,1	630,0	627,4	604,6	593,3	606,9	606,1	721,5	672,7	656,5	667,6
13-14	618,2	583,4	597,8	555,5	510,2	481,8	490,9	566,2	676,5	586,3	538,2	531,6
14-15	484,2	462,8	488,8	431,8	444,4	404,9	451,9	472,5	519,0	449,9	386,5	420,6
15-16	315,7	327,0	326,8	302,9	295,7	289,6	338,8	331,0	356,3	281,1	252,7	301,3
16-17	167,7	170,4	176,9	152,5	148,4	149,6	179,0	179,3	171,1	123,1	108,4	128,5
17-18	40,0	46,9	44,0	31,6	32,2	33,1	43,4	44,5	30,9	15,1	11,7	21,0
18-19	0,6	0,6	0,3	0,2	0,2	0,4	0,6	0,6	0,2	0,2	0,2	0,3
19-20	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
20-21	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
21-22	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
22-23	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
23-0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
Acumulada diaria	5064,0	4593,4	4262,9	4282,0	4184,6	4238,5	4237,7	4457,7	5132,8	5080,5	4807,2	4835,8

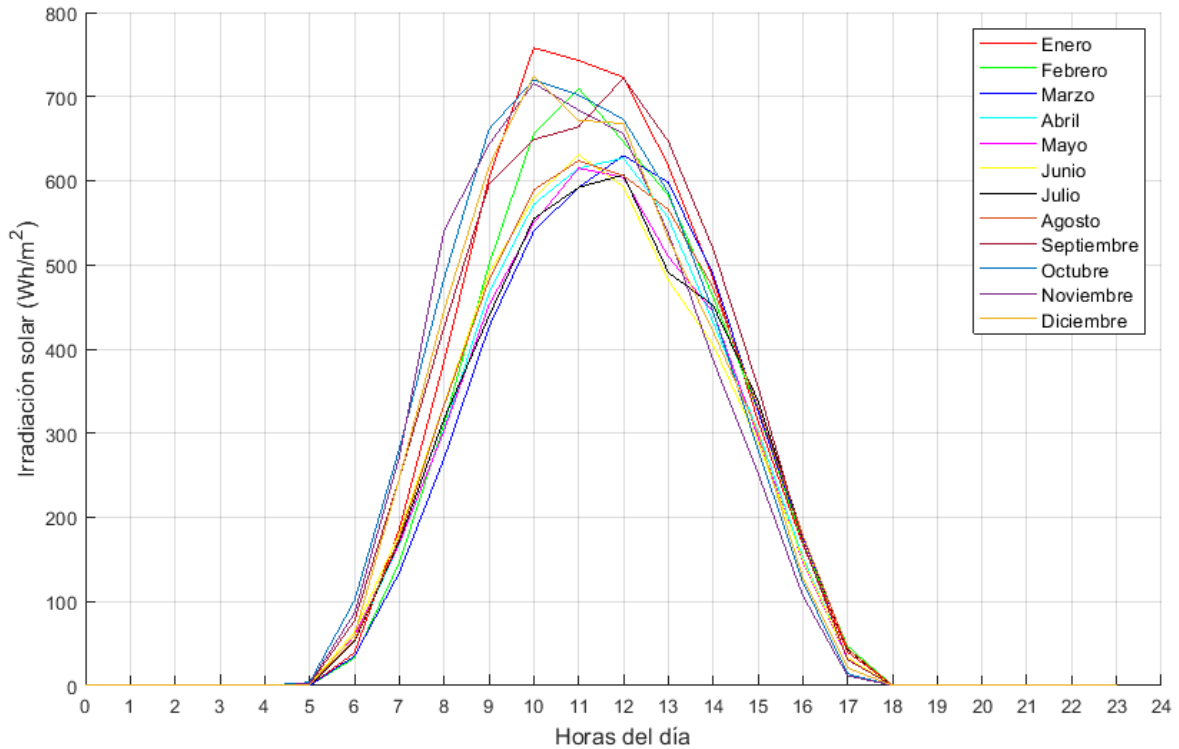


Fuente: (IDEAM, 2022).

Debido a que el IDEAM no presenta estos datos de interés particular para sitios diferentes a la capital del país ni diferentes a las capitales de los 32 departamentos de Colombia, se escogió la tabla que presentan al usuario para la ciudad de Villavicencio debido a que los datos de irradiación y brillo solares son similares y a que la distancia entre los dos lugares es relativamente cerca respecto de Bogotá, la cual tiene la estación más cercana en la Universidad Nacional de Colombia después de la ya mencionada, pero que percibe condiciones climatológicas muy diferentes.

Así entonces, teóricamente se pudieron hacer algunas presunciones para el municipio de Puerto López graficando los valores de irradiación y analizando las variables presentadas a lo largo del día.

Figura 36. Distribución de Irradiación y brillo solares en Villavicencio.



Fuente: (propia del autor con datos del IDEAM, 2022).

Se encontró que la irradiación aprovechable en el municipio se tiene en un horario de trabajo desde las 5 a.m. hasta las 6 p.m., es decir, se cuenta con aproximadamente 13 horas donde la energía solar puede ser convertida en electricidad de manera significativa.

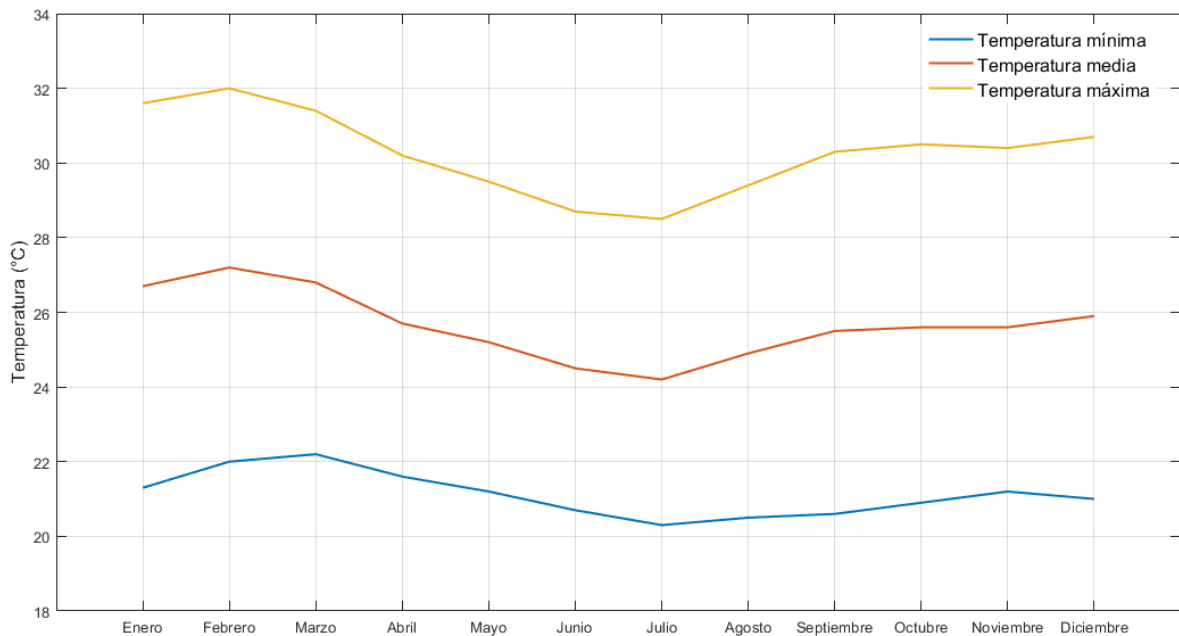
Se determinó que las HSP y las horas de brillo solar en el municipio ocurren entre las 8 a.m. y las 3 p.m. en promedio a lo largo de todo el año, teniendo sus máximos de irradiación solar entre las 10 a.m. y 12 m. Este lapso de siete horas es en el cual se estará obteniendo la mayor cantidad de energía solar y también será cuando las condiciones de temperatura presenten características notables que afecten la operación de los paneles solares.

Además, se encontró que entre los meses de febrero y agosto se presenta el periodo en el cual la irradiación solar global es menor, mostrando un promedio diario de 4.32 kWh/m². Este valor es importante debido a que estas son las condiciones mínimas de irradiación solar que se tendrán en la operación de los paneles solares.

Temperatura:

Para esta investigación, se necesitó evaluar las condiciones de temperaturas mínima, media y máxima a las que estaría sometida la estación de carga ya que esta variable afecta directamente en el rendimiento de los paneles solares. Por lo tanto, se extrajeron y analizaron los datos mensuales de promedios diarios que el IDEAM presenta anualmente.

Figura 37. Temperaturas promedio mensuales en Puerto López.



Fuente: (propia del autor con datos del IDEAM, 2022).

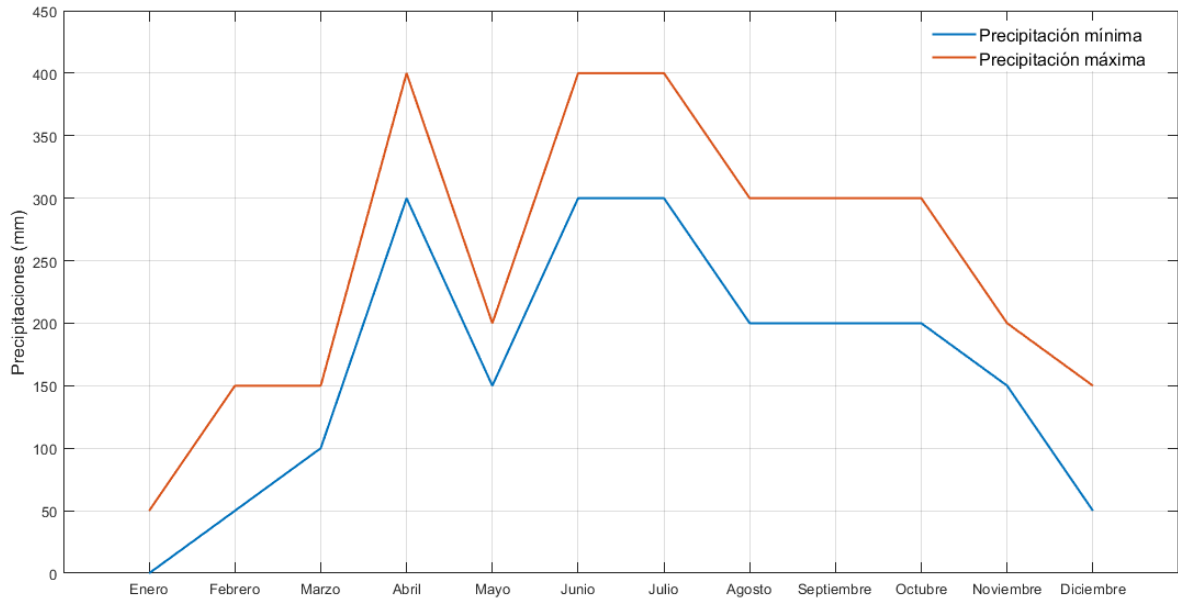
Se encontró una correlación alta entre los datos de irradiación y brillo solares con los de temperatura, en donde se encuentra que los valores mínimos de estas tres variables se presentan entre junio y agosto; y de igual manera, que sus valores máximos se encuentran entre los meses de diciembre y marzo. De esta manera, se puede decir que entre más irradiación solar tengan los paneles solares, a un mayor valor de temperatura ambiente estarán sometidos a trabajar.

Este análisis fue clave porque los datos de estas tres variables de temperatura ya determinaron que se debía de tener un diseño del sistema mecánico que permitiera a los paneles solares tener disipación de calor por aire para su refrigeración y mantener la temperatura de operación real lo más baja posible para que su rendimiento sea máximo.

Precipitaciones:

Con el fin de saber qué cantidad de agua en sus diferentes formas cae desde las nubes, fue necesario hacer un estudio de las precipitaciones que se presentan en el municipio de Puerto López. De esta manera, se pudo estudiar en qué épocas del año el sistema iba a estar sometido a más y menos cantidad de lluvia.

Figura 38. Precipitaciones promedio mensuales en Puerto López.



Fuente: (propia del autor con datos del IDEAM, 2022).

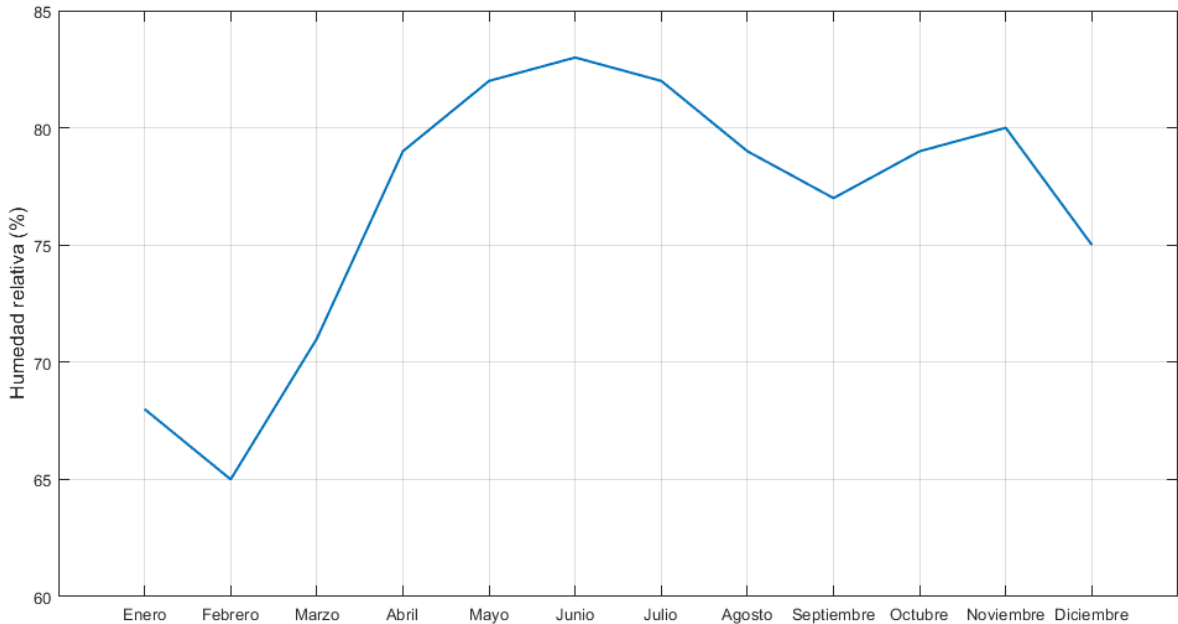
Se observa que los meses en los que más llueve en el municipio son los de abril, junio y julio; y que entre los meses de diciembre y marzo ocurre la época donde menos llueve. Estos datos son razonables teniendo en cuenta que el valor de temperaturas, irradiación y brillos solares son máximos cuando llueve menos y viceversa.

Una parte importante para el óptimo funcionamiento del sistema es su mantenimiento. En él se cuenta con la actividad de limpieza de las superficies de los paneles solares que reciben la luz solar. A pesar de los datos mostrados, estos niveles resultaron ser ineficientes para poder aprovechar el agua de lluvia con el fin de hacer esta limpieza con menos frecuencia y automatizarla de cierta manera. Por lo tanto, se decidió por desarrollar métodos manuales de limpieza para ellos sin esperar que el agua de lluvia hiciera esta labor.

Humedad relativa:

Mientras que las altas temperaturas afectan la eficiencia de conversión en los paneles solares, la humedad del aire puede causar daños físicos y de rendimiento a mediano plazo en todo el sistema, tanto mecánica como eléctricamente hablando. Así entonces, se extrajeron y analizaron los datos de humedad relativa en el aire.

Figura 39. Humedad relativa promedio mensual en Villavicencio.



Fuente: (propia del autor con datos del IDEAM, 2022).

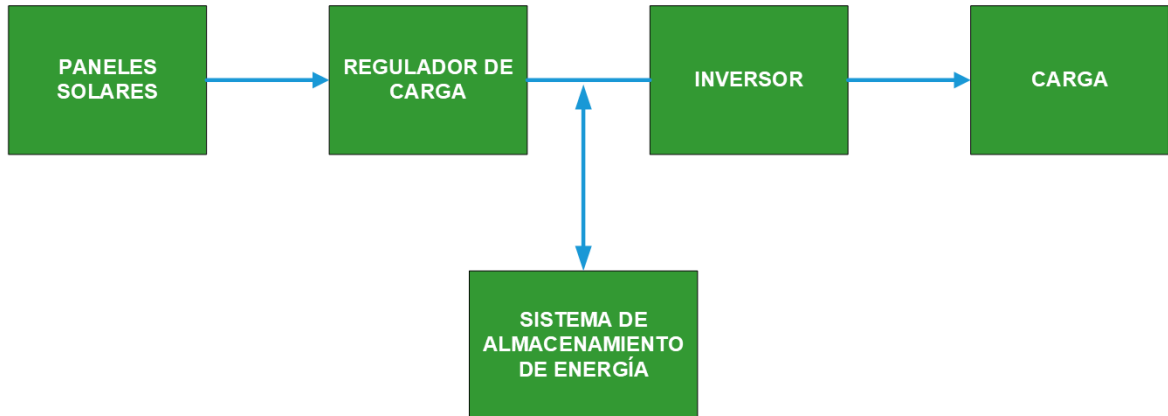
Ya que, al igual que con la irradiación y brillo solares, el IDEAM no presentaba datos específicos mensuales para el municipio de Puerto López en cuanto a humedad relativa, se estudiaron los de la ciudad de Villavicencio ya que, según los datos en el mapa presentado por esta entidad, son los mismos para ambas localidades.

Primero, se notó que hay una correlación directa entre las temporadas de lluvia alta y los de alta humedad relativa, siendo entre los meses de abril y julio cuando ocurren. Luego, observando los picos donde la cantidad de agua en el aire es mayor entre los meses de mayo y julio, se decidió que el sistema eléctrico estuviera protegido de esta variable dentro de un espacio hermético capaz de anular los efectos negativos de esta sobre los elementos que lo componen. De igual manera, se determinó que los componentes del sistema mecánico estuvieran compuestos de materiales resistentes a la corrosión y que cambiaran lo menos posible su aspecto físico a largo plazo frente a lluvias.

6.1.3 Elementos generales del sistema eléctrico

Los elementos a nivel general que componen una instalación fotovoltaica son aquellos que se encargan de generar electricidad, regularla y transformarla para entregarla a la carga a alimentar.

Figura 40. Diagrama de bloques instalación fotovoltaica aislada.



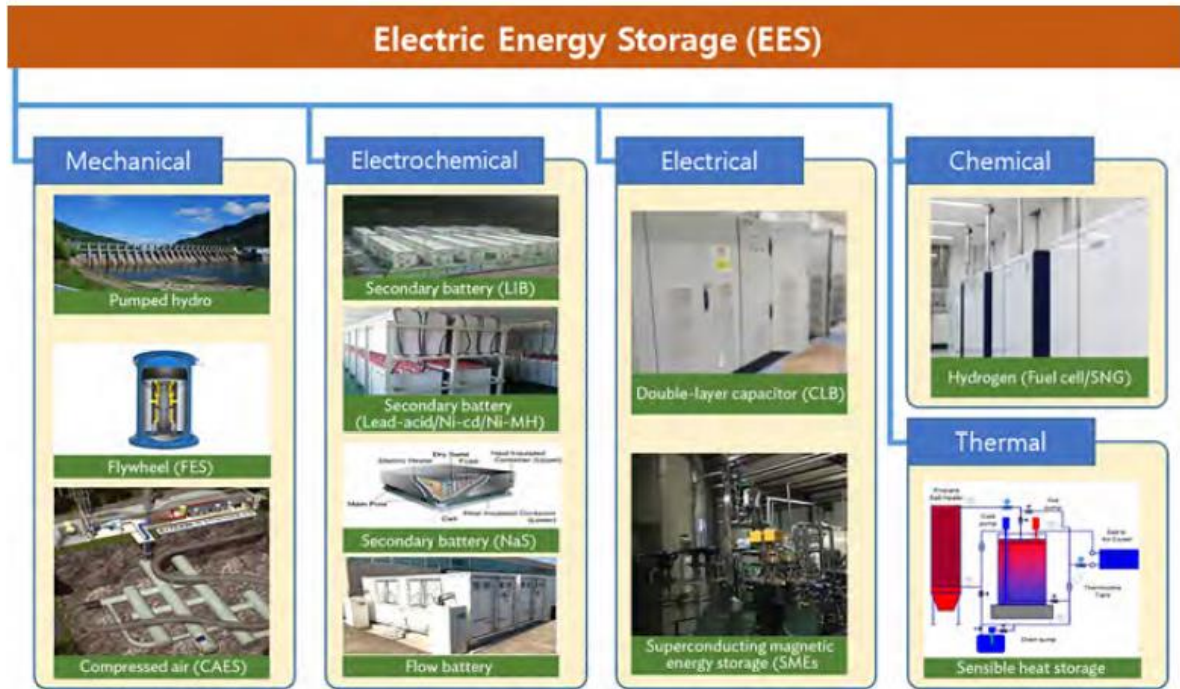
Fuente: (propia del autor, 2022).

Para este proyecto de investigación, la instalación fotovoltaica fue del tipo aislado porque no fue parte del objeto de este realizar también la actividad de la generación distribuida de electricidad para la red pública; por lo tanto y por la intermitencia que presenta la energía solar, se debió de establecer que uno de los elementos de esta instalación fuera un sistema de almacenamiento de energía para suministrar electricidad en los momentos cuando los paneles solares no estuvieran generándola.

De acuerdo con la imagen de la figura 28, se decidió que la mejor opción para este proyecto fuera un sistema de almacenamiento de energía del tipo electroquímico ya que a escalas pequeñas presenta buen rendimiento, fácil mantenimiento e instalación y bajos costos de compra, funcionamiento y vida útil. Así entonces, desde esta etapa del proyecto se supo que la selección del o los elementos del sistema de almacenamiento de energía debía ser de este tipo.

Además, se requirió de un inversor DC/AC ya que la carga a alimentar funcionaba con tensión y corriente alternas.

Figura 41. Clasificación de tecnología de almacenamiento de energía.



Fuente: (Asian Development Bank, 2018).

6.1.4 Protecciones eléctricas

En cualquier parte de la instalación fotovoltaica de este proyecto se podían presentar los casos de sobre—corriente o cortocircuito al momento de estar en operación y, para evitar daños y accidentes gracias a estas causas, se decidió que se debieron tener las óptimas protecciones eléctricas contra ello.

Como esta instalación se compuso de una etapa donde circulaba corriente directa y otra donde circulaba corriente alterna, se debieron tener diferentes tipo de protecciones para cada una de ellas. Para ambos casos, el RETIE presenta algunas indicaciones para la correcta selección de estos elementos dependiendo de la instalación y sus riesgos, respectivamente estudiados para este proyecto.

Protección del sistema de generación y regulación:

En la etapa de generación, regulación, almacenamiento y entrega al inversor de la energía eléctrica es donde estos elementos trabajan con corriente directa y por ende la selección de los elementos de protección debieron de ser de este mismo tipo.

Protección de la carga:

En la etapa donde se conectan los dispositivos de carga cuando circula corriente alterna en la estación, para este caso el elemento de protección debió de estar diseñado para este tipo de energía eléctrica.

6.2 CRITERIOS DE DISEÑO MECÁNICO

Con el fin de diseñar un sistema mecánico en el cual se pudiera ensamblar en sus partes los componentes del sistema eléctrico y que permitiera cargar los dispositivos electrónicos y que al mismo tiempo fuera posible trabajar con ellos, los criterios de diseño mecánico presentados fueron establecidos conforme a lograr este objetivo, además de cumplir con la tareas de definir formas, tamaños, pesos, cargas permitidas, métodos de ensamblaje y des ensamblaje, entre otros. Asimismo, se pensó en estos criterios pensando en la filosofía de la economía circular, para seguir haciendo sostenible el desarrollo del proyecto.

6.2.1 Requisitos específicos

A pesar de que la parte más importante del proyecto radicó en la parte energética para la generación de electricidad, los siguientes requisitos específicos se establecieron para el sistema mecánico:

- Resistencia mecánica.
- Buen comportamiento frente a condiciones de temperatura y humedad.
- Facilidad de acceso para tareas de mantenimiento y reparación ocasionales.

Los requisitos anteriores para este criterio de diseño se tuvieron en cuenta con el fin de tener un mejor el rendimiento para la estación de carga. La resistencia mecánica del sistema debía cumplir con soportar la carga de cada componente diferente al sistema mecánico; el buen comportamiento en diversas temperaturas y humedades se debió a que, como se presentó en la sección anterior, estas variables estocásticas del ambiente de trabajo pueden afectar la eficiencia en cuanto a conversión de energía eléctrica, por lo tanto era pertinente tener en cuenta en el diseño alguna capacidad de aislamiento y de ventilación para los componentes eléctricos; y la facilidad de acceso para manipular los elementos de la estación de carga fue un requisito importante con el fin de hacer de las tareas de mantenimiento y reparación una actividades técnicas eficientes.

6.2.2 Diseño modular

El establecer un criterio como diseño modular para este proyecto fue importante en primera instancia porque un proceso de diseño pensado para que los tiempos de manufactura, construcción de las partes que pudieran ser ensambladas/des—ensambladas para conformar cada módulo de la estación de carga fueran cortos.

Además, al establecer este criterio de hacer una integración del sistema mecánico por medio de módulos y no piezas individuales haría que material necesitado para la manufactura y construcción fuera menor. Debido a que una integración entre piezas individuales requiere de piezas de unión, procesos de unión, materiales de unión, esto se contra posiciona con el diseño modular que lo que hace es necesitar de menos cantidad de materiales para su construcción y menos ensamblajes al estar cada módulo con sus piezas ya determinadas.

Por último, la utilización de un diseño modular permite que la estación de carga pueda ser transportada de manera más sencilla y que pueda ser operada en su ensamblaje/des—ensamblaje por personas que no estén afines al proyecto porque la construcción de esta puede ser intuitiva, precisamente, gracias a los módulos.

6.2.3 Sostenibilidad

Como se mencionó anteriormente, no solo el utilizar una energía renovable es importante para la sostenibilidad de un proyecto energético, sino también lo es el utilizar materiales que sean amigables con el medio ambiente.

De esta manera, en el criterio de sostenibilidad para el diseño mecánico se tuvo en cuenta la selección y uso de materiales reciclados, que pudieran ser reciclados nuevamente luego de terminar su ciclo de vida útil con el proyecto y un diseño con la menor cantidad de material posible; se tuvieron en cuenta los procesos de manufactura a los que fueran sometidos y que estos no contaminaran ambientalmente durante su proceso de transformación; y que al momento de estar en operación la estación de carga, estos materiales no fueran a contaminar por estar sometidos a condiciones ambientales que pudieran degradarlos y hacer este daño.

6.2.4 Cantidad de componentes

El criterio de la cantidad de componentes a utilizar estuvo relacionado con los de diseño modular y sostenibilidad. Este criterio está incluido intrínsecamente en los dos anteriores por los objetivos a cumplir con ellos, pero se menciona nuevamente y se hace un apartado de este con el fin de explicar su porqué de estar como criterio aparte.

Aparte de necesitar los elementos principales de los sistemas mecánico y eléctrico, también se necesitan piezas para la unión entre los módulos mecánicos y la unión de los elementos eléctricos con los elementos mecánicos, así que este criterio hace pensar en, además de tratar de utilizar la menor cantidad de piezas para los módulos, en la utilización de menor cantidad de los componentes de unión sin arriesgar ni entorpecer la seguridad del sistema, agregando a esto un porcentaje mayor en sostenibilidad al consumir menor elementos para el ensamblaje.

7. DISEÑO

7.1 DISEÑO ELÉCTRICO

Basándose en los criterios de diseño presentados para la parte eléctrica, se procedió a determinar la cantidad de dispositivos a energizar simultáneamente, a calcular los valores de HSP corregida, factor de seguridad, potencia y cantidad de paneles, potencia del regulador de carga, capacidad del sistema del almacenamiento de energía, potencia del inversor, secciones transversales de los cables de interconexión de elementos y la selección de las protecciones. Asimismo, luego de haber calculado y diseñado cada una de las partes, se seleccionaron los modelos comerciales y se simuló algunos de sus respectivos procesos dentro la parte eléctrica para corroborar el correcto diseño.

7.1.1 Cantidad de dispositivos a conectar y energía de consumo

Basándose en las informaciones primaria y secundaria presentadas anteriormente, se tuvieron en cuenta los siguientes análisis hechos para la selección del número de elementos a energizar simultáneamente y el cálculo pertinente de energía necesaria:

- Desde las 6 a.m. hasta las 6 p.m. se tiene un intervalo de 12 horas donde se recibe la radiación solar en el lugar de la instalación.
- Desde las 9 a.m. hasta la 3 p.m. se tiene un intervalo de 6 seis horas donde ocurre el brillo solar.
- Desde las 10 a.m. hasta las 12 m. se tiene un intervalo de 2 horas donde llega la máxima cantidad de radiación por parte del sol.
- Los dispositivos presentaron seis horas diarias de alto consumo.
- Los dispositivos presentados que más consumen fueron los computadores portátiles, con una potencia de 45 W.
- Los computadores portátiles en promedio demoraban entre una y dos horas para ser cargados.

De esta manera, se determinó que una cantidad de cuatro dispositivos de los de mayor consumo, de 45 W, para cargar de manera simultáneamente sería óptima ya que

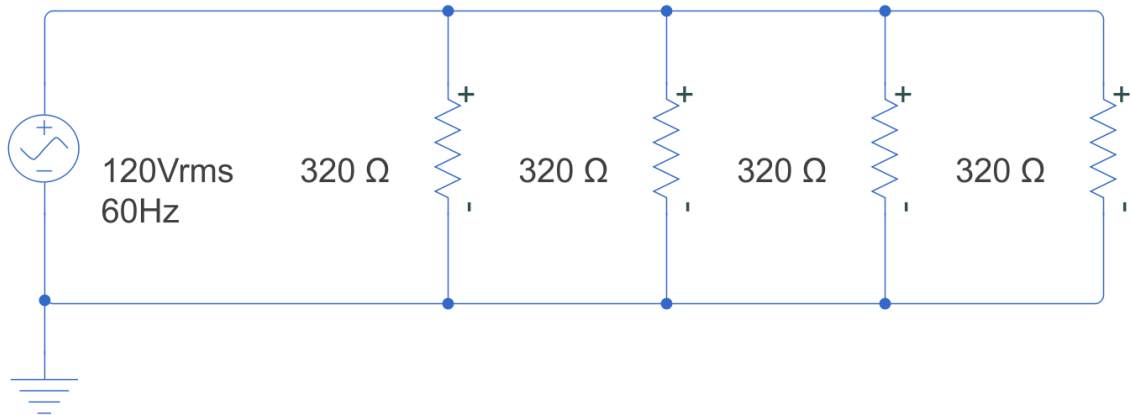
- La cantidad de computadores portátiles en el centro poblado La Balsa era de nueve. Para poder energizarlos a todos durante el tiempo requerido que demandaban de entre una y dos horas, se decidió por alimentar simultáneamente grupos de a cuatro dispositivos durante tres intervalos de dos horas. Por lo tanto, teóricamente en el intervalo de tiempo de esas seis horas se estarían cargando 12 computadores portátiles.
- La cantidad de horas de consumo pico (6) coincide exactamente con la cantidad de horas de brillo solar, lo cual hace que la energía solar que llega directamente a la superficie de los paneles sea la que más se aproveche durante esas horas.
- La cantidad de horas de irradiación solar diaria es el doble de la cantidad de horas de consumo pico, por lo tanto, se estaría capturando y convirtiendo energía solar a eléctrica durante el doble de tiempo determinado para suministrar electricidad.
- Afortunadamente, las horas de brillo solar y de máxima irradiación solar coinciden en horario entre ellas y con el intervalo de tiempo donde la demanda es más baja, por ende, este tiempo será aprovechado para capturar, convertir y almacenar la mayor cantidad de energía solar que llegar en el día. Por lo tanto, en cuando la ocurra la mayor demanda de energía, no se estará entregando directamente, lo cual hace que se tenga una mayor seguridad de contar con energía de respaldo en caso de algún fallo de conversión de energía eléctrica.
- Por último, como el valor de irradiación que se utilizó posteriormente para realizar los cálculos fue el menor encontrado, no siempre la energía que se convirtiera fuera esa sino en varios casos mucho mayor (hasta 5.8kWh).

Viéndolo desde la perspectiva de los teléfonos celulares, con la energía necesaria para cada computador portátil, teóricamente se podrían estar cargando hasta cuatro teléfonos celulares de 10W en el mismo lapso de carga y en el mismo intervalo de consumo pico de seis horas. Pero como solo existirán cuatro toma corrientes y se restringirá a que se conecten más dispositivos al tiempo, se estarían cargando cuatro teléfonos celulares en más del 80% de su capacidad durante una hora, estableciendo este valor ya que la tecnología de estos es eficiente y el tiempo de carga encuestado es menor a dos horas.

Calculando el producto de cuatro celulares por hora durante las seis horas de consumo pico, se estarían energizando hasta 24 celulares solo en ese tiempo, lo que equivale al 80% del total de los usuarios. Pero como la estación estará trabajando todas las horas de la jornada, los 30 teléfonos celulares podrán ser cargados en su totalidad sin importar el horario de carga.

De esta manera, se procedió a elaborar el esquemático del circuito de la etapa de carga simultánea equivalente con los datos de la tabla 5 y con los obtenidos experimentalmente, que se presentaron en la tabla 3. Esto con el fin de determinar de primera mano que fue correctamente diseñada esta etapa para cumplir con la demanda de energización.

Figura 42. Esquemático circuito paralelo de carga simultánea.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Como se presentó por medio de la tabla 3, los computadores portátiles de los usuarios tenían una potencia nominal de 45 W y una tensión alterna de funcionamiento nominal de 120 V, por lo tanto, la resistencia equivalente de estos dispositivos fue de 320 Ω . Así entonces, y como se asegurará que la tensión en el inversor instalado sea de 120 V y no de 125 V como se midió en los toma corrientes, se pueden hacer los cálculos respectivos de potencias en el circuito paralelo presentado, en donde se seleccionó esta topología para que todos los dispositivos tuvieran la misma tensión.

Se sabe que la Ley de Ohm es una relación constante de la tensión en los terminales entre la corriente que pasa por un elemento resistivo lineal, por lo tanto, la tensión en uno de estos elementos es

$$V = RI \tag{2}$$

Se conoce también que la potencia activa en un elemento lineal corresponde al producto entre la tensión en sus terminales y la corriente que pasa por él. Por lo tanto,

$$P = VI \tag{3}$$

Reemplazando y reescribiendo, la potencia en un resistor puede ser determinada de la siguiente manera:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (4)$$

Así entonces, es posible calcular la potencia en cada uno de los dispositivos de consumo del circuito, haciendo uso de la tensión eficaz de 120 V en sus terminales y su valor de resistencia equivalente

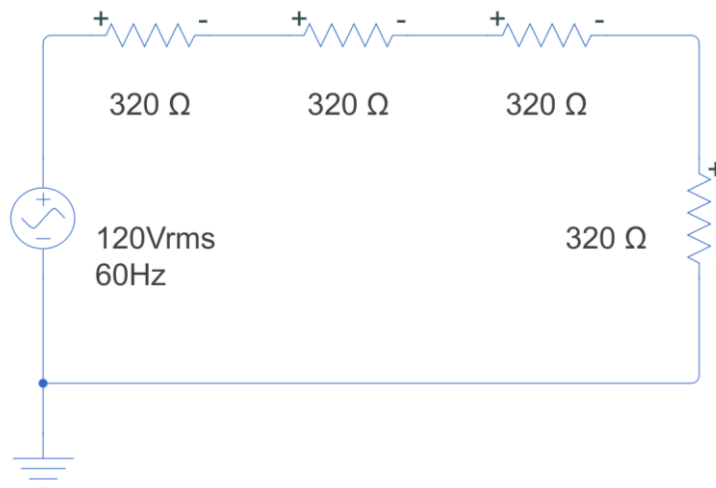
$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{120^2}{320} = 45 \text{ W} \quad (5)$$

Y ya que son cuatro dispositivos alimentados a 120 V, la potencia simultánea es

$$P_{simultánea} = 4 * P = (4)(45 \text{ W}) = 180 \text{ W} \quad (6)$$

Si el estilo de conexión fuera totalmente serie, el cálculo de potencias se realiza de una manera similar, pero con otros valores de tensión.

Figura 43. Esquemático circuito serie de carga simultánea.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Primero, la tensión en las terminales de cada dispositivo sería la misma, ya que se presenta un divisor de tensión para elementos con el mismo valor de resistencia, por lo tanto

$$V_{carga} = \frac{V}{N_{dispositivos}} = \frac{120 \text{ V}}{4} = 30 \text{ V} \quad (7)$$

Luego, la potencia para cada uno de ellos sería

$$P = \frac{V_{carga}^2}{R} = \frac{30^2}{320} = 2.813 \text{ W} \quad (8)$$

Y ya que son cuatro los elementos de consumo, la potencia simultánea sería

$$P_{simultánea} = 4 * P = (4)(2.813 \text{ W}) = 11.25 \text{ W} \quad (9)$$

Se comprueba entonces que la conexión en paralelo de los cuatro dispositivos es la correcta ya que todos presentan una potencia de consumo de 45 W, en contraste con la conexión en serie cada uno presenta un consumo de 2.813 W, tan solo el 6.25% de la potencia nominal de funcionamiento.

Por último, como se estarán conectando tres grupos de cuatro dispositivos durante seis horas en total en intervalos de dos horas, la energía de consumo es

$$W = P_{simultánea} * t_{consumo} = (180 \text{ W})(6h) = 1080 \text{ Wh} \quad (10)$$

De esta manera, se procedió a reunir los valores claves para los cálculos energéticos necesarios.

Tabla 5. Resumen datos energéticos.

POTENCIA (W)	CANTIDAD	TIEMPO DE CONSUMO (h)	ENERGÍA (Wh)
45	4	6	1080

Fuente (Propia del autor, 2022).

7.1.2 HSP corregida

Como se explicó anteriormente, el único factor a determinar para la corrección de las horas solares pico fue el factor k , el cual se debía calcular con la inclinación del panel y con respecto al punto geográfico global. De esta manera, se tuvo en cuenta la tabla de la figura 23 para seleccionar su valor, la cual muestra valores para una latitud cercana a la de La Balsa en Puerto López, la cual es de 4.065°.

Figura 44. Tabla para seleccionar los valores de factor de corrección k .

Latitud = 4°

Inc	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.02	1.01	1	.99	.97	.97	.97	.98	1	1.02	1.03	1.03
10	1.04	1.02	1	.96	.94	.93	.94	.96	1	1.03	1.05	1.05
15	1.05	1.02	.98	.94	.9	.88	.9	.93	.98	1.03	1.06	1.07
20	1.06	1.02	.97	.9	.85	.83	.85	.9	.96	1.03	1.07	1.08
25	1.05	1.01	.94	.86	.8	.77	.8	.86	.94	1.02	1.07	1.08
30	1.05	.99	.91	.82	.74	.71	.74	.81	.91	1	1.06	1.07
35	1.03	.97	.87	.77	.68	.64	.67	.76	.87	.98	1.05	1.06
40	1.01	.94	.83	.71	.61	.57	.6	.7	.82	.95	1.03	1.04
45	.98	.9	.78	.65	.54	.5	.53	.64	.77	.91	1	1.02

Fuente: (Alvarado, 2018).

Con base en lo anterior, se creó una matriz de decisión para la adecuada selección del factor de corrección de inclinación de acuerdo con un rango de ángulos preseleccionados, esto con el fin de hacer que la eficiencia de los paneles solares no se alterara por el valor de este factor ni por la suciedad que pudiera acumularse en su superficie, razón por la cual se le da una inclinación.

Tabla 6. Matriz de decisión factor de corrección k .

CRITERIO	ÁNGULO DE INCLINACIÓN				
	10°	15°	20°	25°	30°
Valor mínimo	1	1	1	0	0
Valor máximo	2	1	1	1	2
Inclinación	5	4	3	2	1
TOTAL	8	6	5	3	3

Fuente: (propia del autor, 2022).

El supuesto para darle un valor de 0 a 5 a los criterios de valor mínimo y valor máximo en la matriz de decisión fue la desviación de los valores de corrección presentados en la tabla respecto al valor unitario. Para el criterio de inclinación, su valor fue dado pensando en qué tan fácil podrían caer las partículas de suciedad de la superficie. De esta manera, el mejor ángulo para el factor de corrección de inclinación k fue el de 10°.

Según esto, se esperó que este ángulo de inclinación permitiera que la conversión de energía solar a energía eléctrica fuera la óptima tanto porque los valores de irradiación no se vieran modificados de manera significativa en la operación de la estación de carga como porque la suciedad sobre la superficie de los paneles no se acumulara sobremanera porque esta pudiera caer por gravedad. De esta manera, la tabla 4 presenta los resultados de calcular las HSP Corregidas.

Tabla 7. Resultados HSP Corregida.

Mes	HSP (h)		Factor k	Factor k'	Factor k''	HSP Corregida (h)	
	Mínima	Máxima				Mínima	Máxima
Enero	4.0	4.5	1.04	1.00	1.00	4.2	4.7
Febrero	5.0	5.5	1.02	1.00	1.00	5.1	5.6
Marzo	4.0	4.5	1.00	1.00	1.00	4.0	4.5
Abril	4.0	4.5	0.96	1.00	1.00	3.8	4.3
Mayo	4.0	4.5	0.94	1.00	1.00	3.8	4.2
Junio	4.0	4.5	0.93	1.00	1.00	3.7	4.2
Julio	4.0	4.5	0.94	1.00	1.00	3.8	4.2
Agosto	4.0	4.5	0.96	1.00	1.00	3.8	4.3
Septiembre	4.5	5.0	1.00	1.00	1.00	4.5	5.0
Octubre	5.0	5.5	1.03	1.00	1.00	5.2	5.7
Noviembre	4.5	5.0	1.05	1.00	1.00	4.7	5.3
Diciembre	5.0	5.5	1.05	1.00	1.00	5.3	5.8

Fuente: (propia del autor, 2022).

7.1.3 Factor de seguridad

Conforme a querer cumplir con un sistema capaz de trabajar óptimamente, es decir que tuviera la capacidad de suplir las necesidades energéticas sin problema y que fuera capaz de tener un ciclo de vida con la menor cantidad de problemas energéticos, se decidió por aumentar en un 20% los valores de las variable eléctricas a calcular para todos los elementos del sistema. Por lo tanto, el valor del Factor de Seguridad fue de 1.20.

Este valor aseguraría que se estuviera trabajando por encima de los valores energéticos requeridos, pero sin sobre diseñar el sistema eléctrico. De esta manera, se estaría generando más energía de la necesaria y manteniendo una cantidad almacenada para casos de mayor demanda horaria o donde los paneles solares no estuvieran trabajando, asegurando que la funcionalidad de la estación de carga fuera capaz de trabajar en casos no previstos o no tan frecuentes de ocurrir.

7.1.4 Potencia y cantidad de paneles solares

Para determinar la cantidad de paneles y su potencia, fue necesario contar con los valores de los siguientes criterios:

- Necesidad energética.
- HSP Corregida.
- Factor de Seguridad.

En una instalación solar fotovoltaica, para calcular la cantidad de paneles solares se debe saber la energía que puede entregar un panel solar dependiendo de la potencia que tenga este. De esta manera, la siguiente ecuación representa la energía que entrega un panel solar durante las horas de irradiación

$$W_{panel} = P_{panel} * HSP \quad (11)$$

Así, la cantidad de paneles solares se calcula de la siguiente manera

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{W_{necesaria}}{W_{panel}} * F.S \quad (12)$$

Como se deseó utilizar la menor cantidad de elementos para hacer que el proyecto fuera sostenible, de bajo costo y fácil montaje y mantenimiento, se estableció la cantidad de paneles solares a una (1) unidad y con esto poder calcular su potencia

$$P_{panel} = \frac{W_{necesaria} * F.S.}{N^{\circ} \text{ paneles} * HSP_{corregida}} = \frac{W_{necesaria} * F.S.}{HSP_{corregida}} \quad (13)$$

De esta manera y teniendo en cuenta las condiciones mínimas de HSP Corregida, la energía de consumo y el factor de seguridad, la potencia calculada del panel sería

$$P_{panel} = \frac{(1080 \text{ Wh})(1.20)}{(3.7 \text{ h})} = 350 \text{ W} \quad (14)$$

Si no se tuviera el factor de seguridad de 1.20, el valor de la potencia necesaria del sería

$$\frac{350 \text{ W}}{1.20} = 292 \text{ W} \quad (15)$$

Lo cual significa que el factor de seguridad estaría haciendo generar 58.11 W de más de potencia, suficiente para alimentar a un computador portátil de 45 W o cuatro teléfonos de 10 W. Además, esa potencia se utilizará para energizar durante las noches una luminaria que genere luz dentro de la estación de carga.

7.1.5 Potencia regulador de carga

Como el proyecto no superó 1 kW de potencia a suministrar, la cantidad de reguladores de carga fue unitaria. Y para determinar la potencia del regulador, fue necesario contar con los valores de las siguientes variables:

- Potencia del panel solar.
- Factor de seguridad.

Con estos datos, la potencia del regulador fue y se calculó de la siguiente manera:

$$P_{regulador} = P_{panel} * F.S. = (350 W)(1.20) = 420 W \quad (16)$$

Así entonces, se tendrían 70 W de potencia de más para que el regulador sea capaz de operar en los casos donde se presente una mayor demanda energética.

7.1.6 Capacidad del sistema del almacenamiento de energía

Para determinar la capacidad del banco de baterías fue necesario contar con los valores de los siguientes criterios y características:

- Necesidad energética.
- Tensión de instalación.
- Profundidad de descarga.
- Días de autonomía.
- Factor de seguridad.

Tensión de instalación:

Ya que se calculó que la potencia de instalación sería menor a 1 kW, las tensiones recomendadas para trabajar a esta potencia estos sistemas es de 12V o 24V (Alvarado, 2018). Por lo tanto, se trabaja con una tensión nominal de 24V para el banco de baterías con el fin de disminuir la capacidad individual de almacenamiento.

Profundidad de descarga:

Todas las baterías electroquímicas presentan un nivel mínimo de descarga energética para evitar el colapso de funcionamiento, el tener en cuenta este valor es de vital importancia para estos elementos. Por lo tanto y según (Alvarado, 2018), una profundidad de descarga del 60% es lo máximo recomendado para no limitar la vida útil de la batería de manera significativa, además es el valor que más se presenta en los productos comerciales ya que permite una mayor autonomía.

Días de autonomía:

Ya que siempre es posible que la generación de electricidad tuviera algún fallo y pudiera dejar de enviar energía a las baterías, se debe contar con cierto tiempo de autonomía mientras se repara el fallo. Para permitirle a la comunidad del centro poblado La Balsa un buen tiempo para que pudieran seguir cargando sus dispositivos móviles, se decidió dar 1 días de autonomía para que en el día siguiente a la falla puedan seguir haciéndolo de manera tranquila mientras pasa el problema presentado.

Gracias al factor de seguridad seleccionado, se aumentó en un 20% la capacidad de las baterías, haciendo que no solo sean seis horas de energización posible sino un adicional de 1.20 horas de más las cuales se pueden seguir cargando los elementos que se le conecten.

Por último, se decidió un día de autonomía ya que la instalación al ser de pequeña escala tiene menos componentes y por lo tanto es fácil para un habitante del centro poblado poder hacer solución al problema mediante un árbol de fallas y la guía necesaria si es que este corresponde a un incidente de desconexión, apertura del circuito en un elemento de protección, cambio de elemento, etcétera, ya que no es un trabajo de requerimiento intelectual sino técnico.

Así entonces, la capacidad de las baterías se calculó de la siguiente manera:

$$C.B. = \frac{W_{necesaria} * \text{días autonomía} * F.S.}{P.D. * V_{batería}} = \frac{\left(1080 \frac{Wh}{\text{día}}\right) (1 \text{ día})(1.20)}{(0.60)(24 V)} = 90 Ah \quad (17)$$

7.1.7 Potencia del inversor

Al igual que con el regulador de carga, como la instalación no superó 1 kW de potencia a suministrar, la cantidad de inversores DC/AC fue unitaria. Para determinar su potencia fue necesario contar con los siguientes parámetros y criterios:

- Potencia de la carga individual.
- Cantidad de elementos a energizar simultáneamente.
- Factor de seguridad.

Haciendo uso de los valores anteriores, el valor de la potencia del inversor se calculó de la siguiente manera:

$$P_{inversor} = P_{carga} * N^{\circ} \text{elementos} * F.S = (45 W)(4)(1.20) = 216 W \quad (18)$$

7.1.8 Cableado eléctrico

Con el fin de tener el cableado adecuado en la instalación para que la electricidad circulara de manera correcta y que no se desperdiciara material y dinero en cables con sección transversal mayor a lo necesario, se calcularon los calibres necesarios para etapa del proyecto.

La manera de calcular el área de la sección transversal de un cable es

$$S = \frac{2 * L * I}{\Delta V * K} \quad (19)$$

Donde L es la longitud del cable, I la corriente que pasa por el cable, ΔV es la caída de tensión en las terminales del cable y K la conductividad eléctrica del cable.

De esta manera, ΔV según (Alvarado, 2018) la diferencia de potencial en los cables ocupa un máximo del 1.5% de la tensión continua de la instalación, que en este caso fue de 24 V para todos los elementos. Además, se determinó que el cableado debería estar hecho en cobre por sus buenas prestaciones de conductividad, bajo costo y alta comerciabilidad.

Tabla 8. Secciones transversales para las cuatro etapas.

Tramo	Longitud cable (m)	Corriente (A)	ΔV (V)	$\frac{k}{(\Omega * mm^2)}$	Sección transversal cables (mm^2)
Panel – Regulador	1	15.91	0.36	56	1.578
Regulador – baterías	1	15.91	0.36	56	1.578
baterías – Inversor	1	7.50	0.36	56	0.744
Inversor – Carga	2	1.50	0.36	56	0.298

Fuente: (propia del autor, 2022).

Las longitudes de los tres primeros tramos fueron de 1 m ya que estos elementos estarán en ubicaciones muy próximas entre sí, por lo tanto, se escogió ese valor sobredimensionado. En cambio, la longitud del último tramo fue de 2 m ya que los conectores para los dispositivos electrónicos estarán más alejados, por lo tanto, se exageró hasta ese valor ya que tampoco se espera que estén a un recorrido mayor a 2 m.

Cada una de las corrientes de los tramos fueron calculadas teniendo en cuenta los valores de potencia de los elementos de mayor consumo en cada tramo y la tensión de la instalación general (24V), para luego calcularlas con la ecuación de potencia eléctrica.

Ya que comprar un rollo de cable que corresponda a cada una de las secciones transversales encontradas sería un desperdicio de material y de capital por el tamaño de la instalación, se decidió por comprar la cantidad de rollos necesarios para la instalación con el área transversal más grande, es decir la de 1.58 mm². Ahora, con el fin de seleccionar esa referencia de calibre que se encontraba comercialmente, se buscó en la tabla de calibres de la American Wire Gauges el área transversal que coincidiera o fuera cercana a los valores calculados.

Figura 45. Tabla de calibres AWG y su conversión a mm².

AWG	Diameter [inches]	Diameter [mm]	Area [mm ²]	Resistance [Ohms / 1000 ft]	Resistance [Ohms / km]	Max Current [Amperes]	Max Frequency for 100% skin depth
0000 (4/0)	0.46	11.684	107	0.049	0.16072	302	125 Hz
000 (3/0)	0.4096	10.40384	85	0.0618	0.202704	239	160 Hz
00 (2/0)	0.3648	9.26592	67.4	0.0779	0.255512	190	200 Hz
0 (1/0)	0.3249	8.25246	53.5	0.0983	0.322424	150	250 Hz
1	0.2893	7.34822	42.4	0.1239	0.406392	119	325 Hz
2	0.2576	6.54304	33.6	0.1563	0.512664	94	410 Hz
3	0.2294	5.82676	26.7	0.197	0.64616	75	500 Hz
4	0.2043	5.18922	21.2	0.2485	0.81508	60	650 Hz
5	0.1819	4.62026	16.8	0.3133	1.027624	47	810 Hz
6	0.162	4.1148	13.3	0.3951	1.295928	37	1100 Hz
7	0.1443	3.66522	10.5	0.4982	1.634096	30	1300 Hz
8	0.1285	3.2639	8.37	0.6282	2.060496	24	1650 Hz
9	0.1144	2.90576	6.63	0.7921	2.598088	19	2050 Hz
10	0.1019	2.58826	5.26	0.9989	3.276392	15	2600 Hz
11	0.0907	2.30378	4.17	1.26	4.1328	12	3200 Hz
12	0.0808	2.05232	3.31	1.588	5.20864	9.3	4150 Hz
13	0.072	1.8288	2.62	2.003	6.56984	7.4	5300 Hz
14	0.0641	1.62814	2.08	2.525	8.282	5.9	6700 Hz
15	0.0571	1.45034	1.65	3.184	10.44352	4.7	8250 Hz
16	0.0508	1.29032	1.31	4.016	13.17248	3.7	11 k Hz
17	0.0453	1.15062	1.04	5.064	16.60992	2.9	13 k Hz
18	0.0403	1.02362	0.823	6.385	20.9428	2.3	17 k Hz
19	0.0359	0.91186	0.653	8.051	26.40728	1.8	21 kHz
20	0.032	0.8128	0.518	10.15	33.292	1.5	27 kHz
21	0.0285	0.7239	0.41	12.8	41.984	1.2	33 kHz
22	0.0254	0.64516	0.326	16.14	52.9392	0.92	42 kHz
23	0.0226	0.57404	0.258	20.36	66.7808	0.729	53 kHz
24	0.0201	0.51054	0.205	25.67	84.1976	0.577	68 kHz
25	0.0179	0.45466	0.162	32.37	106.1736	0.457	85 kHz
26	0.0159	0.40386	0.129	40.81	133.8568	0.361	107 kHz
27	0.0142	0.36068	0.102	51.47	168.8216	0.288	130 kHz
28	0.0126	0.32004	0.081	64.9	212.872	0.226	170 kHz
29	0.0113	0.28702	0.0642	81.83	268.4024	0.182	210 kHz
30	0.01	0.254	0.0509	103.2	338.496	0.142	270 kHz
31	0.0089	0.22606	0.0404	130.1	426.728	0.113	340 kHz
32	0.008	0.2032	0.032	164.1	538.248	0.091	430 kHz
33	0.0071	0.18034	0.0254	206.9	678.632	0.072	540 kHz
34	0.0063	0.16002	0.0201	260.9	855.752	0.056	690 kHz
35	0.0056	0.14224	0.016	329	1079.12	0.044	870 kHz
36	0.005	0.127	0.0127	414.8	1360	0.035	1100 kHz
37	0.0045	0.1143	0.01	523.1	1715	0.0289	1350 kHz
38	0.004	0.1016	0.00797	659.6	2163	0.0228	1750 kHz
39	0.0035	0.0889	0.00632	831.8	2728	0.0175	2250 kHz
40	0.0031	0.07874	0.00501	1049	3440	0.0137	2900 kHz

Fuente: (UK Meters Company, 2019).

De esta manera, se encontró que el calibre 14 AWG es la referencia comercial por implementar en el cableado eléctrico de la instalación. A pesar de que la tabla diga que su corriente máxima es de 5.9 A, esto refiere al máximo valor que circula cuando los valores de resistencia y de frecuencia son dados en el alambre. En este caso, la resistencia del cable será mínima ya que la longitud de los cables en cada tramo es muchísimo menor a 1 km, que es la longitud a la que se expresa ese valor máximo de corriente y ese valor de resistencia.

7.1.9 Protecciones eléctricas

Como se mencionó anteriormente el sistema eléctrico está compuesto por dos etapas, una de corriente continua y otra de corriente alterna, por lo que fue necesario escoger protecciones específicas para cada una de ellas.

El RETIE en el artículo 10.4 expone que para las protecciones se deben de utilizar fusibles e interruptores automáticos para corriente continua y corriente alterna, respectivamente. Adicionalmente, expone ciertos parámetros recomendados a tener en cuenta para la correcta selección de la protección específica dependiendo de la necesidad y el contexto. Con base en esto, se procedió a determinar las características eléctricas que deben de tener estos elementos.

PROTECCIONES PARA CORRIENTE CONTINUA:

Con base a la figura 27, para la etapa donde fluye corriente continua se necesitaron de tres protecciones con fusibles: entre el panel solar y el regulador de carga, entre el regulador de carga y las baterías, y entre las baterías—regulador de carga y el inversor.

Así entonces, lo primero que se hizo fue determinar las corrientes nominales a las que iban a estar operando estos dispositivos de protección, las cuales fueron determinadas suponiendo que cada elemento fuera utilizado a máxima potencia nominal y que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 9. Corrientes en etapa de CC a máxima potencia.

Tramo	Corriente (A)	Aproximación corriente (A)
Panel – Regulador	9.49	10.00
Regulador – Baterías	20.00	20.00
Regulador/Baterías – Inversor	9.00	9.00

Fuente: (propia del autor, 2022).

Con estos datos ya establecidos, se procedió posteriormente a seleccionar comercialmente los modelos a instalar ya que estas protecciones se conectan en serie entre los elementos a proteger y no necesitan de un valor de tensión nominal.

PROTECCIONES PARA CORRIENTE ALTERNA:

La última etapa de interconexión para la protección en corriente alterna debía estar entre el inversor y la carga a conectar. La tabla siguiente muestra los valores para tener en cuenta para la selección de la protección:

Tabla 10. Corrientes en etapa de CA a máxima potencia.

Tramo	Corriente (A)	Aproximación corriente (A)	Tensión de operación (V)
Inversor – Carga	1.80	2.0	120.00

Fuente: (propia del autor, 2022).

Así entonces, se procedió posteriormente a seleccionar un interruptor termomagnético comercial que cumpliera con proteger esta etapa de la instalación contra sobrecargas y corto—circuitos.

7.1.10 Selección de los elementos comerciales

Luego de haber calculado y determinado los valores de las principales variables eléctricas de los elementos del sistema fotovoltaico, se procedió a seleccionar metódicamente sus referencias comerciales para la posterior instalación en la estación de carga.

Todos las hojas de datos de los elementos comerciales seleccionados se encuentran en el Anexo 2 del documento. Las hojas de datos de los elementos que no fueron seleccionados se pueden encontrar buscando por medio de los enlaces de interés puestos en las diferentes tablas presentadas.

PANELES SOLARES:

Habiendo calculado la potencia necesaria del panel solar, hizo falta seleccionar la tensión o la corriente para definir completamente sus características teóricas. Ya que anteriormente se definió que la tensión de los elementos iba a ser la misma para todos, la tensión nominal del panel a seleccionar e instalar fue de 24 V.

Posteriormente, se realizó una matriz de decisión para seleccionar el material del cual estaría hecho el panel solar comercial a seleccionar. Haciendo un estudio de las principales tecnologías más comerciales y de las características generales y principales de esas tecnologías, se encontró que el material de silicio monocristalino fue el más apropiado para el proyecto, seguido del silicio policristalino.

Tabla 11. Matriz de decisión tecnología del panel solar.

TECNOLOGÍA	Eficiencia	Peso	Costo	Comerciabilidad	TOTAL
Silicio monocristalino	3	4	3	5	15
Silicio policristalino	2	3	4	5	14
Arseniuro de Galio	3	3	3	3	12
Perovskitas	4	5	1	1	11

Fuente: (propia del autor, 2022).

El criterio de eficiencia se tuvo en cuenta debido a que lo ideal en una instalación fotovoltaica sea que el rendimiento a largo plazo de los paneles solares disminuya a un ritmo lento, lo cual se logra en gran parte con una alta eficiencia de conversión energética. El criterio de peso fue seleccionado porque la densidad de los materiales de las células fotovoltaicas puede aumentar significativamente la cantidad de elementos en una instalación para sostener los paneles solares, lo que lo hace más costoso, complejo de desarrollar y menos sostenible. El criterio de costo se tuvo en cuenta para hacer de esta solución energética una alcanzable para el proyecto. Por último, el criterio de comerciabilidad se seleccionó debido a que se quería encontrar de manera fácil productos comerciales con este tipo de tecnologías.

Los valores para los criterios de eficiencia y comerciabilidad fueron dados con una relación directa respecto a sus referencias, donde los que tenían mejores referencias tuvieron mejor calificación en la matriz. En el caso de los criterios de peso y costo, la relación entre sus referencias y su valor fue inversa, donde los que tenían menor valor tuvieron mejor calificación dentro de la matriz. De esta manera, se asignó un puntaje de 0 a 5 en cada criterio para cada tecnología, donde cada un podría obtener un máximo de 20 puntos.

Posteriormente, se procedió a realizar una preselección comercial de paneles solares de silicio monocristalino con valores nominales de potencia de 350 W y de tensión de 24 V. La tabla 10 muestra las referencias preseleccionadas.

Tabla 12. Referencias comerciales de paneles solares preseleccionados.

REFERENCIA	P (W)	Vmp (V)	Imp (A)	Vida útil (años)	Eficiencia (%)	Precio (COP)
CSUN 370-72M	370	38.9	9.52	25	19.07	\$507,500.00
JAM72S01-380/PR	380	40.03	9.5	25	19.6	\$607,500.00
SRP-375-BMA	375	40.5	9.25	25	18.94	\$608,000.00
Enlaces de interés						
CSUN 370-72M	https://autosolar.co/paneles-solares-24v/panel-solar-370w-24v-monocristalino-csun					
JAM72S01-380/PR	https://autosolar.co/paneles-solares-24v/panel-solar-380w-24v-monocristalino-perc-ja-solar					
SRP-375-BMA	https://www.emergente.com.co/blog/producto/panel-solar-de-375w-monocristalino-media-celda/					

Fuente: (propia del autor, 2022).

La tabla 10 presenta los datos más relevantes para de cada una de las referencias preseleccionadas. Estas fueron escogidas teniendo en cuenta, a parte de los valores eléctricos acordes a los criterios del proyecto, su precio y su lugar de comercialización, además cada uno cumplía con criterios propios de ser reciclables, seguros, certificados y livianos.

Por último y basado en la tabla anterior, se diseñó la matriz de decisión de la tabla 11, con la cual se dio que la referencia CSUN 370-72M de la marca China Sunergy Co., Ltd fue la seleccionada como la óptima acorde con los requerimientos hechos.

Tabla 13. Matriz de decisión panel solar comercial.

REFERENCIA	Costo	Peso	Tamaño	Vida útil	Eficiencia	TOTAL
CSUN 370-72M	5	5	5	5	4	24
JAM72S01-380/PR	3	5	5	5	5	23
SRP-375-BMA	3	5	5	5	3	21

Fuente: (propia del autor, 2022).

Se puede notar que los valores de tensión y corriente a máxima potencia y vida útil entre los módulos presentados son muy similares entre ellos, además su eso pesos también lo fueron. Entonces, los criterios de potencia y precio son los aquellos que hicieron la diferencia entre los módulos dentro de la matriz de decisión.

REGULADOR DE CARGA:

Para la selección comercial del regulador de carga se tuvo en cuenta su potencia calculada previamente, de 420 W, los valores de las variables eléctricas del panel solar seleccionado, como V_{mp} (38.90 V) y I_{mp} (9.52 A) y los valores de tensión para el banco de baterías, 24 V. Pero antes de preseleccionar referencias comerciales que cumplieron con estos parámetros, se hizo una selección del tipo de tecnología del regulador a buscar: PWM o MPPT.

Tabla 14. Matriz de decisión tecnología regulador de carga.

TECNOLOGÍA	Eficiencia	Complejidad	Tamaño	Peso	Precio	TOTAL
PWM	0	4	4	4	4	16
MPPT	5	3	3	4	2	17

Fuente: (propia del autor, 2022).

El criterio de eficiencia para cada tecnología tuvo un valor más alto en relación con su capacidad de no perder energía al momento de regularla. El criterio de complejidad se tuvo en cuenta acorde a saber qué tan difícil sería trabajar su sistema interno en caso de fallos, reparaciones y mantenimiento. Los criterios de tamaño y peso que se relacionan entre sí se consideraron esperando que cada valor fuera el menor posible. Por último, el criterio de precio fue importante para hacer del proyecto uno alcanzable económicamente.

De esta manera, se encontró que la tecnología MPPT fue la mejor para el proyecto. Con ella se encontrará siempre que casi toda la energía transformada se convierta en electricidad a pesar de tener una complejidad, tamaño, peso y precio más elevados.

Así entonces, se preseleccionaron algunos modelos comerciales para luego ser evaluados en la siguiente matriz de decisión, con la cual se decidió el regulador de carga MPPT comercial.

Tabla 15. Referencias comerciales de reguladores preseleccionados.

REFERENCIA	Vmax (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Eficiencia (%)	Precio (COP)
LumiAx MC2010	100/35	20	520	98	\$310,000.00
ML2420N10	100/35	20	520	98	\$249,000.00
XTRA2210N	100/32	21	520	98	\$269,000.00
Enlaces de interés					
LumiAx MC2010	https://www.solartex.co/tienda/producto/controlador-mppt-20a-mc2010-lumiAx/				
ML2420N10	https://www.emergente.com.co/blog/producto/controlador-de-carga-mppt-de-20a/				
XTRA2210N	https://ineldec.com/producto/controlador-de-carga-solar-regulador-mppt-epever/				

Fuente: (propia del autor, 2022).

La tabla 13 presenta los valores de las características más relevantes acerca de los elementos preseleccionados. Estas fueron escogidas teniendo en cuenta, a parte de los valores eléctricos acordes a los criterios del proyecto, su precio y su lugar de comercialización.

Tabla 16. Matriz de decisión regulador de carga comercial.

REFERENCIA	Costo	Peso	Tamaño	Vida útil	Eficiencia	TOTAL
LumiAx MC2010	3	5	5	3	5	21
ML2420N10	5	3	4	4	5	21
XTRA2210N	4	4	3	5	5	21

Fuente: (propia del autor, 2022).

Como se nota, todos los elementos tuvieron el mismo puntaje dentro de la matriz de decisión y para desempatar la decisión, se decidió por escoger al que tuviera mejor vida útil ya que este criterio es importante para que todo el sistema funcione durante un buen tiempo en condiciones óptimas. Por lo tanto, la referencia XTRA2210N de la marca EPEVER—EPSOLAR.

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA:

Sabiendo la tensión nominal de 24 V y la capacidad de 90 Ah calculados para el sistema de almacenamiento de energía, se hizo una selección del tipo de tecnología de baterías electroquímicas para el sistema de almacenamiento de energía y posteriormente una selección comercial de este con el respectivo tipo de tecnología.

Primero, se estudiaron las principales tecnologías para bancos de baterías y se diseñó una matriz de decisión con el fin de seleccionar la que mejor se acomodara al proyecto. De esta manera, por medio de la matriz de decisión se supo que la tecnología que mejor se adaptaría a las baterías del proyecto fue la de ion de litio.

Tabla 17. Matriz de decisión tecnología de baterías.

TECNOLOGÍA	Densidad energética	Tamaño	Peso	Vida útil	Resistencia	Complejidad	Costo	TOTAL
Plomo—ácido	2	3	2	2	4	3	4	16
Ion de litio	5	4	4	4	3	5	2	27
Níquel-Cadmio	3	4	3	3	2	3	3	18

Fuente: (propia del autor, 2022).

Los criterios de densidad energética, vida útil, resistencia (comportamiento a condiciones ambientales) tuvieron una calificación directa respecto al valor de referencia encontrada, con lo cual se les dio un puntaje más alto si el valor de la referencia era también alto, buscando que las prestaciones de las baterías tuvieran un mejor puntaje si su valor de referencia lo era igualmente. En cuanto a los criterios de tamaño, peso, complejidad y costo, estos tuvieron una relación inversa, de modo que, si los valores de referencia encontrados eran bajos, su puntaje sería más alto; lo que se quería con estos criterios era que los valores de tamaño, peso, complejidad y costos fueran bajos para darles un puntaje mayor, para así lograr un mejor desarrollo en el proyecto.

Posteriormente, se procedió a preseleccionar productos comerciales de batería de ion de litio con las características eléctricas especificadas. La siguiente tabla muestra las referencias preseleccionadas.

Tabla 18. Referencias comerciales de baterías preseleccionadas.

REFERENCIA	Tensión (V)	Capacidad (Ah)	DOD (%)	Peso (kg)	Precio (COP)
TB24-120	24	120	60	23	\$3,990,000.00
LP15-24100	24	120	60	22.5	\$4,998,000.00
VHR 1296LFP	12	96	60	11.4	\$1,900,000.00
Enlaces de interés					
TB24-120	https://www.solartex.co/tienda/producto/bateria-de-litio-lifepo4-120ah-24v-tb-plus/				
LP15-24100	https://www.emergente.com.co/blog/producto/bateria-de-litio-24v-120ah-must/				
VHR 1296LFP	https://ineldec.com/producto/bateria-de-litio-lifepo4-100ah-12v/				

Fuente: (propia del autor, 2022).

La tabla 16 presenta los valores de las características más relevantes acerca de los elementos preseleccionados. Estas fueron escogidas teniendo en cuenta, a parte de los valores eléctricos acordes a los criterios del proyecto, su precio, su lugar de comercialización y su masa.

Por último y basado en la tabla anterior, se diseñó la matriz de decisión de la tabla 14, con la cual se dio que VHR 1296LFP de la marca INELDEC fue la seleccionada.

Tabla 19. Matriz de decisión batería comercial.

REFERENCIA	Costo	Peso	Tamaño	Vida útil	TOTAL
TB24-120	4	3	3	4	14
LP15-24100	2	5	3	4	14
VHR 1296LFP	5	4	5	5	19

Fuente: (propia del autor, 2022).

Se ve en la tabla de la matriz de decisión que el modelo escogido tuvo una notable diferencia en el puntaje final, casi el 100% del puntaje máximo total. Ahora, hay que tener en cuenta que esta batería es de 12 V, por lo tanto, hay que instalar dos de estas en serie para que la suma de sus tensiones sea 24 V en esta configuración, manteniendo la capacidad de 96Ah.

INVERSOR:

Luego de calcular la potencia de 216 W y la tensión de entrada de 24 V y saber que la tensión de alimentación AC para los dispositivos es de 110 V con una onda completa senoidal no modificada. Partiendo de estas variables eléctricas, y sabiendo que la instalación no superaría 1 Kw de potencia y era del tipo aislado, se preseleccionaron algunas referencias de inversores con estas características.

Tabla 20. Referencias comerciales de inversores preseleccionados.

REFERENCIA	Tensión (V)	Potencia (W)	Peso (g)	Precio (COP)
IP350-22	24	280	1000	\$351,000.00
BEP300A	24	300	530	\$452,000.00
Phoenix 24/250	24	250	2400	\$480,000.00
Enlaces de interés				
IP350-22	https://www.solartex.co/tienda/producto/inversor-onda-pura-350w-110vac-24vdc-epever/			
BEP300A	https://autosolar.co/inversores-solares-12v/inversor-onda-pura-600w-12v-belttt			
Phoenix 24/250	https://www.ecogreensolar.co/producto/inversor-250w-phoenix-victron-energy-12-24v-ve-direct-nema-5-15/			

Fuente: (propia del autor, 2022).

Basado en la tabla anterior, se diseñó la matriz de decisión de la tabla 15, con la cual se dio que IP350-22 de la marca EPEVER fue el inversor óptimo para el proyecto.

Tabla 21. Matriz de decisión inversor comercial.

REFERENCIA	Costo	Peso	Tamaño	Vida útil	Eficiencia	TOTAL
IP350-22	5	4	4	5	5	23
BEP300A	3	5	3	4	5	20
Phoenix 24/250	3	3	5	4	5	20

Fuente: (propia del autor, 2022).

Se observa en la matriz de decisión que los tres inversores calificados tuvieron puntajes similares, pero lo que hizo la diferencia entre ellos fueron los criterios de costo y vida útil principalmente.

7.1.11 Simulación sistema eléctrico

En esta sección se trabajó lo que fue la simulación del comportamiento energético del panel solar y las baterías seleccionadas, ya que estos elementos son los que prácticamente proveerán la energía necesaria a los dispositivos que se conecten a la estación de carga y que alimenten el regulador de carga y el inversor para llegar a tal fin. Se asumió que los fabricantes del regulador de carga y el inversor DC/AC aseguran el buen funcionamiento de estos y no se realizó una simulación, por ende.

En el caso del panel solar, se buscaba observar su comportamiento de generación de potencia eléctrica solo bajo las diferentes temperaturas que se presentan en el centro poblado La Balsa, ya que esta variable climática afecta el valor de tensión en el módulo y por ende afecta la potencia generada, pero la irradiancia se mantuvo constante ya que esta varía día a día en cada hora de la jornada y no se tenía un grupo confiable de irradiancias para simular.

En el caso de la batería, se quiso demostrar por medio de la simulación y por ende comprobar que la capacidad calculada fue la correcta, mostrando en número de horas que podía estar energizando los elementos.

SIMULACIÓN GEMELO DIGITAL PANEL SOLAR:

Con el fin de tener los resultados acerca del comportamiento del panel solar seleccionado mediante su simulación y sus respectivos análisis, fue necesario llevar a cabo cinco pasos en un proceso sobre el cual se cumplió con tener su gemelo digital en el software MATLAB. A continuación, se enuncian cada uno de ellos y se detallan sus actividades.

1. Preparación y migración de datos de temperatura a MATLAB.

Como se mostró en la sección de recursos energéticos, para el proyecto se tuvieron a la mano las temperaturas mínima, media y máxima promedio mensuales por parte del IDEAM. La siguiente tabla muestra cada uno de los tres conjuntos extraídos.

Tabla 22. Temperaturas mensuales en Puerto López.

MES	Mínima	Media	Máxima
Enero	21.3	26.7	31.6
Febrero	22.0	27.2	32.0
Marzo	22.2	26.8	31.4
Abril	21.6	25.7	30.2
Mayo	21.2	25.2	29.5
Junio	20.7	24.5	28.7
Julio	20.3	24.2	28.5
Agosto	20.5	24.9	29.4
Septiembre	20.6	25.5	30.3
Octubre	20.9	25.6	30.5
Noviembre	21.2	25.6	30.4
Diciembre	21.0	25.9	30.7

Fuente: (propia del autor con datos del IDEAM, 2022).

Posteriormente se exportaron estos datos a MATLAB con el fin de tener en su espacio de trabajo las variables necesarias almacenando los datos de temperatura. A continuación, se muestra el código utilizado para importar los datos:

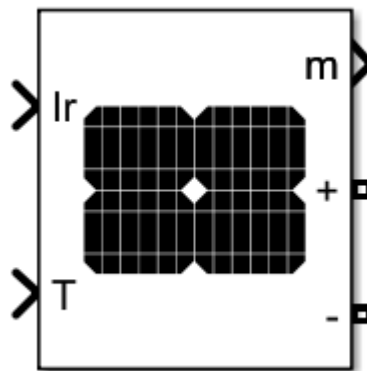
```
%% Temperatura mensual
% Temperaturas máximas
tablaTempMax = xlsread('Tabla de temperatura mensual.xlsx','Maxima');
% Temperaturas medias
tablaTempMed = xlsread('Tabla de temperatura mensual.xlsx','Media');
% Temperaturas mínimas
tablaTempMin = xlsread('Tabla de temperatura mensual.xlsx','Minima');
```

Para llevar a cabo esto, fue necesario crear un archivo de MATLAB el cual estuviera alojado en el mismo fichero donde estaba el archivo de Microsoft Excel para realizar la correcta incorporación de los datos.

2. Modelamiento del panel solar en Simulink.

En esta sección se creó un archivo en el entorno de trabajo gráfico que viene en MATLAB, Simulink, en el cual lo primero que se hizo fue ingresar el modelo de un panel solar que se tenía a la mano

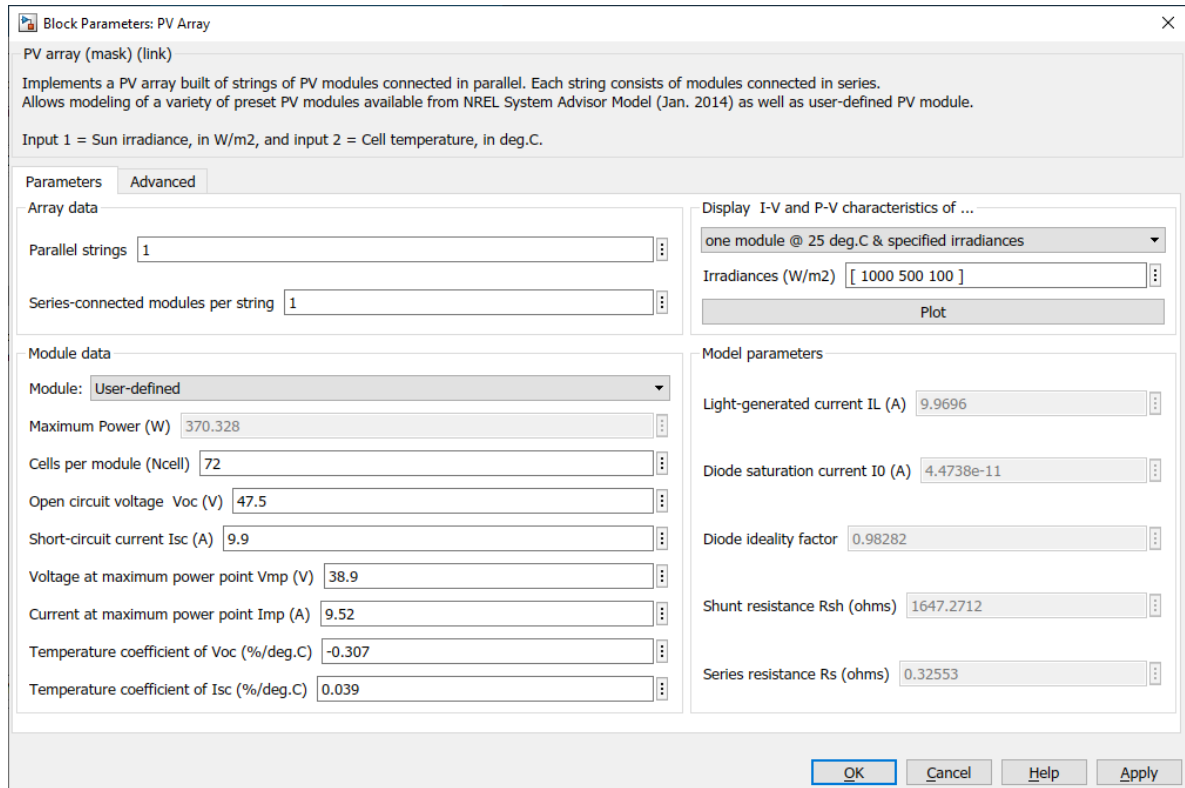
Figura 46. Modelo panel solar en Simulink.



Fuente: (propia del autor, 2022).

A pesar de que MATLAB tenía incorporados algunos modelos comerciales de paneles solares para seleccionar de la marca del panel solar del proyecto, CSUN, esta referencia no fue encontrada. Así que de manera manual fueron ingresados los datos necesarios.

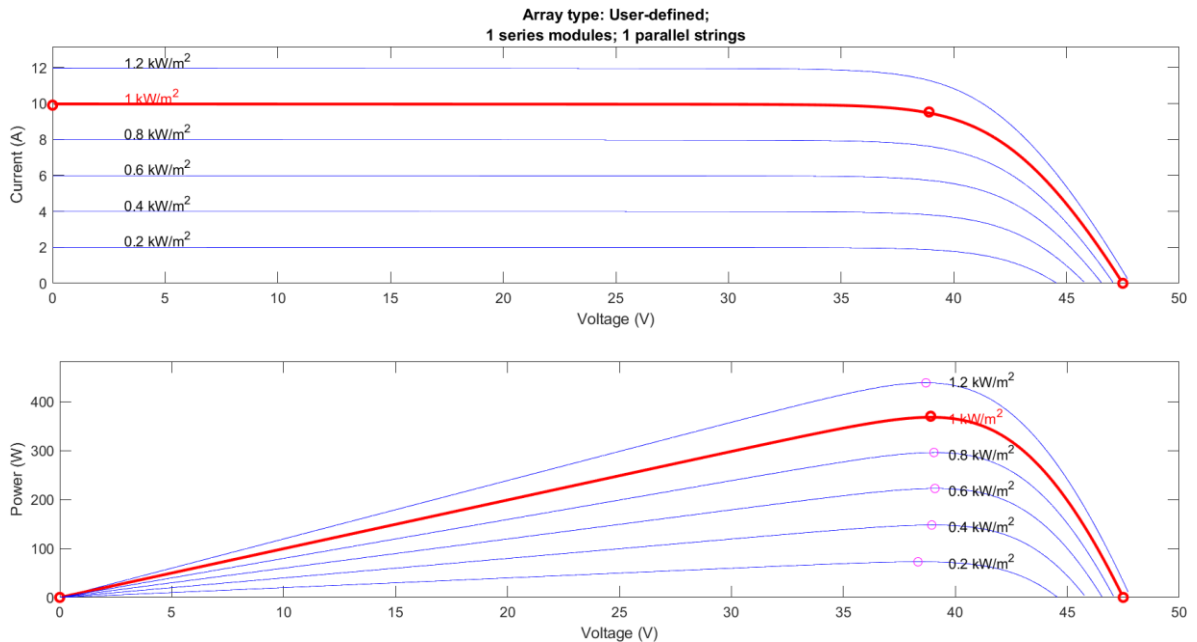
Figura 47. Parámetros del modelo 'PV Array' en Simulink.



Fuente: (propia del autor, 2022).

A pesar de que no era objeto del proyecto probar y determinar exactamente el comportamiento del panel a diferentes condiciones, se debía saber lo mínimo acerca de su comportamiento general. Entonces, aprovechando que, con todos aquellos datos eléctricos ingresados se podía modelar el panel solar, se extrajeron algunas gráficas de su comportamiento general.

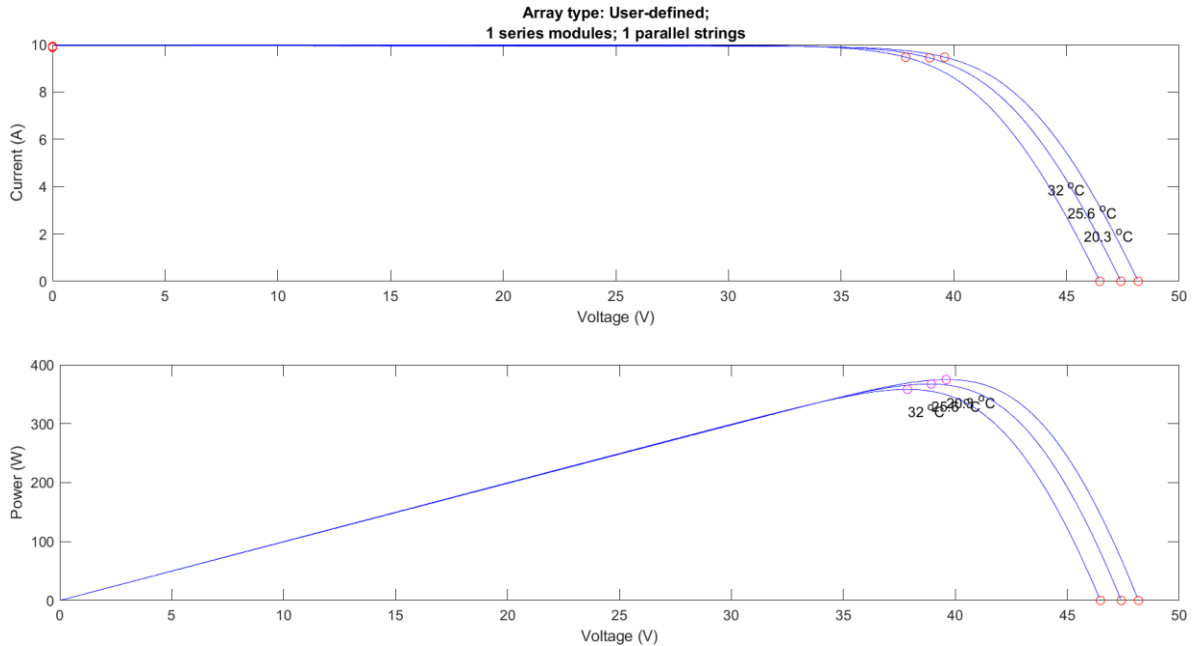
Figura 48. Comportamiento de V, I y P a diferentes irradiancias.



En la imagen anterior se puede apreciar el comportamiento que del panel solar a una temperatura fija de 25 °C en el módulo y a diferentes valores de irradiancias. Se nota entonces que la potencia y la corriente del panel solar es directamente proporcional a la cantidad de irradiancia que llega sobre él. Algo a tener en cuenta en la operación del panel ya que como la irradiación solar diaria no es constante, sino que se distribuye a lo largo de toda la jornada, entonces esto ayuda a tener una percepción de la operación de este a lo largo de todo el día.

Posteriormente se obtuvieron las gráficas del comportamiento del módulo a una irradiancia constante de 1000 W/m² y tres temperaturas diferentes. Los tres valores determinados fueron la temperatura mínima en el año, la temperatura promedio y la temperatura máxima que se encontraron para el municipio de Puerto López.

Figura 49. Comportamiento de V, I y P a diferentes temperaturas.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Se puede observar entonces que la tensión del panel y la potencia tienen una relación inversamente proporcional a la temperatura del panel solar. Tener en cuenta eso es importante ya que esta variable climática varía más día a día que la irradiación, por lo tanto, estocásticamente es más probable que el rendimiento del panel se vea afectado por sus cambios a diario.

3. Creación del circuito con la carga de máxima potencia y equipos.

Con el fin de observar la tensión y corrientes y potencias máximas en que se simulaban con el panel solar a una irradiación específica y a diferentes temperaturas, había que poner una carga conectada a la salida del panel que consumiera toda la potencia que se generaba.

Desde el campo de trabajo de análisis de circuitos se sabe que las fuentes de tensión reales tienen una resistencia interna en serie a la fuente y que la máxima potencia que puede entregar este tipo de fuentes es cuando se le conecta a ella una carga con el mismo valor de resistencia que la de la fuente.

Por ende, solo hace falta saber la tensión y la corriente máximas de la fuente, para que por Ley de Ohm se sepa cuál es su valor de resistencia interna. Así entonces,

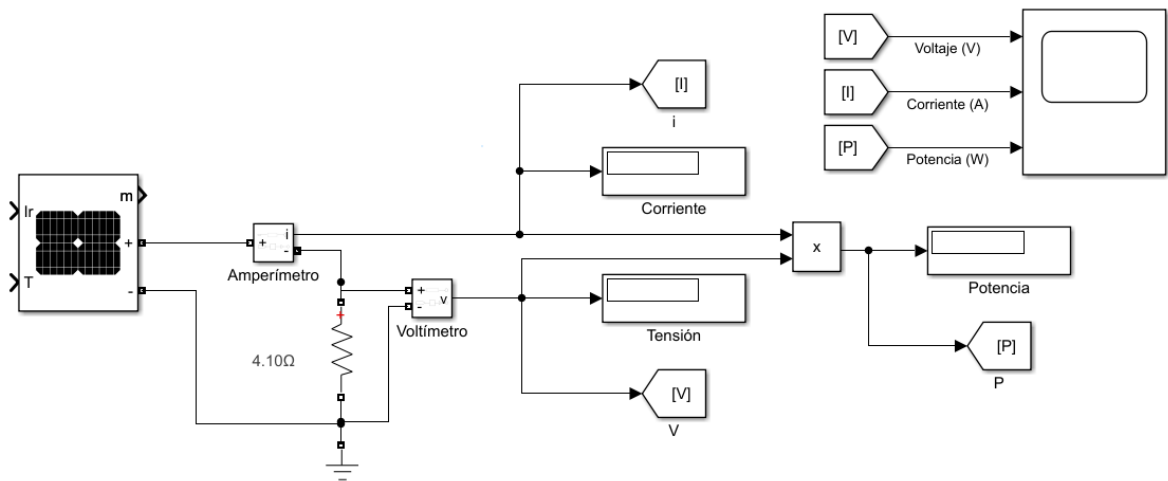
$$R = \frac{V}{I} \quad (20)$$

Como los paneles solares pueden ser considerados fuentes de tensión reales, los valores de tensión y corriente a máxima potencia puede ser utilizados para determinar la resistencia que producen todas las células fotovoltaicas que componen al módulo. Para este caso, la resistencia interna fue

$$R_{panel} = \frac{V_{mp}}{I_{mp}} = \frac{38.90V}{9.52A} \cong 4.10\Omega \quad (21)$$

Posteriormente, hizo falta realizar el circuito de prueba donde se conectaba un resistor con un valor de 4.10Ω y a este se le conectaron un amperímetro y un voltímetro para realizar las mediciones y observar estas variables eléctricas junto con su potencia en una gráfica.

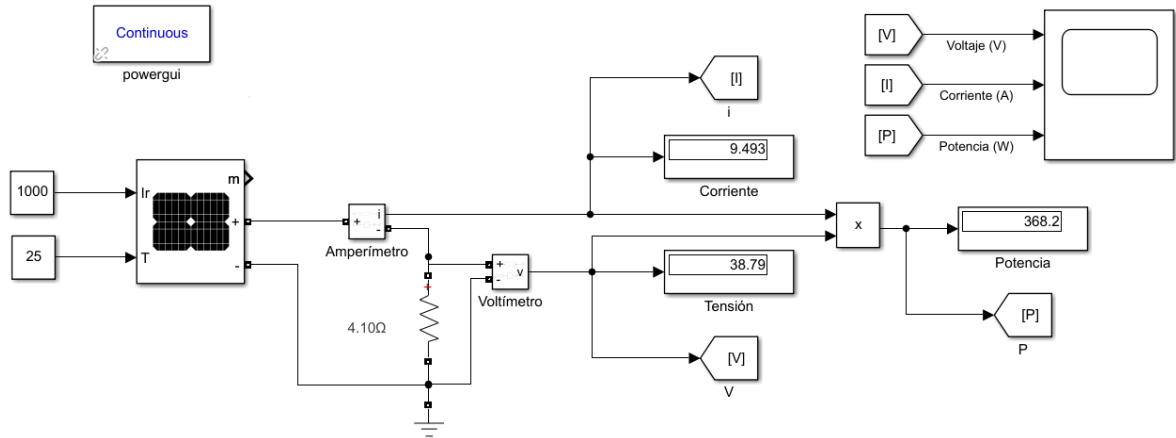
Figura 50. Circuito de máxima potencia en Simulink.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Y con el fin de comprobar de que el panel solar estaba correctamente modelado, se agregaron las constantes de temperatura y de irradiancia que se trabajan las pruebas en condiciones estándar (STC por sus siglas en inglés) para comprobar el modelo.

Figura 51. Resultados simulación a 25°C y 1000W/m².



Fuente: (propia del autor, 2022).

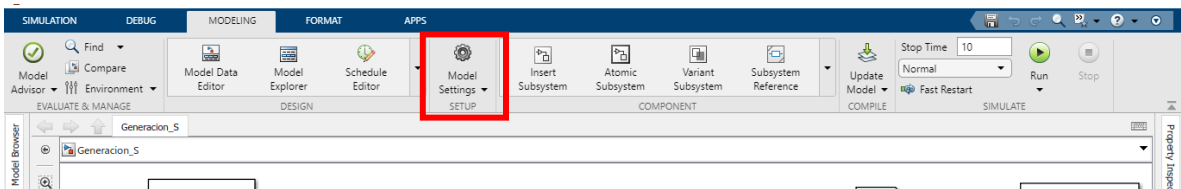
Por medio de la imagen de la figura anterior se puede comprobar que los valores de tensión, corriente y potencia son muy similares a los entregados por el fabricante bajo las condiciones estándar de temperatura e irradiancia.

4. Importar las temperaturas mensuales a Simulink.

Ya que Simulink es un entorno de simulación que permite determinar la respuesta en el tiempo de sistemas físicos, fue posible importar cada conjunto de datos de temperaturas para realizar la respectiva simulación.

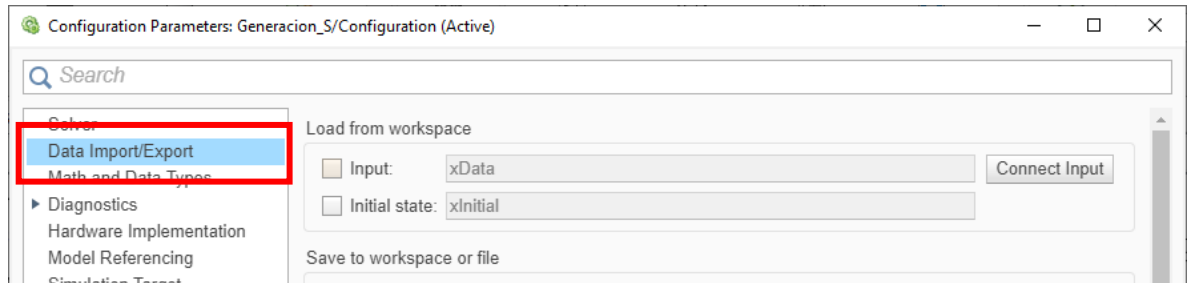
Luego de tener cargadas las tres variables de temperaturas en el espacio de trabajo en MATLAB, se procedió a activar la acción de datos de entrada en Simulink. En las siguientes figuras, se muestra el procedimiento sobre cómo realizar esta tarea.

Figura 52. Ingreso a configuración del modelo de Simulink.



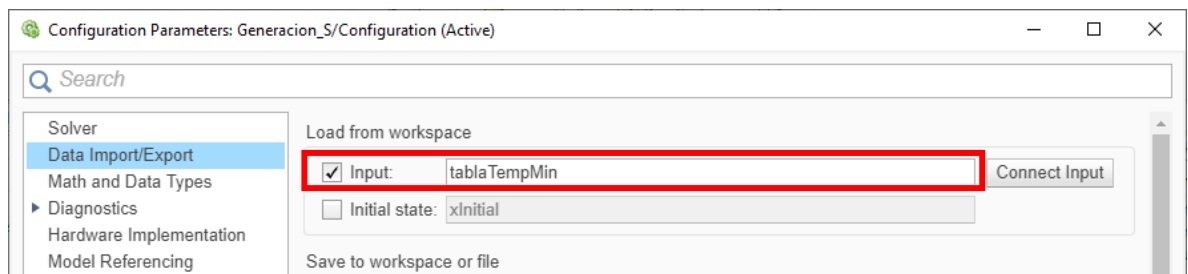
Fuente: (propia del autor, 2022).

Figura 53. Selección Configuración Importación/Exportación de datos.



Fuente: (propia del autor, 2022).

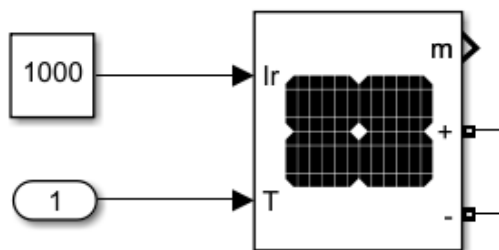
Figura 54. Activación e importación de variables.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Luego de haber hecho los tres pasos anteriores y darle aplicar o aceptar a la ventana de diálogo de configuración de parámetros del modelo, hace falta conectar al modelo el elemento que traerá con él predeterminadamente los datos de la variable importada.

Figura 55. Conexión elemento 'Inport' en el modelo de Simulink.

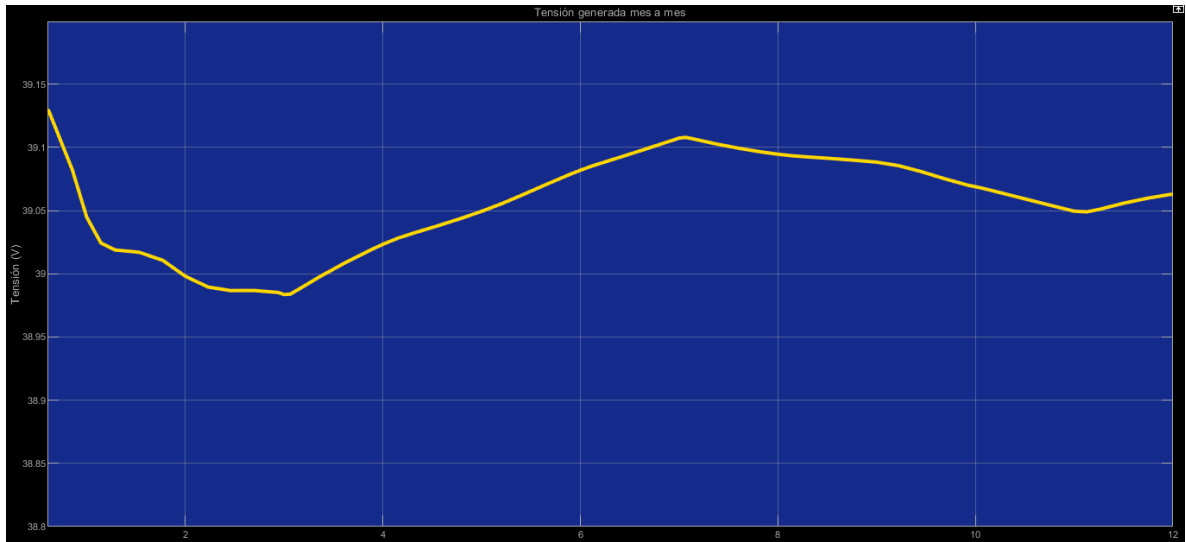


Fuente: (propia del autor, 2022).

5. Simulación gemelo digital panel solar.

Luego de tener todo listo, se procedió a simular y obtener las gráficas de tensión, corriente y potencia para cada conjunto de variables de temperatura a una irradiación constante de 1000W/m^2 .

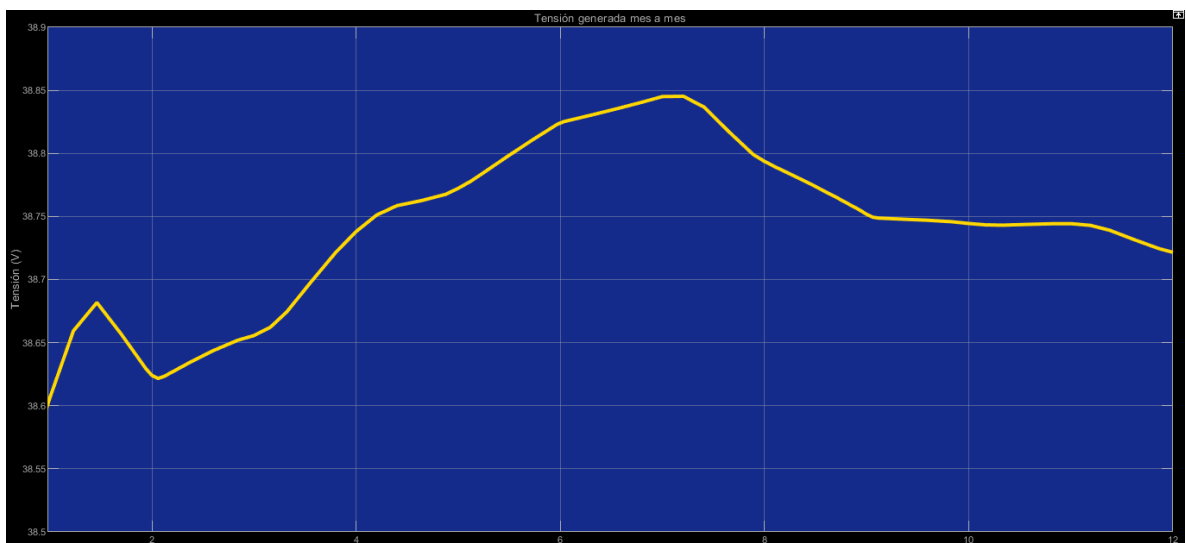
Figura 56. Resultados de V a temperaturas mínimas en Simulink.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Para la simulación con temperaturas mínimas se puede notar que la relación tensión—temperatura es inverso, comparando el comportamiento de la tensión de la figura anterior con la temperatura de la figura 24. Con base a la figura 36, se esperaba también que en esta gráfica se diera el valor máximo de tensión, de aproximadamente de 39.1 V, y efectivamente se dio en el mes de julio para una temperatura de 20.3 °C.

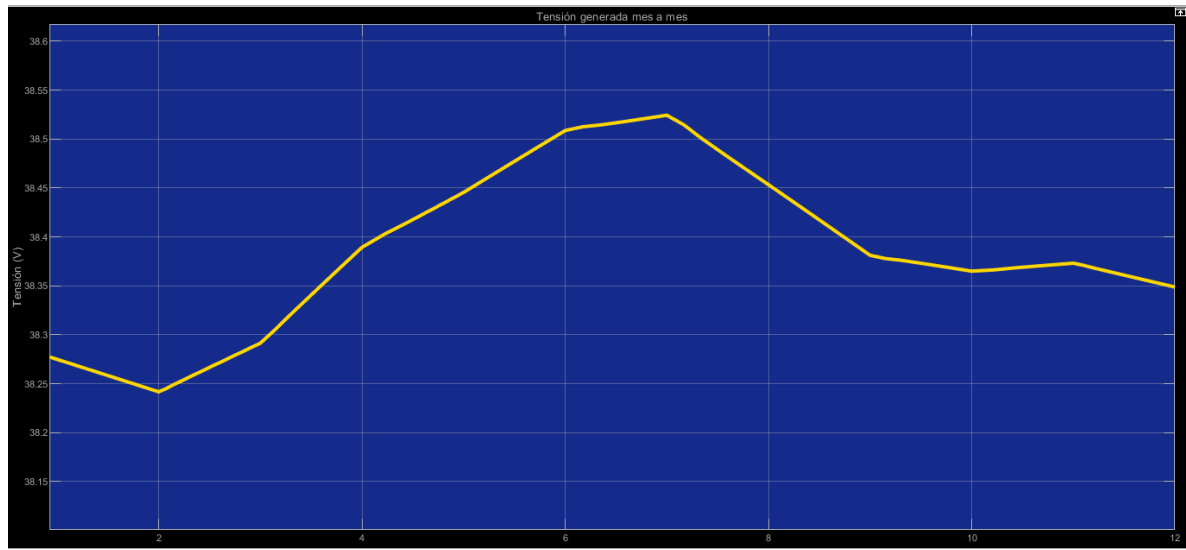
Figura 57. Resultados de V a temperaturas medias en Simulink.



Fuente: (propia del autor, 2022).

En la simulación con temperaturas medias se observó de igual manera la relación inversa entre tensión y temperatura y también se notó que las tensiones mínima y máxima fueron menores que las tensiones mínima y máxima que se obtuvieron para el conjunto de temperaturas mínimas, un resultado correcto ya que este conjunto de datos tiene todos sus valores de temperaturas mayores a los anteriores.

Figura 58. Resultados de V a temperaturas máximas en Simulink.



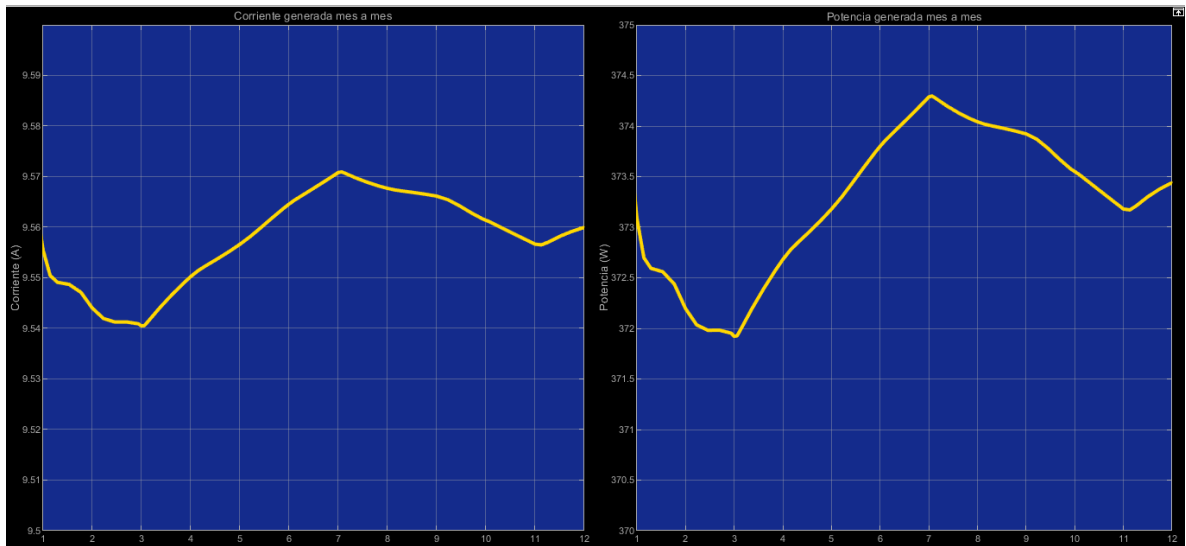
Fuente: (propia del autor, 2022).

Para el último caso de simulación con temperaturas máximas, de igual manera se observó una relación inversa entre las variables de tensión y temperaturas, además se esperaba que en esta simulación se diera la menor tensión posible ya que acá se encontraba el valor máximo de temperatura anual, de 32 °C. Y efectivamente se dio este resultado, de aproximadamente 38.2 V, corroborando nuevamente los datos de la figura 36 que entregó Simulink.

De esta manera, lo que se espera que ocurra en la instalación con base a las simulaciones hechas sobre la tensión es que conforme la temperatura aumente desde los meses de noviembre y diciembre hasta los meses de febrero y marzo, la tensión baje y se dé su punto más bajo, un valor de 38.2V, y de la misma manera, que conforme la temperatura baje desde abril hasta el mes de octubre, que la tensión aumente, teniendo su punto más alto en mes de julio con un valor de aproximadamente 39.1 V. Así, la tensión real estaría variando en promedio $\pm 0.45V$ del valor nominal del panel.

Los resultados de corriente y potencia para cada una de las tres simulaciones se vieron directamente afectados por el valor de tensión obtenido para cada mes.

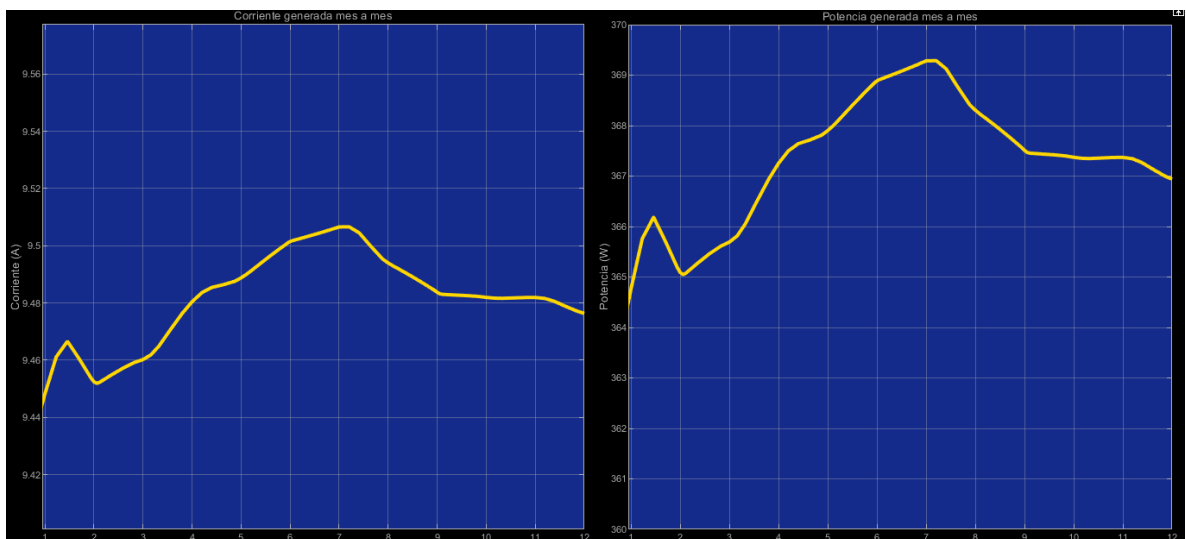
Figura 59. Resultados de I y P a temperaturas mínimas en Simulink.



Fuente: (propia del autor, 2022).

En la simulación con temperaturas mínimas se obtuvieron los mayores valores de corriente y por ende también lo máximos de potencia, llegando a tener picos de generación de aproximadamente 374.30 W máximo y de 371.90 W mínimo.

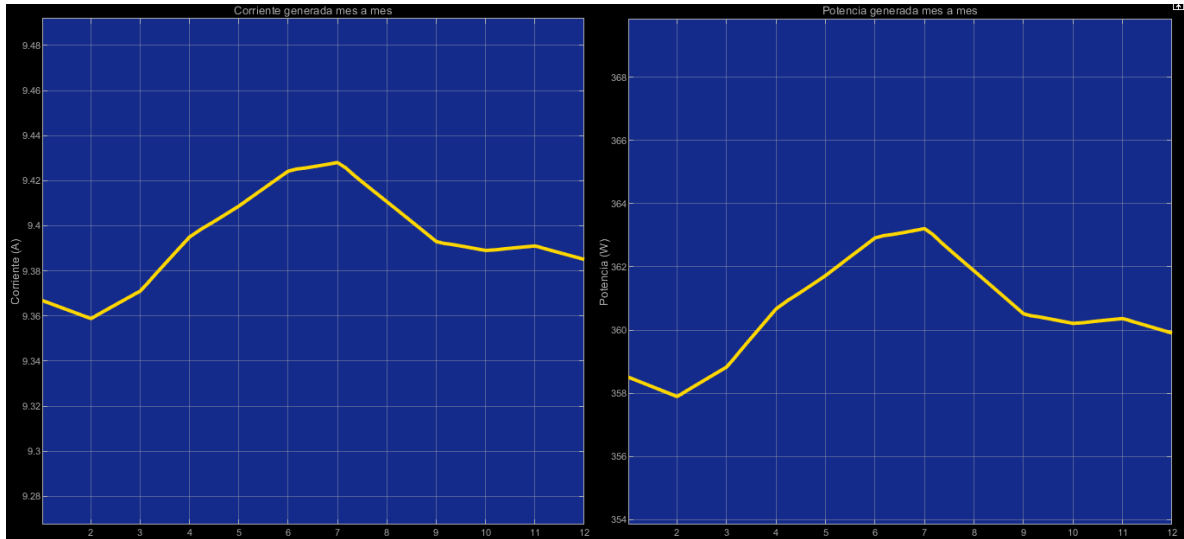
Figura 60. Resultados de I y P a temperaturas medias en Simulink.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Como era de esperarse, los valores de corriente y potencia debían de ser menores para la simulación con temperaturas medias respecto de la primera simulación con temperaturas mínimas. En este caso, la potencia máxima obtenida fue de 369.30 W y la potencia mínima de 363 W aproximadamente.

Figura 61. Resultados de I y P a temperaturas máximas en Simulink.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Para el último caso se esperó y se obtuvieron los valores más bajos de corriente y potencia, ya que las tensiones encontradas con la simulación de temperaturas máximas fueron las de menor valor. Para este caso, se obtuvo una mínima de potencia de 358 W y una máxima de 363.20 W.

De esta manera, se puede asegurar que el panel solar sometido a las condiciones de temperaturas máximas puede estar entregando como mínimo 8 W de más de potencia que la calculada (de 350 W) y que sometido a las condiciones de temperaturas mínimas puede estar entregando un máximo de 24.30 W de más de potencia.

Así entonces, se vuelve a asegurar que la energía que será capaz de capturar, convertir y entregar el panel solar en ningún momento será menor que la necesitada para el proyecto. Comprobando de esta manera que la selección de este panel solar comercial fue correcta y que el factor de seguridad del sistema asegura una buena operación en la etapa de generación de energía eléctrica.

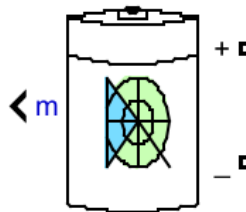
SIMULACIÓN GEMELO DIGITAL BATERÍA:

Con el fin de comprobar que la capacidad de almacenamiento de energía calculado de la batería era el correcto, se realizó una simulación de esta en Simulink de MATLAB.

1. Modelamiento de la batería en Simulink.

Simulink tiene incorporados modelos físicos de baterías y entre ellos se encuentran los de tecnología de Ion de Litio. Se procedió entonces a implementar su respectivo bloque, el cual es un modelo dinámico genérico que representa los principales y más populares tipos de baterías recargables.

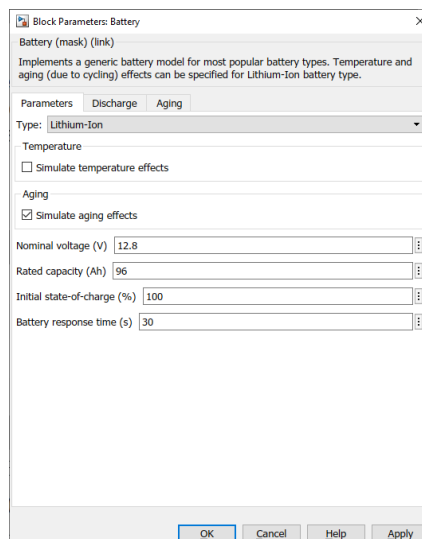
Figura 62. Modelo batería electroquímica en Simulink.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Luego se procedió a completar cada uno de sus parámetros con las variables eléctricas solicitadas y que fueron extraídas de la hoja de datos de la batería comercial seleccionada, la VHR 1296LFP.

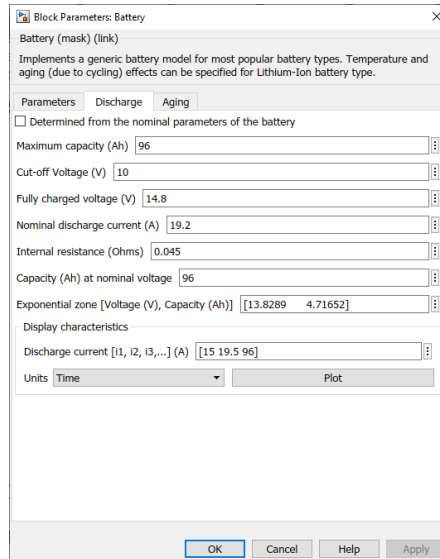
Figura 63. Parámetros generales modelo de batería en Simulink.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Ya que el proveedor de la batería no presentaba en sus hojas de datos efectos específicos de la temperatura sobre el producto (y normalmente no lo hacen), no fue posible simular este proceso por esa causa y porque no había forma de determinar esas características experimentalmente. Entonces, se procedió posteriormente a completar los parámetros de descarga y de envejecimiento en el bloque del modelo de batería ya que estos sí estuvieron disponibles.

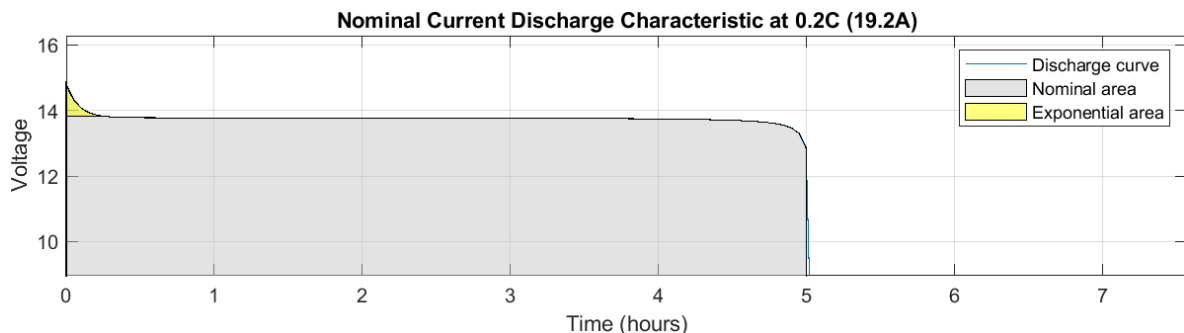
Figura 64. Parámetros de descarga modelo de batería en Simulink.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Después de haber completado el bloque de descarga se obtuvo una gráfica que proveía el mismo modelo acerca del comportamiento nominal de la batería.

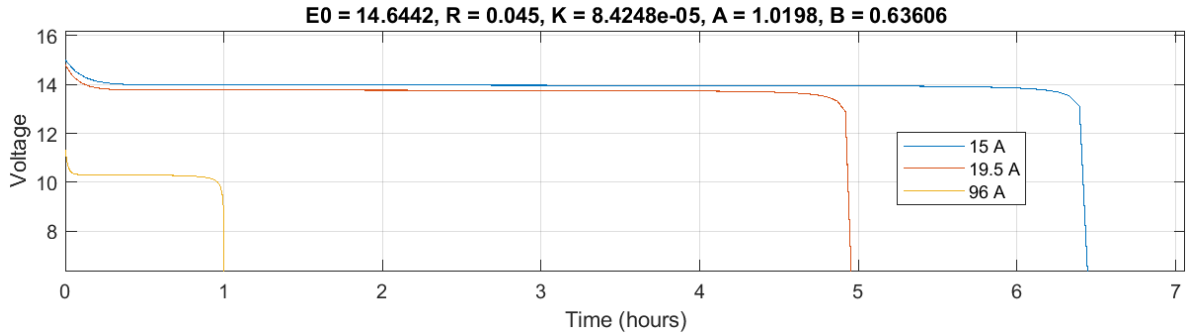
Figura 65. Corriente nominal de descarga característica.



Fuente: (propia del autor, 2022).

También fue posible obtener el comportamiento a diferentes corrientes de suministro. Para el proyecto, la corriente que la batería le estará entregando al inversor fue de 14.59 A con una tensión de 14.80 V por cada batería.

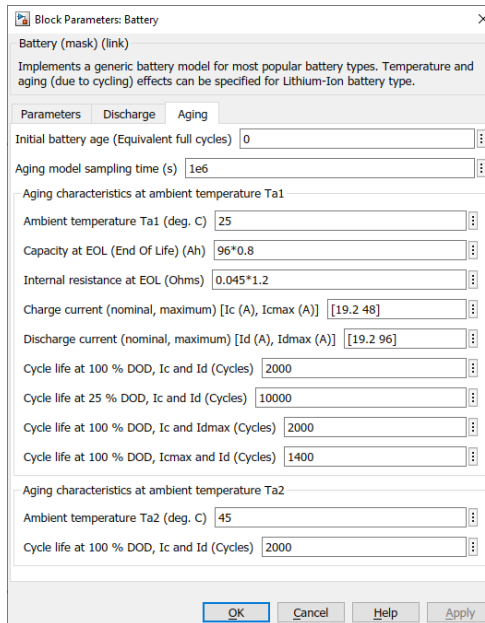
Figura 66. Comportamiento de la batería a diferentes en descarga.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Se puede observar que suministrando una corriente 15 A al inversor que a su vez está energizando los dispositivos se obtiene un tiempo de trabajo de aproximadamente 6.30 horas, lo cual concuerda con el lapso de demanda energética diaria determinado anteriormente.

Figura 67. Parámetros de envejecimiento modelo de batería en Simulink.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Por último, se completaron los parámetros de envejecimiento que solicitaba el modelo. Esto permitió que el comportamiento de las baterías en la simulación fuera más aproximado a su comportamiento real.

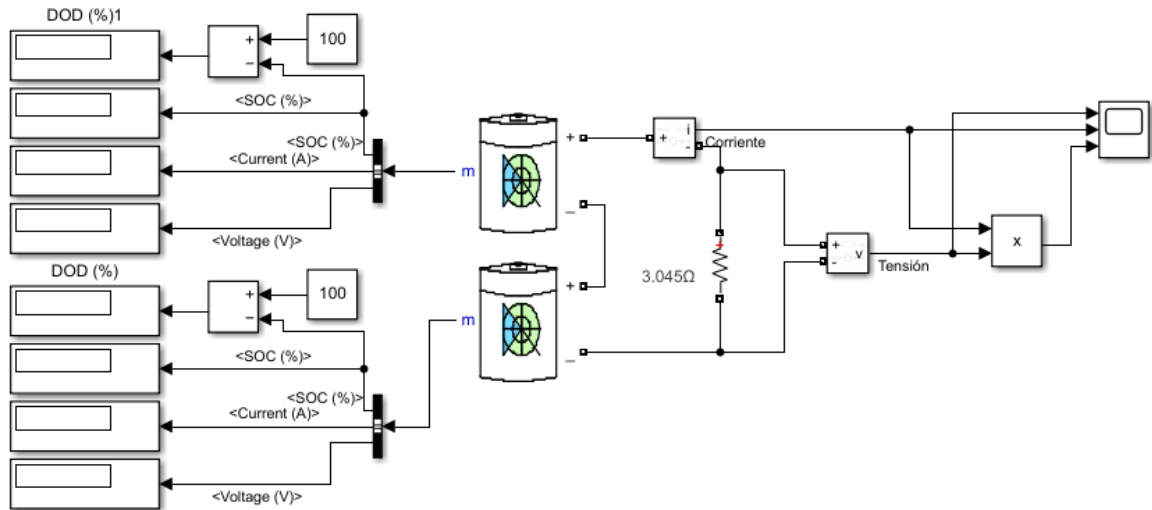
2. Creación del circuito con la carga de máxima potencia y equipos.

Para poder saber cuánto tiempo de autonomía aproximada entregaba la simulación que quería hacerse con las baterías había que conectarle una carga para esto. El inversor seleccionado tiene una potencia de 280 W y funciona a una tensión nominal máxima de 29.20 V, las de las baterías. Desde estos datos se pudo extraer una resistencia de carga equivalente por medio de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{V^2}{R} \rightarrow R = \frac{V^2}{P} = \frac{29.20^2}{280} \cong 3.05\Omega \quad (22)$$

Así entonces, se procedió a realizar el circuito completo, con las dos baterías, el resistor y los respectivos elementos para visualizar los valores necesarios y hacer sus respectivos análisis.

Figura 68. Circuito de máxima potencia a consumir.

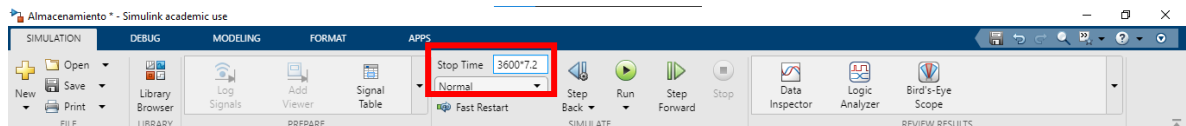


Autor: (propia del autor, 2022).

3. Preparación del tiempo de simulación y el solver necesario.

Como se estableció para el proyecto, son 7.20 horas de autonomía diaria que deben de tener las baterías para funcionar, por lo tanto, se debió primero de establecer este tiempo para la simulación.

Figura 69. Establecimiento del tiempo de simulación en Simulink.



Autor: (propia del autor, 2022).

Se sabe que todo software que trabaja en hacer simulaciones lo hace de manera discreta en el tiempo, es decir que realiza sus procesos cada cierto intervalo de tiempo finito. El solver de Simulink tiene la opción de tiempo continuo, en donde este en realidad trabaja en intervalos de 50 microsegundos, algo que para un humano es un tiempo despreciable.

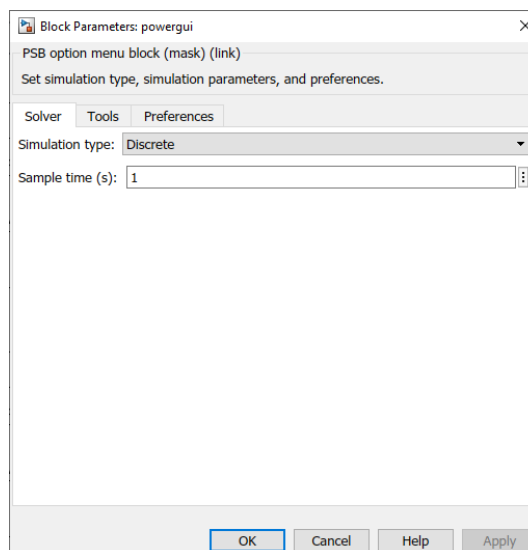
Figura 70. Bloques del solver de Simulink de tiempos discreto y continuo.



Autor: (propia del autor, 2022).

Ya que antes de decidir qué modelo de solver era el apropiado para la simulación hubo que hacer algunas pruebas de este mismo proceso. Así entonces, se encontró que, a pesar de que se demore menos tiempo en dar las respuestas de simulación y tenga intervalos más grandes, el solver en tiempo discreto entrega resultados muy similares al tiempo continuo.

Figura 71. Parámetros de powergui de Simulink.



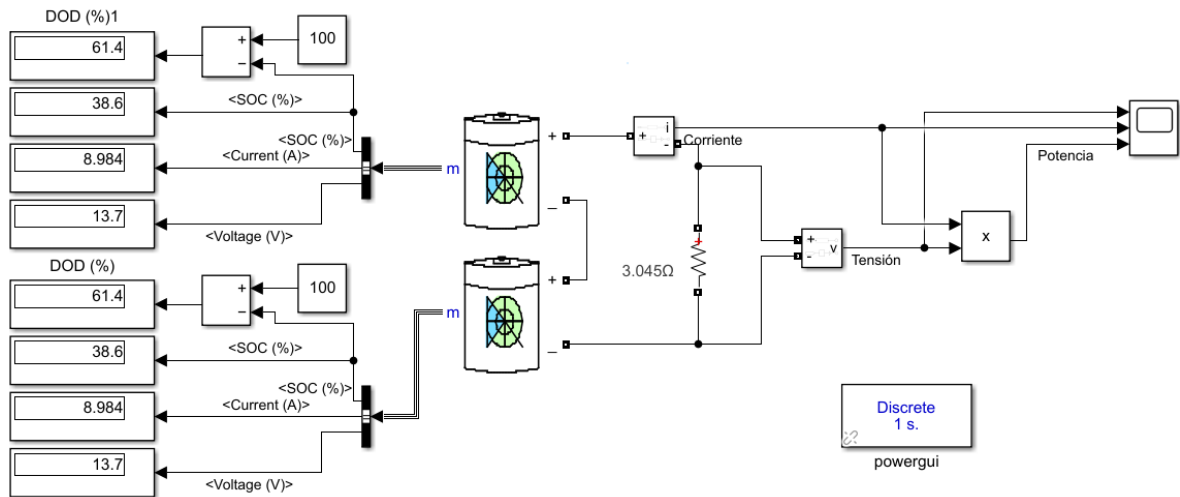
Autor: (propia del autor, 2022).

Por lo tanto, para la simulación final se decidió por establecer un intervalo de tiempo de 1 segundo. Este resultó ser correcto ya que todo el tiempo para simular, en segundos, era de 25 920, por lo tanto, Simulink iba a entregar 25 920 muestras de resultados acerca de las variables medidas.

4. Simulación gemelo digital batería.

Luego de tener todas las condiciones listas para la simulación, se corrió esta y se obtuvieron los resultados específicos de las baterías y de la carga, la que representaba al inversor.

Figura 72. Estados finales de las baterías

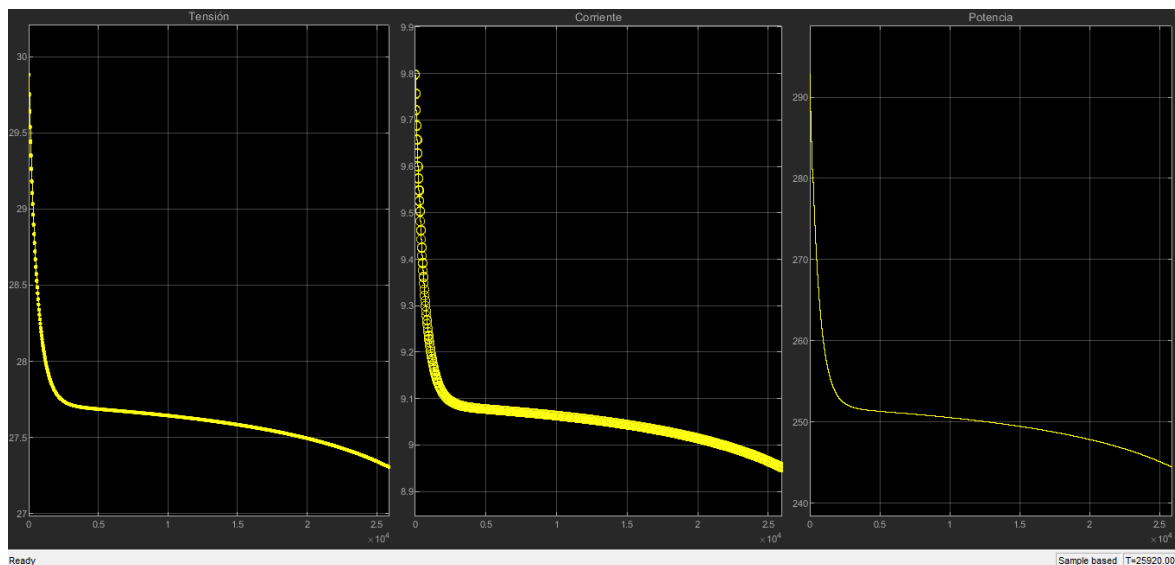


Autor: (propia del autor, 2022).

La imagen de la figura anterior muestra en los cuatro displays de cada batería su profundidad de descarga, su estado de carga, la corriente que está pasando por ellas y su tensión, respectivamente.

Se observa entonces que cada batería, luego de 7.20 horas de estar energizando el modelo equivalente del inversor comercial seleccionado, tienen una profundidad de descarga un poco mayor al 60 %, algo que se esperaba ya que teóricamente se había decidido que, con el factor de seguridad de 1.20, el tiempo de autonomía no serían 6 horas sino 7.20.

Figura 73. Resultados V, I y P sistema de almacenamiento completo.



Autor: (propia del autor, 2022).

En la imagen de la figura 60 se observa el comportamiento de la tensión, la corriente y la potencia en el resistor de 3.05Ω que representaba al inversor comercial seleccionado.

Se puede asegurar que la potencia del elemento real no será menor a 216 W, con lo cual se espera que los elementos que se conecten en esas 7.20 horas a este elemento no tengan problemas en su obtención de energía eléctrica completa.

Además, a pesar de que la potencia inicial no es de 295 W, como se muestra en los resultados de simulación, el inversor tiene una protección que lo hace trabajar en sus condicionales nominales y la carga que se le conecte no superará los 216 W de demanda en teoría según los dispositivos trabajados y su respectivo diseño.

Con los resultados analizados y habiendo comprobado a través de estos que los elementos comerciales de panel solar y baterías fueron bien seleccionados y entendiendo mejor su comportamiento por medio de sus respectivas simulaciones, se procedió a conseguir cada uno de los elementos del sistema eléctrico para posteriormente realizar su instalación dentro del sistema mecánico, no sin antes haber diseñado este último.

7.2 DISEÑO MECÁNICO

Basándose en los criterios de diseño mecánico presentados anteriormente, se procedió a idear y a diseñar y simular la cabina de la estación de carga en el software CAD/CAE de SolidWorks.

En primera instancia, se diseñó la estructura del sistema; en segundo lugar, se diseñaron las piezas que eran de espesor constante como paredes y mesas de trabajo y sus respectivas uniones a la estructura; por último, se realizaron los diseños necesarios sobre los elementos agregados para añadir cada uno de los componentes de la parte eléctrica.

Luego de tener la idea de diseño implementada, se simularon algunos procesos de esfuerzos bajo cargas mecánicas para observar el comportamiento de la estructura completa en estas condiciones.

Por último, se crearon varios árboles de fallas con el fin de que las fallas eventualmente presentadas en la operación pudieran ser reparada rápida y fácilmente haciendo uso de esta herramienta, además de hacer entender mejor el funcionamiento de la estación de carga y cómo trabajar sobre ellas tareas de mantenimiento, actualización, etcétera.

7.2.1 Estructura

El proceso de diseño de la estructura de la cabina de la estación estuvo compuesto por tres fases: la selección del miembro estructural adecuado, la geometría y topología de la estructura y los métodos de unión entre los miembros estructurales.

7.2.1.1 Miembro estructural

Queriendo hacer del sistema mecánico en su mayoría modular, se pensó en implementar la estructura de este por medio módulos compuestos miembros estructurales tubular. Este tipo de miembro estructural es liviano y resistente por su forma a nivel general, aunque su comportamiento varía dependiendo del material del que esté constituido, donde normalmente estos miembros estructurales se encuentran comercialmente con materiales de las familias de acero y aluminio.

Figura 74. Tabla de propiedades acero estructural ASTM A572 grado 50.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.80 g/cc	0.282 lb/in ³	Typical of ASTM Steel
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	135	135	based on conversion from tensile strength based on conversion from tensile strength
Hardness, Rockwell B	74	74	
Tensile Strength, Ultimate	450 MPa	65300 psi	
Tensile Strength, Yield	345 MPa	50000 psi	
Elongation at Break	18 %	18 %	In 200 mm
	21 %	21 %	In 50 mm
Bulk Modulus	160 GPa	23200 ksi	Typical for steel
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Typical for steel
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	<= 0.23 %	<= 0.23 %	
Iron, Fe	98 %	98 %	
Manganese, Mn	1.35 %	1.35 %	
Phosphorus, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Silicon, Si	<= 0.40 %	<= 0.40 %	varies with plate thickness
Sulfur, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

Fuente: (MatWeb, 2023).

La imagen de la figura anterior muestra las propiedades mecánicas y composición del acero estructural preseleccionado como material para la estructura de la estación de carga.

Figura 75. Tabla de propiedades aleación aluminio 1060 H12.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	2.705 g/cc	0.09772 lb/in ³	AA; Typical
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	23	23	AA, Typical; 500 g load; 10 mm ball
Tensile Strength, Ultimate	82.7 MPa	12000 psi	AA; Typical
	75.0 - 110 MPa	10900 - 16000 psi	Sheet and plate
	>= 70.0 MPa	>= 10200 psi	Drawn tube
	@Thickness 0.254 - 12.7 mm	@Thickness 0.0100 - 0.500 in	
Tensile Strength, Yield	>= 62.0 MPa	>= 8990 psi	Sheet and plate
	75.8 MPa	11000 psi	AA; Typical
	>= 28.0 MPa	>= 4060 psi	Drawn tube
	@Thickness 0.254 - 12.7 mm	@Thickness 0.0100 - 0.500 in	
Elongation at Break	6.0 - 12 %	6.0 - 12 %	Sheet and plate
	16 %	16 %	AA; Typical
	@Thickness 1.59 mm	@Thickness 0.0625 in	
Modulus of Elasticity	68.9 GPa	10000 ksi	AA; Typical; Average of tension and compression. Compression modulus is about 2% greater than tensile modulus.
Poissons Ratio	0.33	0.33	
Fatigue Strength	27.6 MPa	4000 psi	completely reversed stress, RR Moore machine/specimen
	@# of Cycles 5.00e+8	@# of Cycles 5.00e+8	
Shear Modulus	26.0 GPa	3770 ksi	Calculated
Shear Strength	55.2 MPa	8000 psi	AA; Typical
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Aluminum, Al	>= 99.60 %	>= 99.60 %	Specified
Copper, Cu	<= 0.05 %	<= 0.05 %	
Iron, Fe	<= 0.35 %	<= 0.35 %	
Magnesium, Mg	<= 0.03 %	<= 0.03 %	
Manganese, Mn	<= 0.03 %	<= 0.03 %	
Other, each	<= 0.03 %	<= 0.03 %	
Silicon, Si	<= 0.25 %	<= 0.25 %	
Titanium, Ti	<= 0.03 %	<= 0.03 %	
Vanadium, V	<= 0.05 %	<= 0.05 %	
Zinc, Zn	<= 0.05 %	<= 0.05 %	

Fuente: (MatWeb, 2023).

La imagen de la figura anterior muestra las propiedades mecánicas y composición de la aleación de aluminio 1060 H12 preseleccionado como material para la estructura de la estación de carga.

Ambos materiales presentan en sus propiedades mecánicas características buenas relativas a las necesidades del proyecto, así que para decidirse por alguno de ellos se realizó una matriz de decisión.

Tabla 23. Matriz de decisión material miembro estructural.

MATERIAL	Densidad	Resistencia	Reciclaje	Costo	Comportamiento ambiental	TOTAL
Acero ASTM A572	1	5	5	4	4	19
Aluminio 1060 H12	5	4	5	2	5	21

Fuente: (propia del autor, 2022).

Queriendo escoger el material adecuado conforme a la necesidades y criterios del proyecto, se desarrolló una matriz de decisión para determinar qué tipo de material era el que los cumplía de mejor manera. La matriz de decisión presentada para el material de los miembro estructurales a utilizar dio como resultado que la familia del aluminio aleación 1060 era la más adecuada para el proyecto. Al cumplir mejor con las características de densidad, facilidad de reciclaje y comportamiento ambiental (procesado, manufactura, larga vida útil y capacidad de reciclaje del producto comercial para hacerlo pertenecer a la economía circular) y diferir mínimamente en sus resistencias mecánica y térmica (para el tamaño de este proyecto) y en su costo de compra en comparación con la familia del acero, se encontró que sería el material óptimo para los miembros estructurales modulares para el proyecto.

Posteriormente se procedió a definir el perfil comercial a utilizar basándose en las características que se presentaban para cada uno de ellos. Normalmente se encuentran más fácilmente perfiles con forma cuadrada y forma rectangular para estos miembros estructurales, por lo tanto, se desarrolló una matriz de decisión para determinar cuál era el óptimo para el proyecto.

Tabla 24. Matriz de decisión forma del perfil del miembro estructural.

FORMA	Peso	Costo	Resistencia	TOTAL
Cuadrada	5	5	4	14
Rectangular	3	3	5	11

Fuente: (propia del autor, 2022).

Se encontró entonces que los perfiles cuadrados son los óptimos para cumplir con los requisitos del proyecto, encontrando que la diferencia positiva con los perfiles rectangulares fue en los criterios de peso por unidad de longitud y costo de adquisición. A pesar de tener menor puntaje en resistencia mecánica, se esperó que igualmente pudiera cumplir con soportar de seguramente las cargas aplicadas.

Por último, hizo falta seleccionar el tamaño del perfil específico del miembro estructural a implementar en la estructura. Se preseleccionaron algunos modelos comerciales que se encontraron en una búsqueda que precisaran facilidad de compra. Así entonces, se desarrolló una matriz de decisión para la selección específica del perfil a utilizar.

Tabla 25. Matriz de decisión tamaño perfil comercial.

FAMILIA	Resistencia	Peso	Costo	TOTAL
20x20 mm	3	5	5	13
30x30 mm	4	4	5	13
40x40 mm	5	4	4	13
50x50 mm	5	3	3	11

Fuente: (propia del autor, 2022).

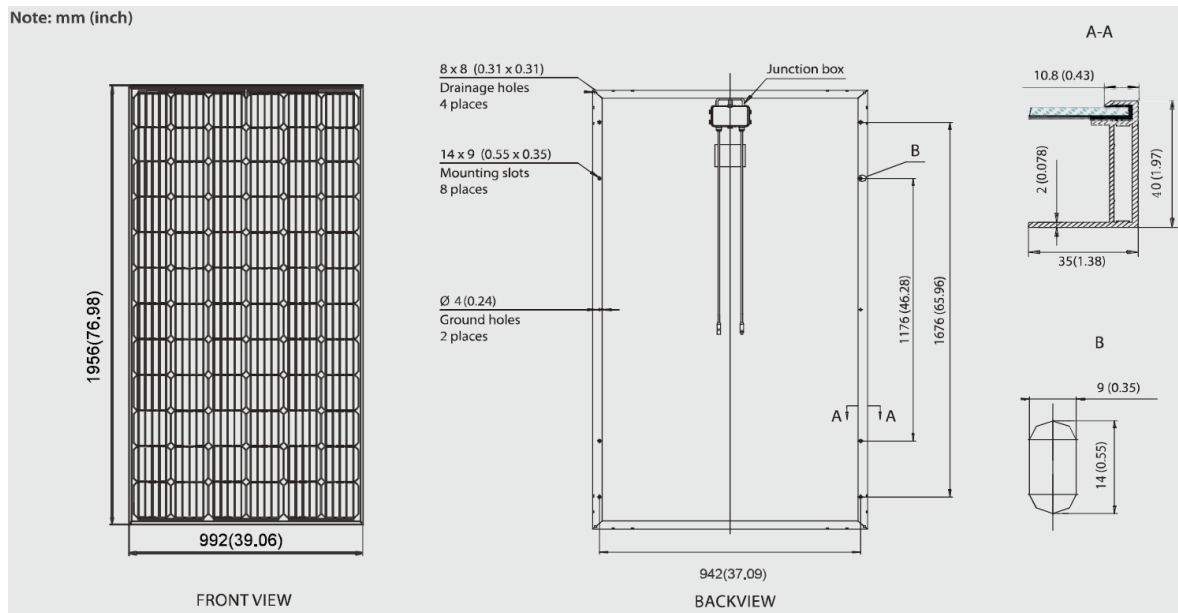
Así entonces, se encontró que las familias de las series de 20mm, 30mm y 40mm fueron las que tuvieron igual puntaje entre ellas y el más alto en la matriz de decisión. Para desempatar el resultado y seleccionar uno, se procuró en dar prioridad al criterio de resistencia mecánica. De esta manera, resultó que la familia de 40x40 mm fue la que mejor se adaptó para el proyecto.

7.2.1.2 Geometrías y topologías

CROQUIS 3D:

Ya que el sistema mecánico debía de estar integrado completamente con el sistema eléctrico, es decir que era dependiente de este para sus tamaños y formas, se empezó por determinar un tamaño exterior con base a las medidas del elemento más grande del sistema eléctrico. Se encontró entonces que las medidas eran exteriores eran de 1956 mm de largo, 992 mm de ancho y 40 mm de alto.

Figura 76. Dimensiones panel solar CSUN 370-72M.



Fuente: (CSUN, 2022).

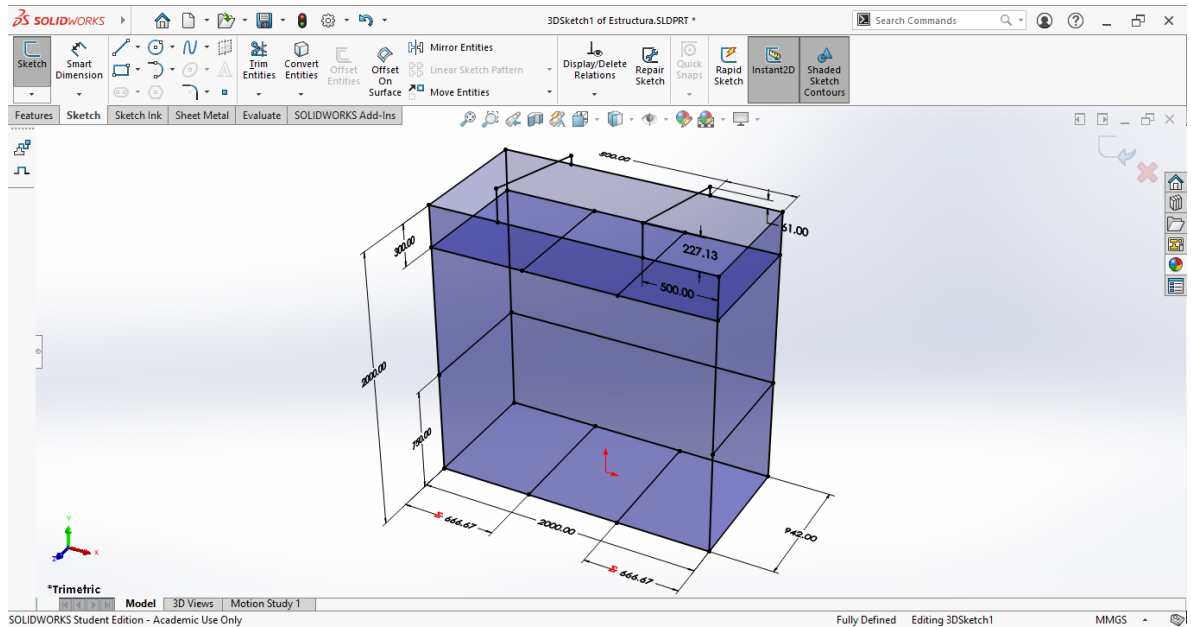
De esta manera, se decidió que el tamaño de la estación de carga viéndola desde la vista superior tener unas dimensiones de cercanas a 2000 mm de largo por 1000 mm de ancho. Además, se decidió que tuviera un máximo de 2000 mm de alto ya que según (Chacón, 2021) la altura promedio de los hombres colombianos, que son más altos que las mujeres, es de 1.719 m, lo cual da una diferencia de menos de 300 mm de altura para poder tener un espacio adecuado para ubicar los demás elementos del sistema eléctrico, según las medidas encontradas en sus hojas de datos.

Luego de haber definido los valores de las medidas exteriores, se procedió a determinar qué altura podría tener mesa tipo escritorio para que los usuarios de la estación de carga pudieran no solo cargar sus dispositivos, sino que trabajaran al tiempo con ellos. Así entonces, como los dispositivos más grandes a utilizar eran computadores portátiles y se deseó que se pudieran utilizar mientras los usuarios estuvieran sentados, la medida de la altura de esta mesa debía de estar como mínimo a 730 mm de altura (Ofiprix, 2020).

Además, como se quería tener hasta cuatro dispositivos simultáneamente, se decidió por ocupar todo el largo de la estación de carga para el largo de la mesa tipo escritorio. Y, por último, el ancho de un computador portátil de 15.6" (los cuales son los de mayor tamaño comercialmente) no supera los 300 mm, por lo que se decidió que la mesa tuviera un ancho máximo de 500 mm para que hubiera suficiente espacio para trabajar cómodamente en la mesa que emularía un escritorio de oficina.

Así entonces, se procedió a diseñar el croquis 3D del esqueleto de la estructura de la estación de carga en SolidWorks teniendo en cuenta tanto los criterios de diseño mecánico generales como los presentados en esta sección.

Figura 77. Croquis 3D estructura base de la estación en SolidWorks.



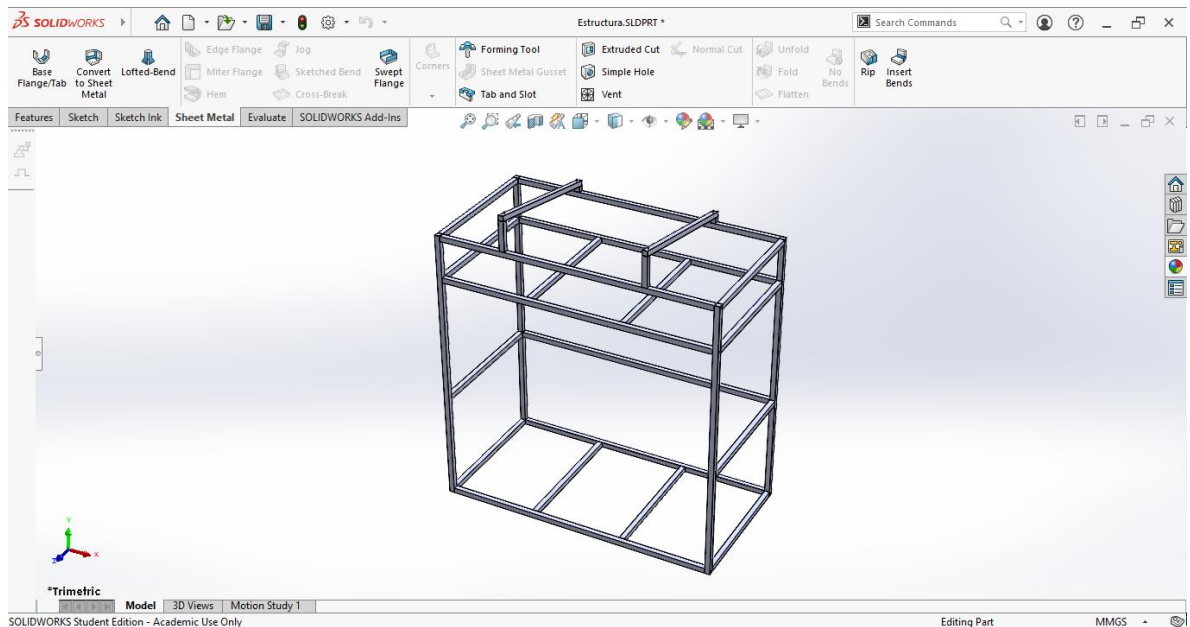
Fuente: (propia del autor, 2022).

El modelado 3D del croquis fue llevado a cabo pensando también en las mejores formas de unión entre elementos tanto mecánicos como eléctricos, la facilidad de ensamblaje y des—ensamblaje su consistencia con los miembros estructurales.

CREACIÓN GRUPOS DE MIEMBROS ESTRUCTURALES:

Luego de tener listo el croquis 3D, se procedió a insertar los perfiles del miembro estructural en el modelo y definir sus dimensiones.

Figura 78. Modelo 3D de la estructura base en SolidWorks.



Fuente: (propia del autor, 2022).

De esta manera, se completó cada una de las líneas estructurales de la estación de carga con los perfiles creados previamente, en donde se tuvo en cuenta la inclinación de 10° para la Hora Solar Pico Corregida calculada previamente para el panel solar.

7.2.2 Piezas de espesor constante

Para este proyecto, las piezas de espesor constante fueron aquellas que sirvieron como mesas, tapas y paredes dentro de la estructura. Así entonces, se diseñaron cada una de las siguientes piezas con base a la estructura modelada por medio del método de diseño descendente.

Paredes cámara de sistema eléctrico:

Empezando por seguir los parámetros establecidos en la sección de recursos energéticos, en donde se decidió que las posibles altas temperatura y humedad relativa podían interferir en el rendimiento de la estación, se buscó escoger un material que pudiera proteger internamente el ambiente donde estarían los elementos eléctricos susceptibles a daños por causa de estas variables ambientales.

Asimismo, siguiendo los criterios de diseño mecánico se determinó que el material a cumplir con ser parte de estas piezas debía ser bajo en densidad, ser resistente

en relación con el proyecto y que principalmente tuviera una baja conductividad térmica para poder cumplir con lo expuesto en el párrafo anterior.

Tabla 26. Matriz de decisión materiales para paredes.

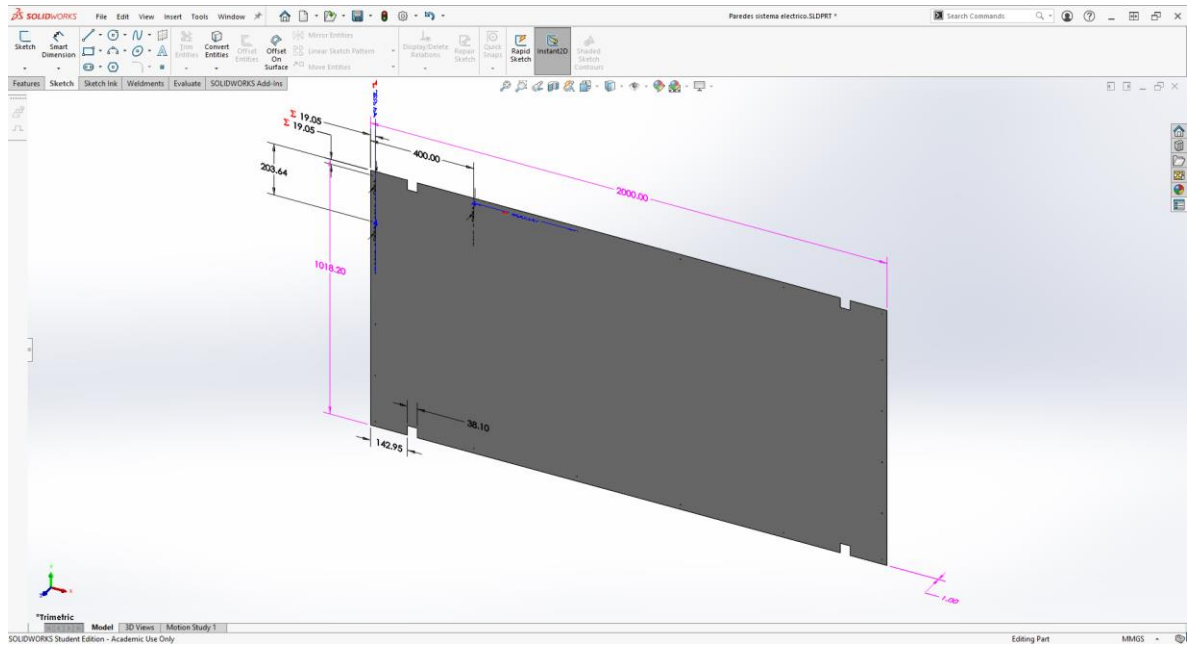
MATERIAL	DENSIDAD	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	COSTO	RESISTENCIA MECÁNICA	TOTAL
Metal	3	5	5	5	18
Madera	5	5	3	3	16
Polímeros	5	5	4	2	16

Fuente: (propia del autor, 2022).

Así entonces, se determinó que los materiales metálicos eran los que mejor se adaptaban para cumplir con las necesidades del proyecto, como se muestra en la tabla anterior, ya que su bajo peso, baja conductividad térmica y bajo costo junto con su buena resistencia mecánica, todas calificadas relativamente con las necesidades del proyecto, lo hacen ser óptimo este fin. Además, son materiales reciclables en su mayoría que cumplen con ser amigables con el medio ambiente de una mejor manera.

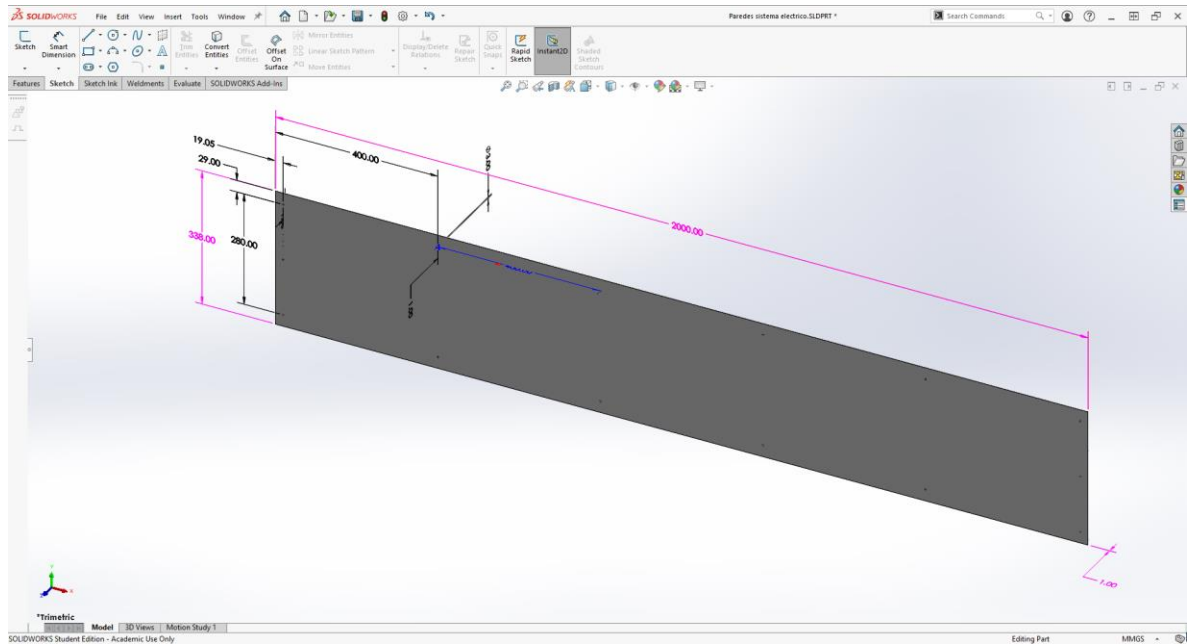
De esta manera, sin predeterminedar algún material específico de las familias evaluadas en la última matriz de decisión, se decidió que las láminas de acero del mismo material de la estructura podrían cumplir con estas condiciones ya que, según (METINVEST, 2023) es un acero apto para productos laminados y puede aislar térmicamente el ambiente interior de buena manera y agregar un poco de resistencia a la estructura, también es fácil de manufacturar, unir, ensamblar y desensamblar por su baja densidad. Así entonces, se diseñaron los tres modelos 3D de los tres pares de paredes que tendría la estación de carga para albergar los elementos del sistema eléctrico y que estarían ensamblados de tal manera que cumplieran con la forma de un paralelepípedo.

Figura 79. Modelo 3D pared horizontal en SolidWorks.



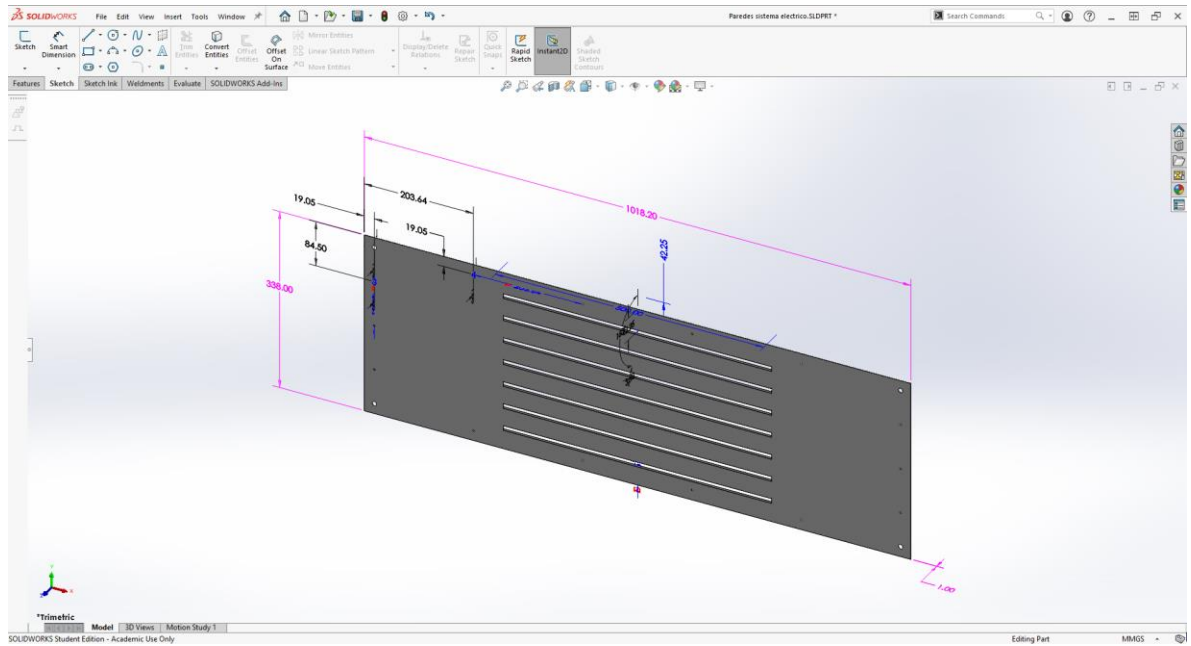
Fuente: (propia del autor, 2022).

Figura 80. Modelo 3D pared lateral larga en SolidWorks.



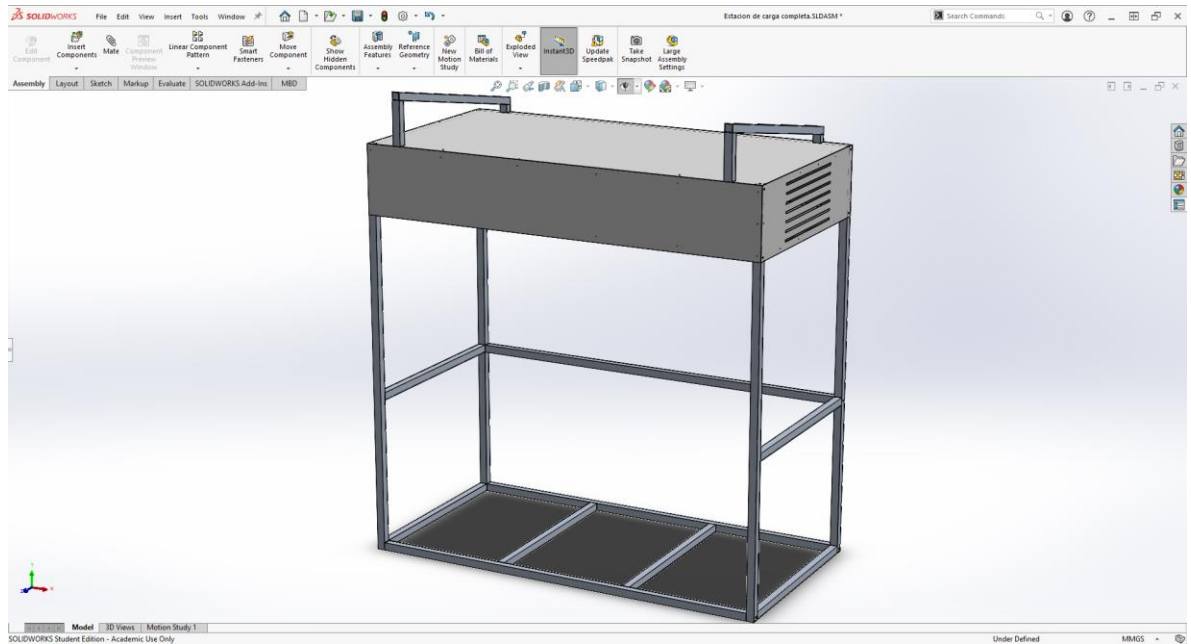
Fuente: (propia del autor, 2022).

Figura 81. Modelo 3D pared lateral corta en SolidWorks.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Figura 82. Modelo 3D paredes ensambladas en SolidWorks.



Fuente: (propia del autor, 2022).

El diseño de cada una de las paredes fue hecho pensando en la manera en cómo se podían ensamblar a la estructura metálica, de tal manera que fuera lo más fácil posible tanto la instalación como el desensamble de ciertas piezas para tareas de

corrección, arreglos y mantenimientos eventuales; además, también pensando en cómo se permitiría la mayor ventilación y estabilidad de temperatura dentro de ellas.

Mesa de trabajo:

Siguiendo los criterios expuestos anteriormente para las dimensiones de la mesa que emula un escritorio para poder trabajar sobre ella con los computadores portátiles, se diseñó y modeló en 3D esta pieza generando la respectiva geometría con el fin de que se adaptara a la estructura previamente modelada en 3D.

Figura 83. Tabla de propiedades madera maciza de pino.

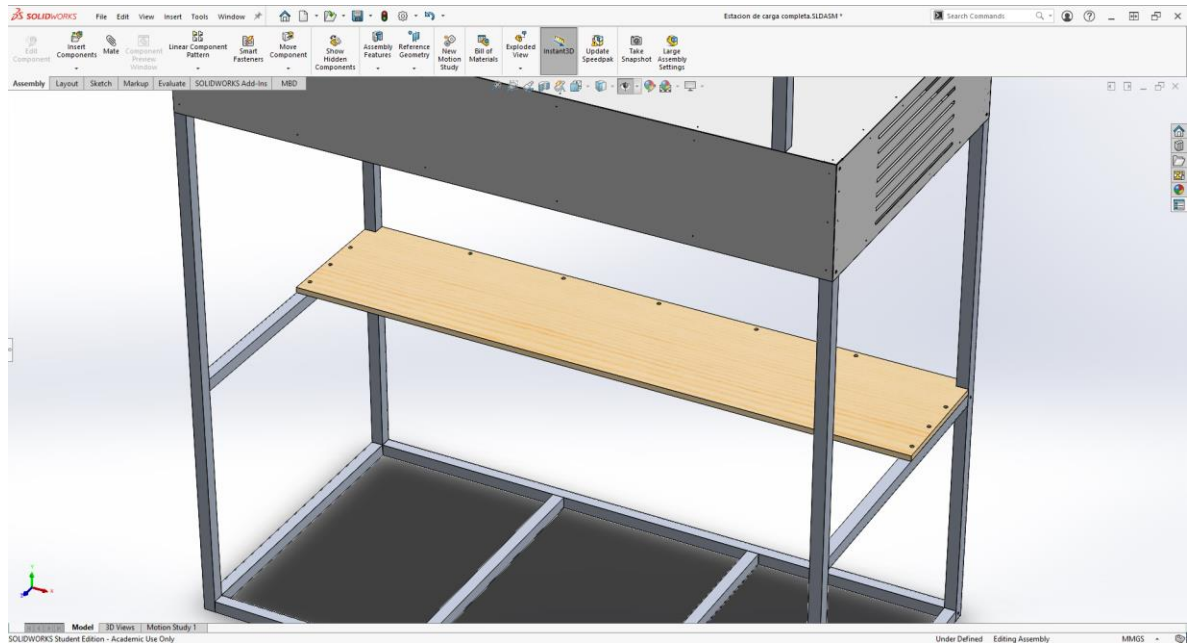
Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	0.550 g/cc	0.0199 lb/in ³	Oven Dry Weight/Unseasoned Volume
	0.657 g/cc	0.0237 lb/in ³	Unseasoned*
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Wood Indentation	2400 N	540 lb (f)	End. Force required to imbed a 0.444 inch steel ball to one-half its diameter
	2600 N	585 lb (f)	Side. Force required to imbed a 0.444 inch steel ball to one-half its diameter
Tensile Strength, Ultimate	2.00 MPa	290 psi	Perpendicular to Grain*
Modulus of Rupture	0.0600 GPa	8.70 ksi	Static Bending*
	0.101 GPa	14.6 ksi	In Bending
Flexural Yield Strength	37.2 MPa	5400 psi	Fiber Stress at Elastic Limit, Static Bending*
	64.1 MPa	9300 psi	Bending stress at proportional limit
Flexural Modulus	11.2 GPa	1630 ksi	Static Bending*
	13.8 GPa	2000 ksi	In Bending
Compressive Strength	4.14 MPa	600 psi	Perpendicular to Grain*
	19.6 MPa	2840 psi	Parallel to Grain*
	30.3 MPa	4390 psi	Max Crushing Strength Parallel to Grain*
	57.9 - 58.6 MPa	8400 - 8500 psi	Parallel to Grain
Poissons Ratio	0.332	0.332	μ _{LR} : 12% Moisture Content
	0.342	0.342	μ _{TR} : 12% Moisture Content
	0.365	0.365	μ _{LT} : 12% Moisture Content
	0.384	0.384	μ _{RT} : 12% Moisture Content
Shear Strength	7.38 MPa	1070 psi	Parallel to Grain*
	10.3 MPa	1490 psi	Orientation Unknown
Impact	3.5	3.5	in-lb/in ² , Work to Elastic Limit, Unseasoned Sample; Impact Bending*
	10800	10800	psi; Fiber Stress at Elastic Limit, Unseasoned Sample; Impact Bending*
Work to Elastic Limit	0.00689 J/cm ²	1.00 in-lb/in ²	Static Bending*
Work to Maximum Load	0.0552 J/cm ²	8.00 in-lb/in ²	Static Bending*
Cleavage	32.0 kN/m	183 lb/in	Tangential surface of failure, Unseasoned*
	33.0 kN/m	188 lb/in	Radial surface of failure, Unseasoned*

Fuente: (MatWeb, 2023).

El material seleccionado para la mesa de trabajo fue la madera de pino maciza, ya que esta parte no iba a soportar una carga de más de 10 kg y también debía de tener un acabado superficial el cual diera un aspecto estético bueno y ameno para sentarse a trabajar sobre ella. Por lo tanto, las propiedades mecánicas y físicas de la madera de pino lo hacen óptimo para esta aplicación por su baja densidad y buena resistencia relativa a la necesidad del proyecto. En cambio, materiales metálicos serían más pesados por mayores densidades y por lo tanto requerirían un soporte de más cantidad de piezas, haciendo más complejo y costoso de realizar el proyecto.

Además, el pino es un material con una maquinabilidad fácil, una característica clave para la manufactura del proyecto ya que iba a necesitar menos tiempo y dinero para llevarlo a su forma final y para su ensamblaje.

Figura 84. Modelo 3D de la mesa en la estructura en SolidWorks.



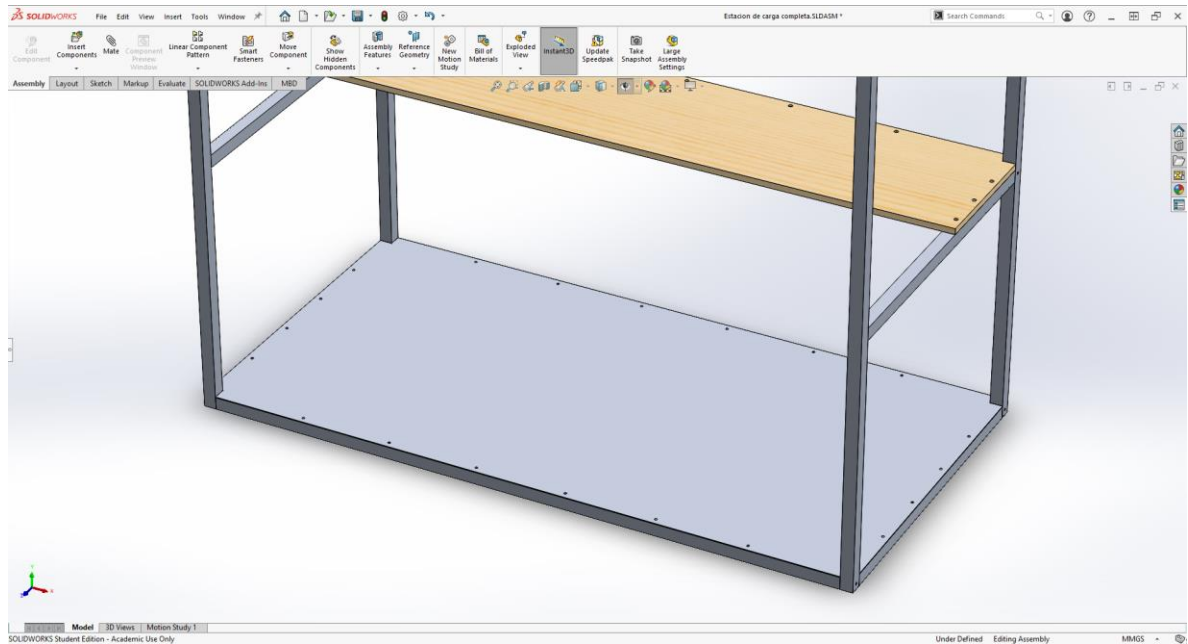
Fuente: (propia del autor, 2022).

En la imagen de la figura anterior se observa cómo iba a ir la mesa ensamblada en la estructura.

SUELO:

De igual manera que con la mesa de trabajo, se modeló el suelo de la estación aprovechando la forma de la estructura metálica ya definida totalmente.

Figura 85. Modelo 3D del suelo en la estructura en SolidWorks.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Al igual que con las piezas de espesor constante mostradas anteriormente, en primera instancia se decidió por darle a la pieza del suelo el material de aluminio en estado de alfajor ya que este suponía una buena resistencia para este tipo de casos.

7.2.3 Métodos de unión

Con el fin de tener la mayoría, o en su totalidad, de los elementos que componían a la estación de carga ensamblados de manera modular, se buscó siempre por optar por elementos de unión modulares para este fin. Así entonces, los métodos de unión se dividieron en cuatro grupos

Entre Miembros Estructurales:

Ya que estos elementos eran metálicos, el principal método de unión que se determinó para unir los miembros estructurales de manera permanente fue la soldadura fuerte. Esto para hacer la respectiva fabricación de los módulos que iban a componer la estructura.

Luego, para unir los módulos entre sí, se decidió por una unión mecánica roscada. Esto facilitaría el montaje y desmontaje de la estructura, pero de igual manera tendría una buena estabilidad conjunta.

Entre Miembros Estructurales y Piezas de Espesor Constante:

Aprovechando la facilidad de la madera para ser taladrada, se decidió por unir la mesa de trabajo con los miembros estructurales por medio de tornillos auto—taladrantes.

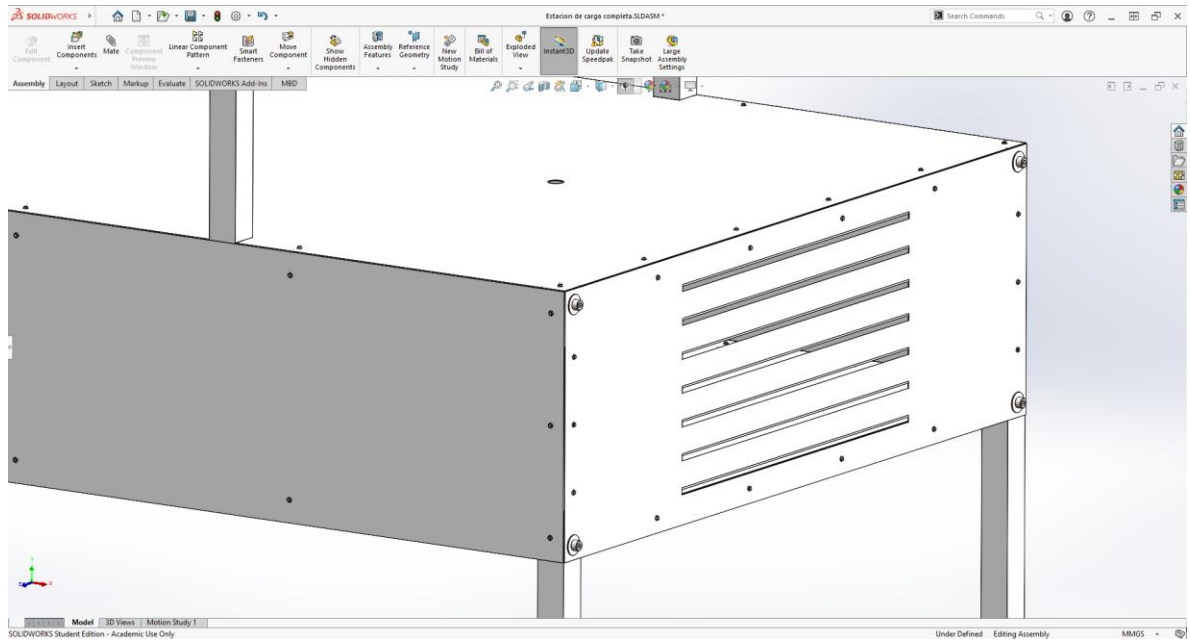
Figura 86. Operación para unión en mesa de trabajo en SolidWorks.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Para los otros casos, se decidió que las paredes de la cámara del sistema eléctrico y el suelo se ensamblaran con los miembros de la estructura. De esta manera, lo que se hizo fue diseñar un método de unión roscada por medio de tornillos auto—taladrantes para las zonas donde las piezas hacían contacto entre sí.

Figura 87. Método de unión roscada entre piezas en SolidWorks.



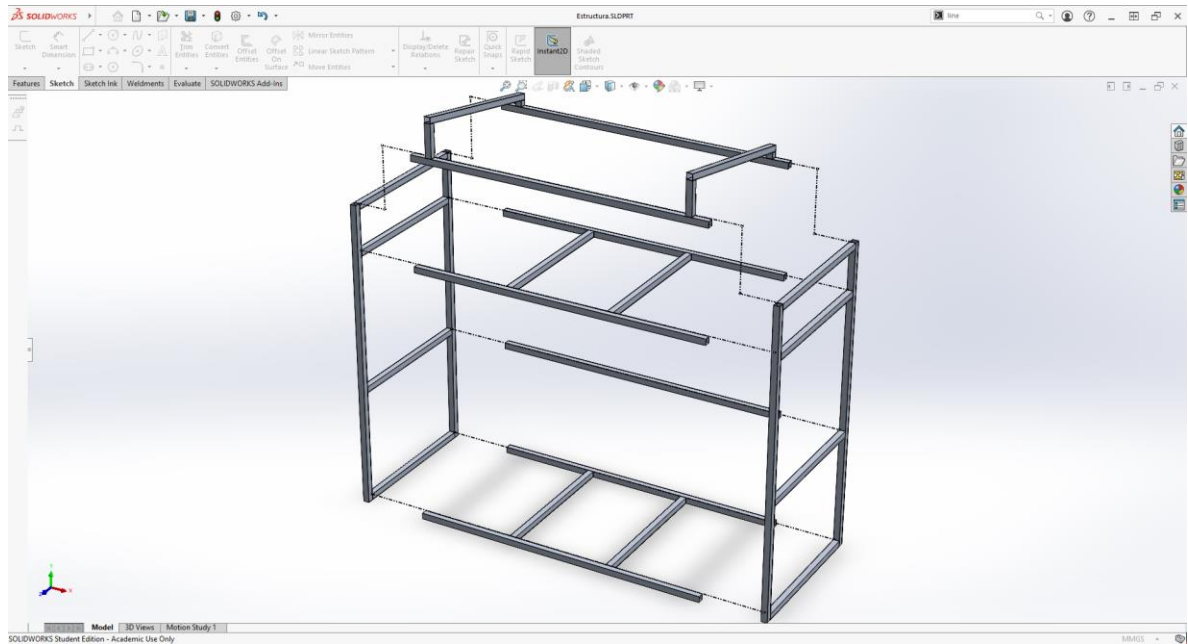
Fuente: (propia del autor, 2022).

De esta manera se cumplió con hacer que la unión entre estas piezas fueran fácil y que permitiera un desensamble rápido para actividades y maniobras con los elementos principales de la parte eléctrica.

7.2.4 Creación de los módulos estructurales

Teniendo la estructura modelada en 3D completamente, se procedió a realizar un despiece estratégico para determinar los módulos de los cuales se construiría la estructura

Figura 88. Despiece de módulos con líneas de explosión en SolidWorks.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Como se observa en la figura anterior, se crearon cuatro módulos en donde se encuentran seis unidades para ensamblar. Cada uno de estos módulos estuvo compuesto por la unión por medio de soldadura de gas inerte de tungsteno (TIG, por sus siglas en inglés) entre los miembros estructurales que tenían. Los métodos de unión entre cada uno de los módulos se encuentran en los anexos de planos mecánicos.

Por último, como parte del cableado eléctrico iba a estar dentro de los miembros estructurales, se colocaron tapas en las caras donde se tenía alguna abertura para evitar que efectos de polvo, lluvia y humedad afectaran esta parte eléctrica.

Como se mencionó anteriormente, los métodos de unión entre los módulos y las demás especificaciones de métodos de fabricación, construcción y ensamblaje de las partes mecánica y eléctrica se encuentran en los anexos de los planos respectivos.

7.2.5 Simulación

Luego de haber diseñado prácticamente todo lo necesario para la estación de carga, se procedió a determinar si la estructura cumplía con los criterios de buena resistencia mecánica y si tenía un buen comportamiento frente a condiciones de temperatura.

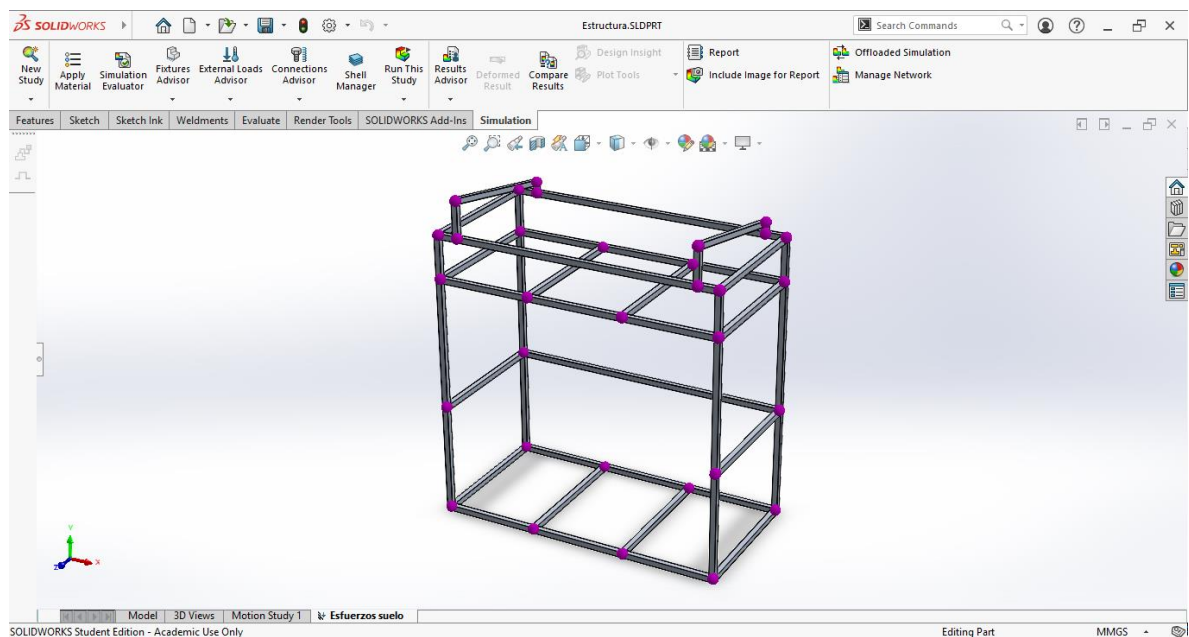
Con el fin de determinar si tanto el material como las uniones de los miembros estructurales de la estructura de la estación de carga trabajarían de manera correcta para lo que fueron diseñados, se realizó una simulación en las zonas donde más carga mecánica se aplicaría. La primera carga fue sobre los miembros estructurales donde estaría el suelo; la segunda carga fue sobre los miembros estructurales donde estaría el soporte para los elementos eléctricos principales batería, regulador de carga e inversor; y la tercera carga fue sobre los miembros estructurales que iban a estar soportando el panel

CONDICIONES DE CONTORNO:

Las condiciones de contorno establecidas para este caso de simulación fueron la preparación de la estructura, el material se los miembros estructurales que la conformaban, los contactos entre cada una de las caras de estos elementos y los puntos de apoyo fijo de la estructura.

Así entonces, lo primero que se hizo fue preparar el modelo restringiéndolo a lo que era netamente la estructura, ya que esta era la que iba a estar soportando las cargas mecánicas externas y por lo tanto teniendo más esfuerzos y desplazamientos.

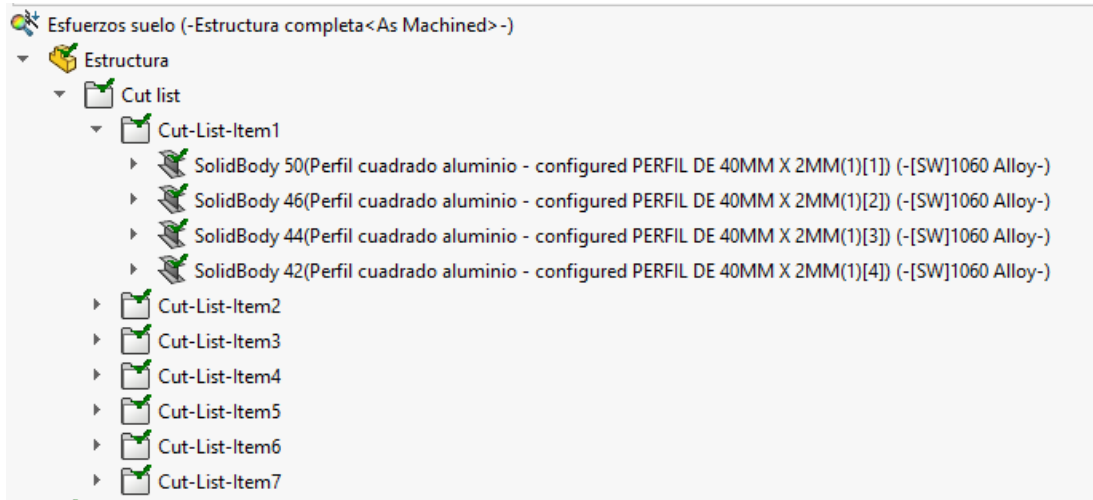
Figura 89. Nodos de unión en la estructura de simulación en SolidWorks.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Posteriormente, se aplicaron los materiales en cada uno de los miembros estructurales que componían la estructura.

Figura 90. Materiales aplicados a miembros estructurales en SolidWorks.

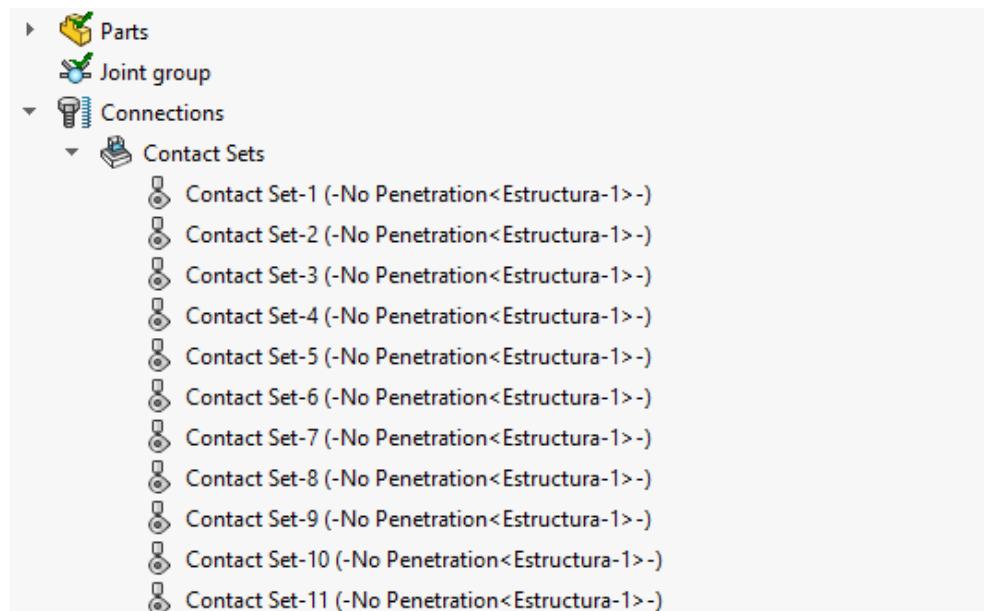


Fuente: (propia del autor, 2022).

Como todos los miembros estructurales eran del mismo perfil, el material fue el mismo para todos, aleación de aluminio 1060, que era la que el fabricante especificaba para estos.

Las conexiones entre los miembros estructurales fueron en contacto sin penetración, ya que estos iban soldados, pero tocándose entre sus diferentes caras en algunas de las zonas ya que estaba compuesto por módulos.

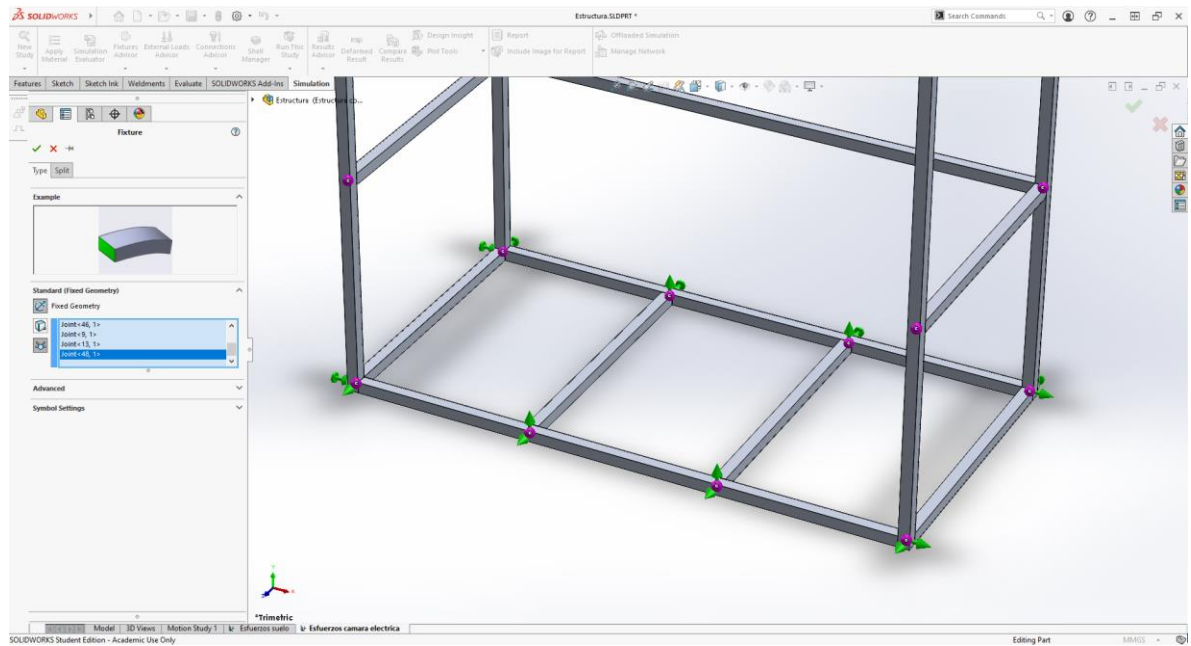
Figura 91. Conjunto de contactos entre miembros en SolidWorks.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Por último, los puntos de apoyos fijos en los cuales se asumía que la estructura estaría soportada para la simulación fueron los puntos de unión de la parte inferior, los cuales unían a los miembros estructurales que soportaban el suelo.

Figura 92. Puntos de apoyo de la estructura para la simulación.



Fuente: (propia del autor, 2022).

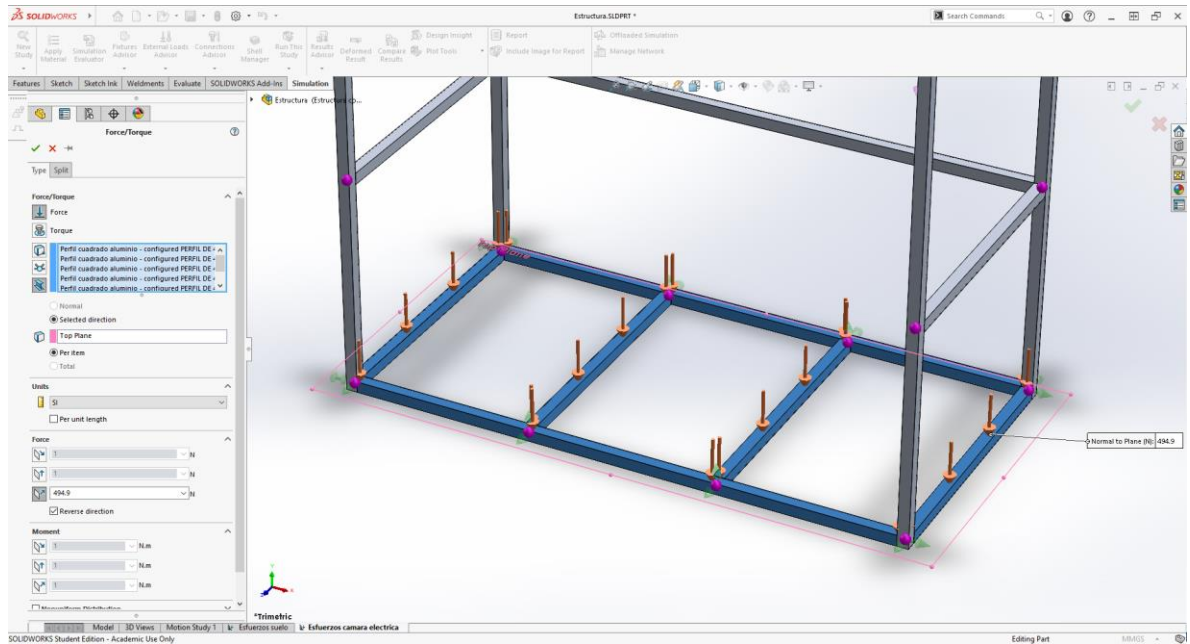
De esta manera, todas las condiciones de contorno estaban listas para el siguiente paso, el cual era aplicar cada una de las tres cargas mencionadas.

CARGA MIEMBROS ESTRUCTURALES DEL SUELO:

Para determinar la carga mecánica externa a aplicar a estos miembros estructurales se tuvo en cuenta que a lo máximo iban a ser cuatro personas las que iban a estar dentro de la cabina ya que cuatro fue la cantidad máxima de dispositivos a conectar simultáneamente, que los hombres pesan más que las mujeres en promedio y los pesos promedio para los hombres colombianos

Así entonces, se encontró que en promedio un hombre puede tener una masa de 75.7 kg , lo que representa 724.36 N aproximadamente. Por lo tanto, el peso máximo a soportar por todos los miembros estructurales fue de 2969.45 N. Este valor se dividió entre el número de elementos y aplicó a la estructura en SolidWorks. Así entonces, se aplicó una fuerza de 494.9 N a cada uno de los seis elementos.

Figura 93. Aplicación de fuerza a los miembros estructurales inferiores.



Fuente: (propia del autor, 2022).

CARGA MIEMBROS ESTRUCTURALES CÁMARA DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS:

Para determinar la carga mecánica externa a aplicar a los miembros estructurales se tuvo en cuenta la masa de cada uno de los elementos eléctricos principales a soportar y las masas de cada una de las seis paredes en madera de pino que estarían conformando la cámara de los elementos eléctricos. La siguiente tabla resume los valores de masas y pesos de cada uno de estos elementos.

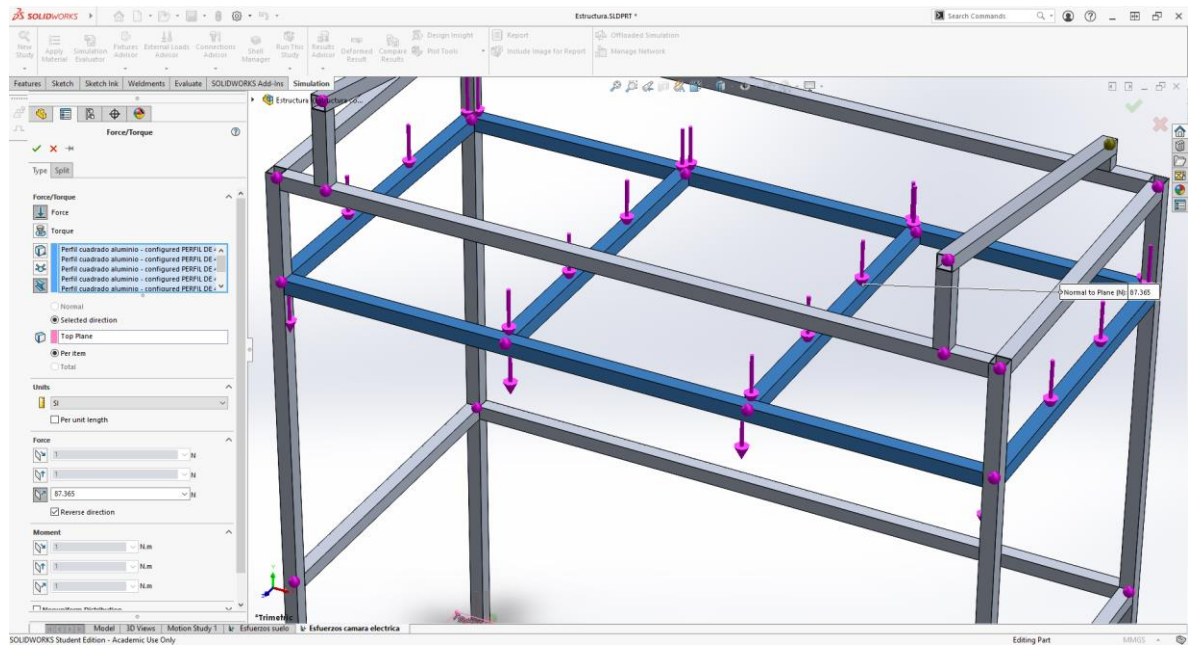
Tabla 27. Masas y pesos elementos cámara sistema eléctrico.

NOMBRE	CANTIDAD	MASA (kg)	PESO (N)	SUBTOTAL (N)
Batería VHR 1296LFP	2.00	11.40	111.80	223.59
Regulador MPPT XTRA 2210N	1.00	0.96	9.41	9.41
Inversor IP350-21	1.00	1.00	9.81	9.81
Pared horizontal cámara sistema eléctrico	2.00	13.10	128.47	256.93
Pared lateral larga cámara sistema eléctrico	2.00	0.85	8.32	16.63
Pared lateral corta cámara sistema eléctrico	2.00	0.40	3.90	7.81
TOTAL				524.19

Fuente: (propia del autor, 2022).

Con estos datos a la mano, se procedió a aplicar cada uno de los pesos en los respectivos miembros estructurales, manteniendo las mismas condiciones de contorno, como se observa en figura siguiente.

Figura 94. Fuerzas en miembros estructurales cámara eléctrica.

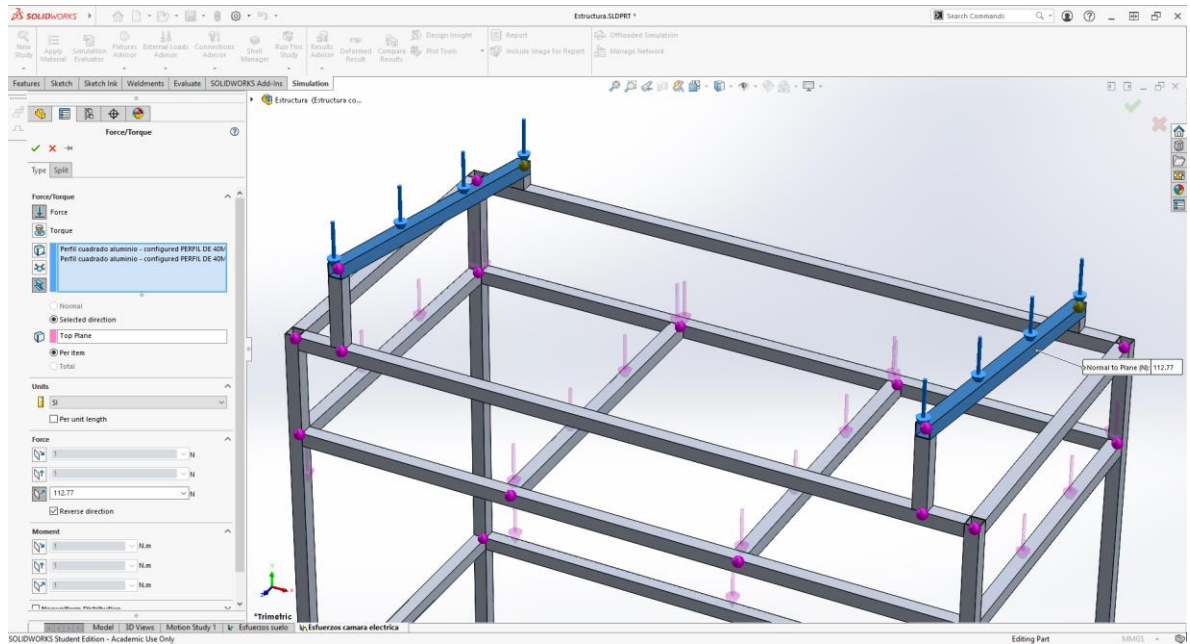


Fuente: (propia del autor, 2022).

CARGA MIEMBROS ESTRUCTURALES SOPORTE DE PANEL SOLAR:

Como lo presentaba el fabricante, el panel solar CSUN 370-72M tenía una masa de aproximadamente 23 kg, lo que significa entonces un peso de 225.55 N. Este valor fue aplicado en el modelo para la simulación sobre los dos miembros estructurales que iban a soportar el panel solar, como se observa en la figura siguiente.

Figura 95. Fuerzas en miembros estructurales soporte de panel solar.



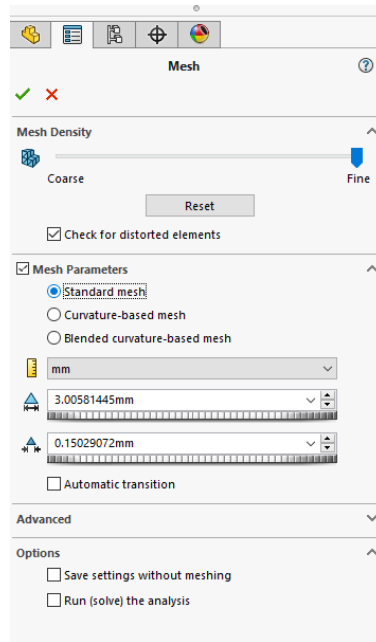
Fuente: (propia del autor, 2022).

Con cada una de las tres grandes cargas externas aplicadas al modelo, hacía falta realizar el mallado de este antes de correr la simulación mecánica.

MALLADO DEL MODELO:

Con el modelo listo, se procedió a determinar el tipo de malla y el refinamiento de esta. Se seleccionó una malla estándar con una calidad máxima de refinamiento ya que este modelo comprende solamente elementos de la misma forma geométrica (perfil metálico) y no llevaría a gastar recursos de tiempo y máquina para correr la simulación.

Figura 96. Parámetros de mallado en SolidWorks.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Se encontró entonces que la malla realizada por SolidWorks sobre el modelo fue mixta, debido a que dos de los miembros estructurales los trató como sólidos y no como vigas. También se encontró que tuvo un total de 44 784 elementos y 81 148 nodos para analizar.

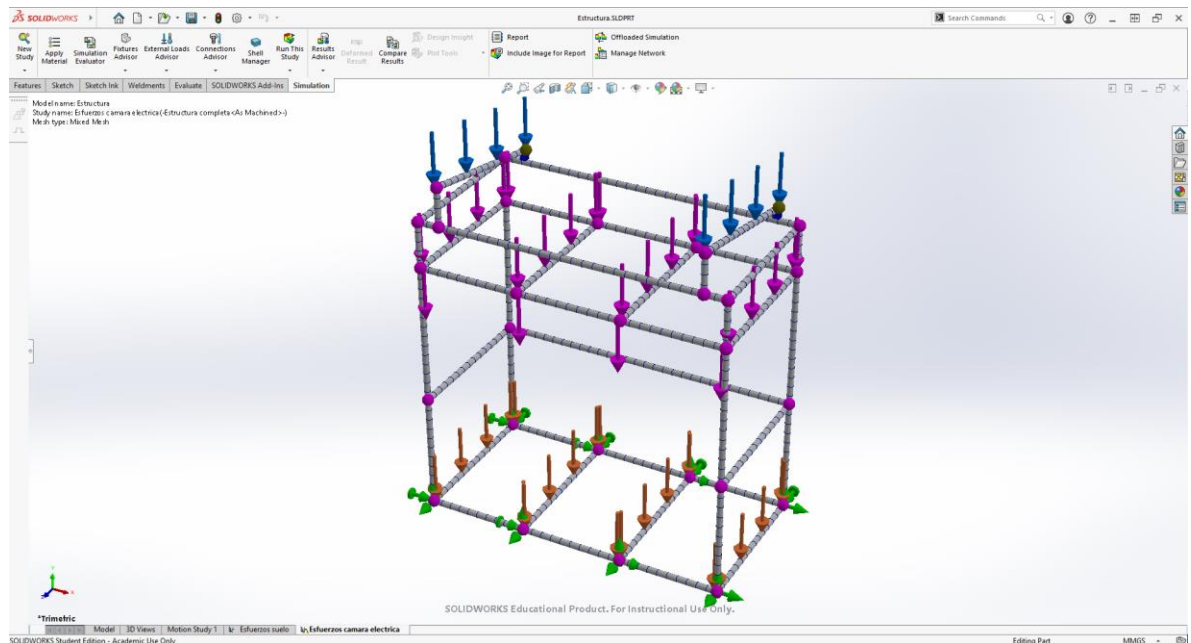
Figura 97. Detalles de la malla hecha sobre la estructura.

Mesh Details	
Study name	Esfuerzos camara electrica [-Estructura completa<As Machined>-]
Mesh type	Mixed Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points for High quality mesh	16 points
Jacobian check for shell	On
Element size	3.00581 mm
Tolerance	0.150291 mm
Mesh quality	High
Total nodes	81148
Total elements	44784
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:20
Computer name	

Fuente: (propia del autor, 2022).

La imagen de la siguiente figura muestra el resultado de la estructura con el respectivo mallado realizado.

Figura 98. Estructura mallada en SolidWorks.



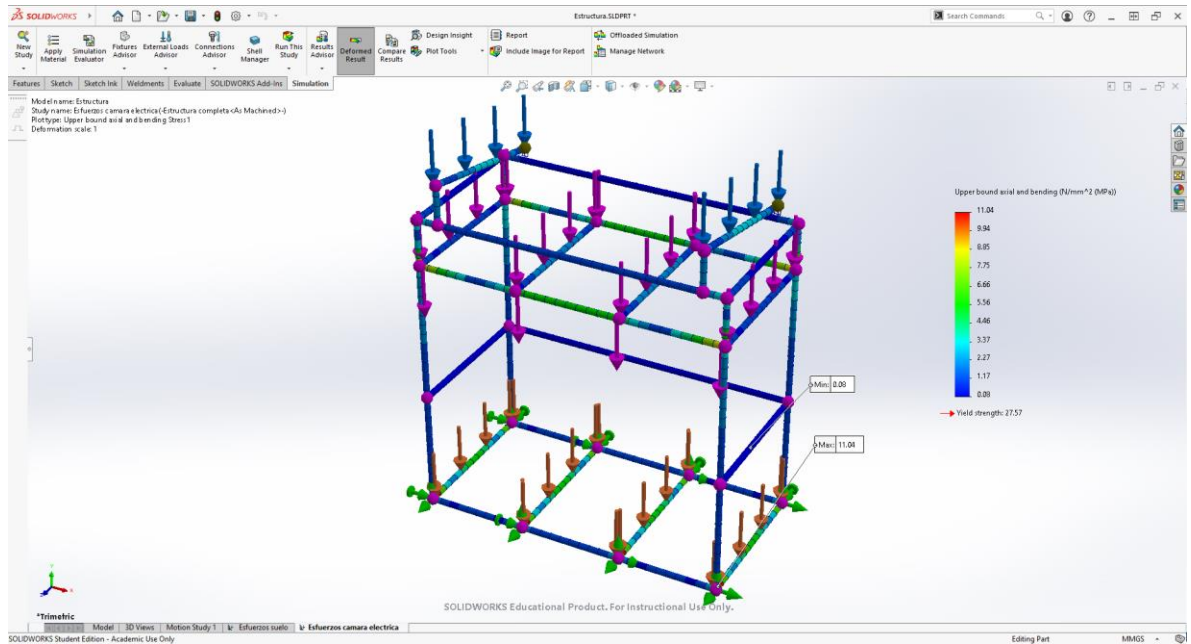
Fuente: (propia del autor, 2022).

De esta manera, todo estaba listo para correr la simulación en el software.

SIMULACIÓN:

Luego de esperar el tiempo necesario durante el cual se llevó a cabo la ejecución de todos los cálculos que SolidWorks realizó por medio del método análisis de elementos finitos, se analizaron cuatro características del modelo: esfuerzos de deformación, desplazamientos, deformación unitaria y factor de seguridad.

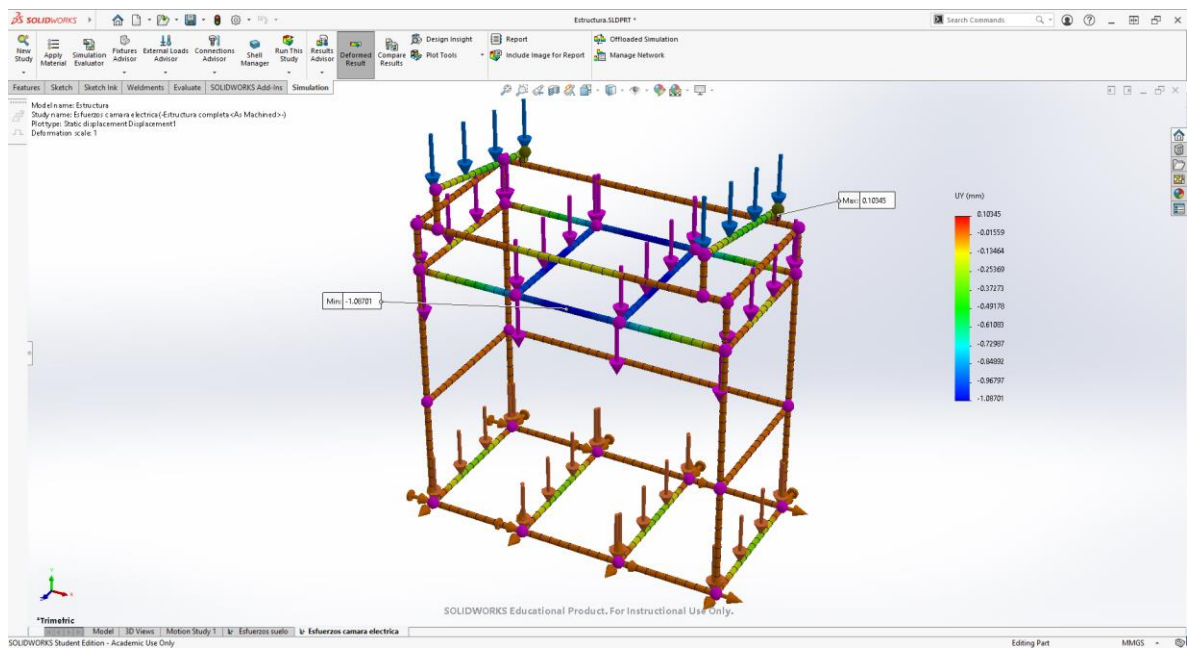
Figura 99. Resultados de simulación de esfuerzos en la estructura.



Fuente: (propia del autor, 2022).

La figura anterior muestra los resultados de los esfuerzos en toda la estructura. Es de notar que el esfuerzo máximo fue de 11.04 Mega Pascales, un valor menor al de 27.57 Mpa que tiene el material aluminio 1060.

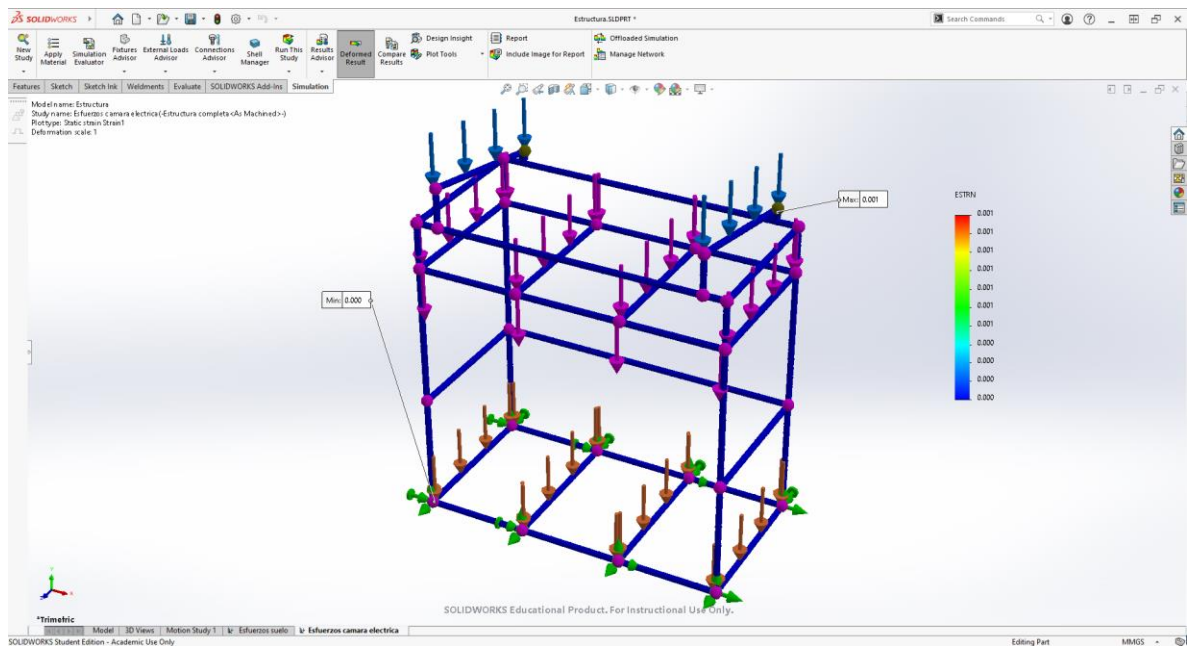
Figura 100. Resultados de simulación de desplazamiento en la estructura.



Fuente: (propia del autor, 2022).

En cuanto a desplazamientos, se puede notar que el máximo ocurrió en la parte superior de la estructura en la dirección y negativa, con una magnitud de 1 mm aproximadamente. Este valor aseguró que la estructura no perdería su forma geométrica y no afectaría por ende su integridad tanto a nivel de seguridad como de construcción.

Figura 101. Resultados de simulación de deformación unitaria estructural.



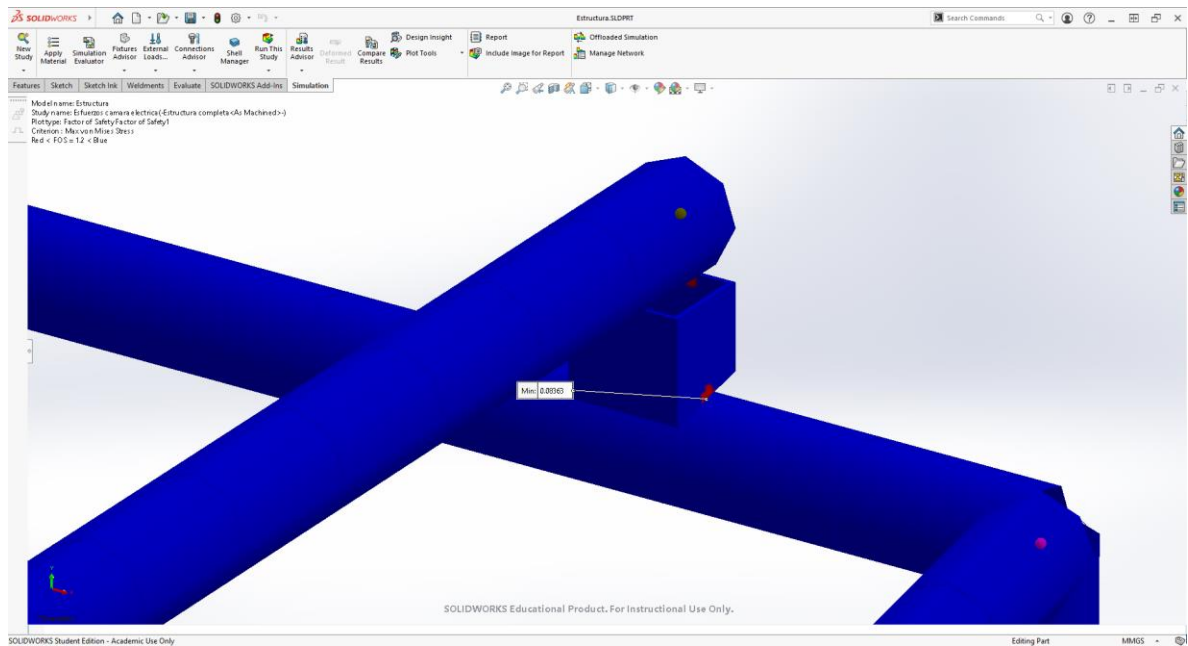
Fuente: (propia del autor, 2022).

En lo que refirió a la deformación unitaria de cada uno de los miembros estructurales, se encontró que la máxima fue del 0.10 %, un valor mínimo que asegura que los elementos soportan de manera correcta la tensión y la compresión consecuencia de las cargas externas aplicadas a ellos.

Por último, los resultados de factor de seguridad que mostró SolidWorks fueron buenos en casi todas las piezas excepto en dos de los miembros estructurales que soportaban el panel solar. Esto pudo deberse a que como SolidWorks no tomó estas piezas como miembros estructurales para la simulación sino como modelos sólidos los cuales dividió en elementos finitos, ocasionó que entendiera que estos no estaban soldados al miembro estructural horizontal a los que iban unidos, por lo tanto hizo que estas piezas fueran simuladas como unas que estaban sometidas a una compresión hecha por parte de la carga del panel solar y el miembro estructural horizontal.

A pesar de esto, se determinó que no habría que reforzar ni modificar el diseño de estos elementos de la estructura. Aun así, se tuvieron en cuenta al momento de la implementación y la operación para confirmar la decisión tomada.

Figura 102. Resultados de simulación de factor de seguridad en estructura.



Fuente: (propia del autor, 2022).

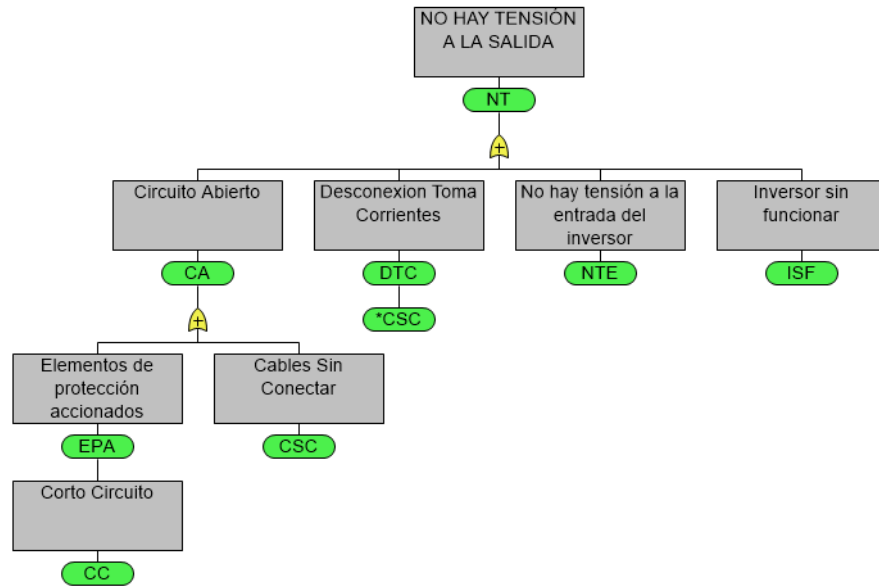
De esta manera y con base a los resultados analizados anteriormente, se confirmó que el diseño mecánico de la estación de carga estaba listo para seguir siendo desarrollado, pasando a las etapas de fabricación y construcción. Los planos de fabricación y construcción se encuentran en los anexos del presente documento.

7.2.6 Árboles de fallas

Tanto para la parte eléctrica como para la parte mecánica se desarrollaron varios árboles de análisis de fallas, los cuales proporcionarán una ayuda bastante ágil al momento de determinar qué puede estar fallando y entorpeciendo la operación de la estación de carga.

A continuación, se presentan cada uno de los árboles de fallas de la parte eléctrica:

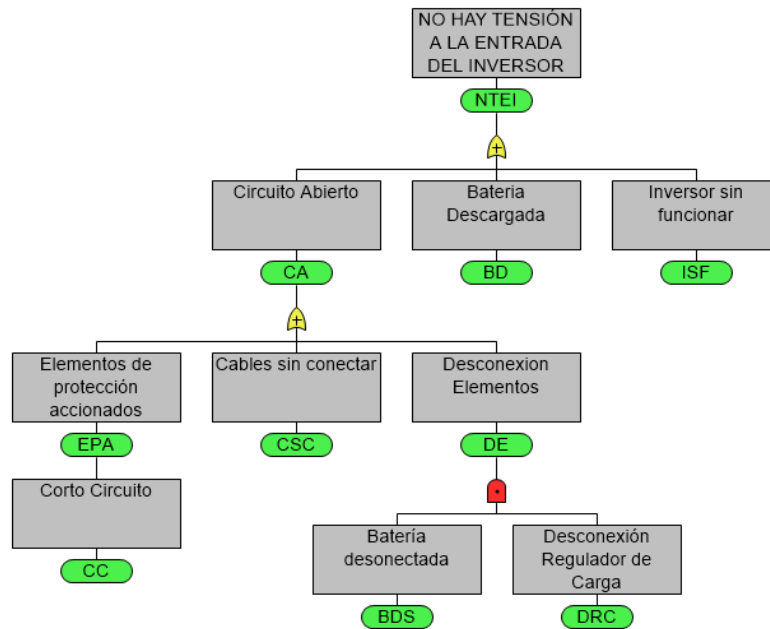
Figura 103. Árbol de Fallas No 1 – Eléctrico.



Fuente: (propia del autor, 2022).

El árbol de fallas anterior trata sobre el posible problema de que no haya tensión disponible para los dispositivos a cargar en la estación.

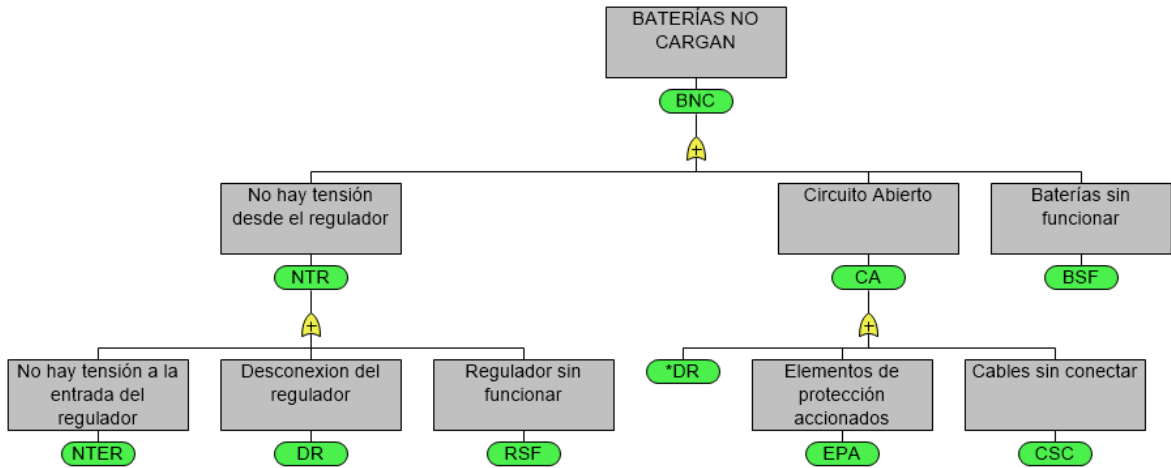
Figura 104. Árbol de Fallas No 2 – Eléctrico.



Fuente: (propia del autor, 2022).

El árbol de fallas anterior trata acerca del problema de que no exista tensión en el puerto de entrada del inversor, el cual es una posible causa del problema de que no haya tensión a la salida de este.

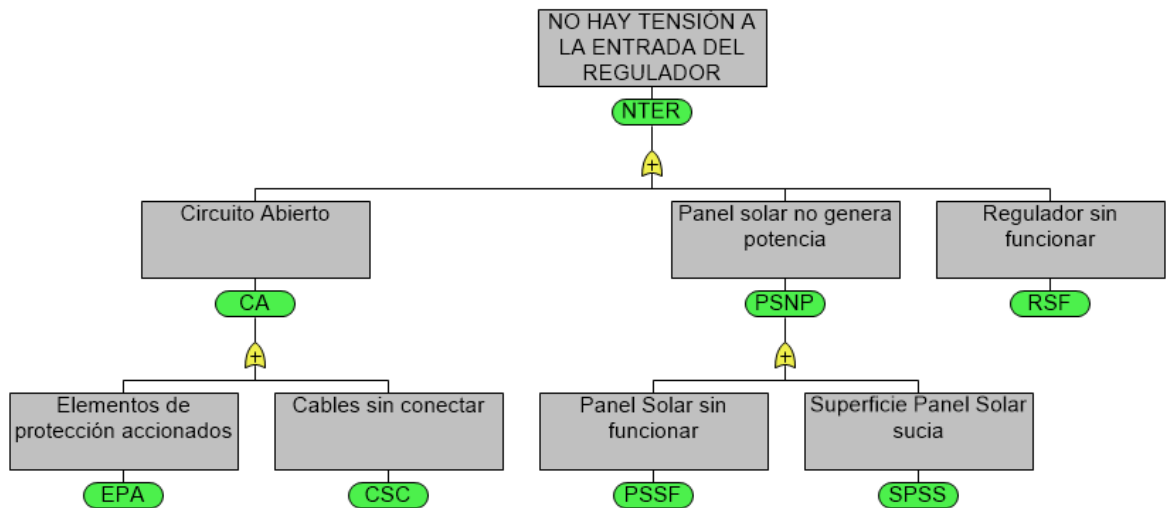
Figura 105. Árbol de Fallas No 3 – Eléctrico.



Fuente: (propia del autor, 2022).

El árbol de fallas anterior sirve para detectar los problemas por los cuales las baterías no puedan ser cargadas, lo cual a su vez es un problema para que el inversor no tenga tensión a su entrada.

Figura 106. Árbol de Fallas No 4 – Eléctrico.

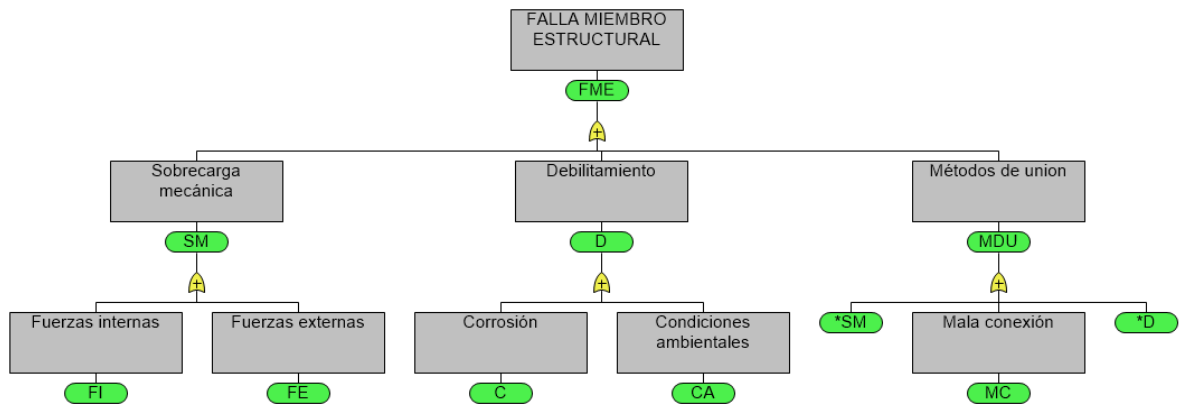


Fuente: (propia del autor, 2022).

El árbol de fallas anterior trata acerca de las fallas que pueden hacer que en el puerto de entrada del regulador de carga no haya tensión disponible, que a su vez es una causa de que las baterías no puedan ser cargadas.

A continuación, se presentan el árbol de fallas de la parte mecánica:

Figura 107. Árbol de Fallas No 4 – Mecánico.



Fuente: (propia del autor, 2022).

El árbol de fallas anterior permite analizar cuáles son las posibles causas por las que pueda fallar la estructura de la estación de carga. Ya que es una estructura estática y no se compone más que por sus miembros estructurales y por las piezas de espesor constante, este gráfico único para la parte mecánica contiene todas sus posibles causas de falla.

8. IMPLEMENTACIÓN

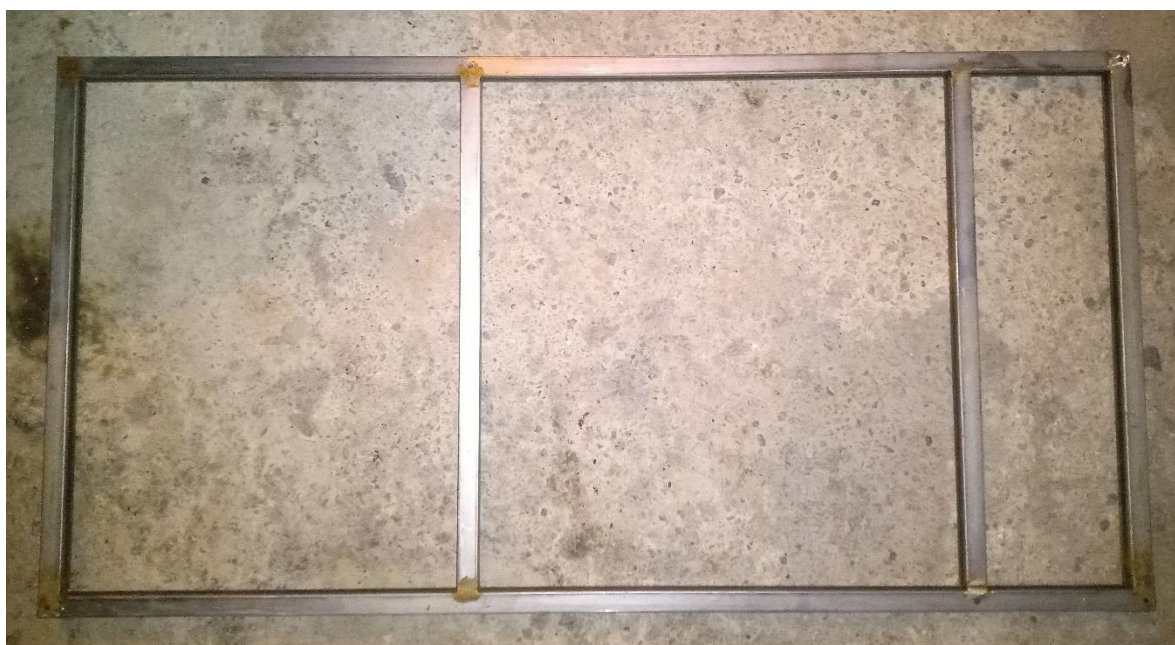
Con ayuda de los esquemáticos correspondientes a las partes mecánica y eléctrica provenientes de los diseños hechos, se realizó la fabricación de las partes necesarias y la construcción total de la estación de carga.

7.3 FABRICACIÓN

ESTRUCTURA:

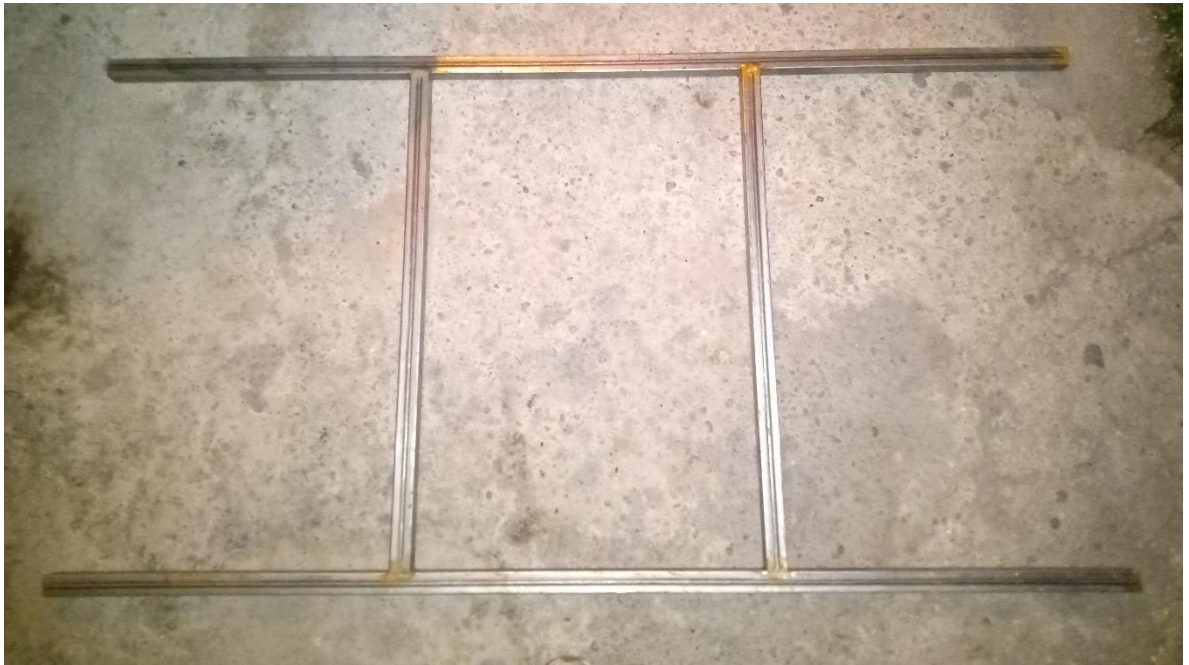
El sistema mecánico inició su fabricación con cada uno de los cuatro módulos que componían a la estructura. Las siguientes figuras muestran cada módulo recién finalizado su proceso de fabricación, habiendo llevado a cabo procesos de corte, unión por soldadura fuerte con gas inerte de tungsteno (TIG) y pulido en las uniones entre piezas.

Figura 108. Fotografía Módulo A de la estructura.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Figura 109. Fotografía Módulo B de la estructura.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Figura 110. Fotografía Módulo C de la estructura.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Figura 111. Fotografía Módulo D de la estructura.



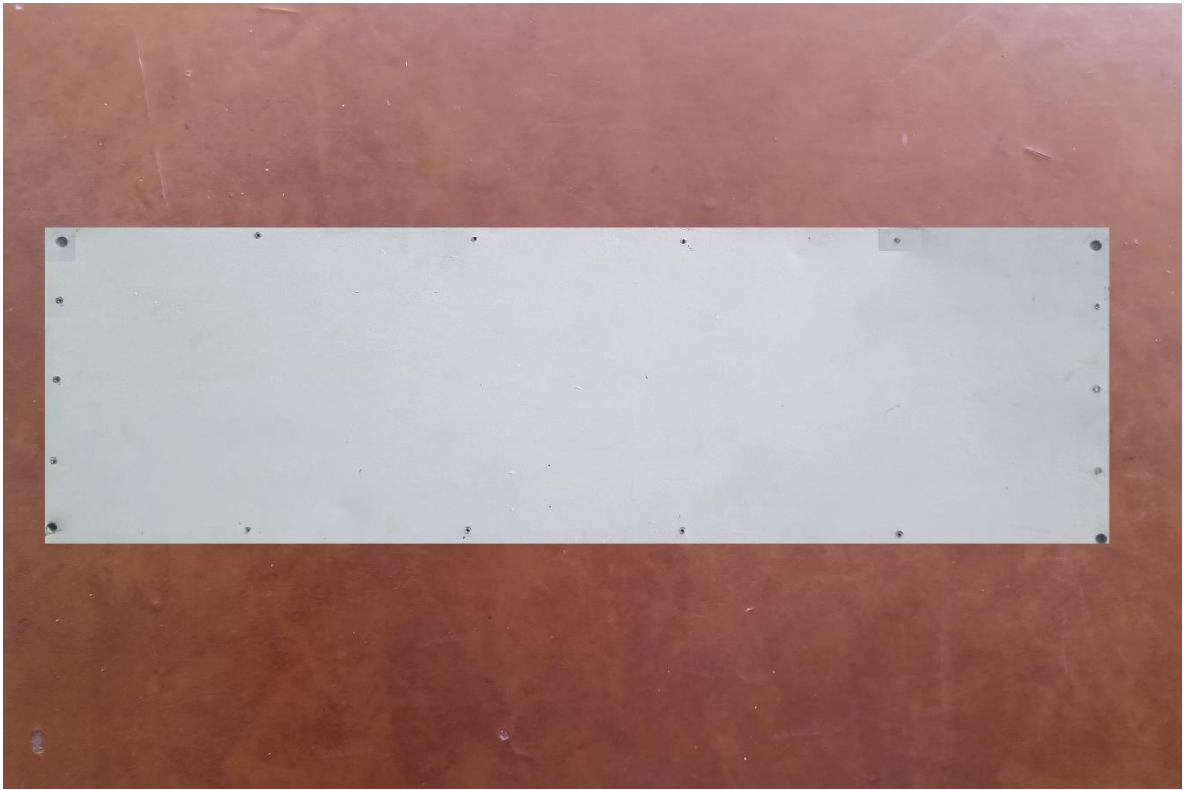
Fuente: (propia del autor, 2022).

De esta manera, se fabricaron dos módulos A, dos módulos B, un módulo C y un módulo D para completar lo que sería toda la estructura de la estación de carga. Luego de haberse fabricado, se procedió a aplicar pintura para mejorar su apariencia.

PIEZAS DE ESPESOR CONSTANTE:

Posteriormente se fabricaron las piezas de la cámara del sistema eléctrico y la mesa de trabajo. A continuación se presentan imágenes de algunos de los elementos que fueron catalogados como piezas de espesor constante fabricados.

Figura 112. Pared lateral corta cámara sistema eléctrico.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Así como se muestra en la imagen anterior y habiendo seguido los planos de fabricación mecánicos, se manufacturaron las demás paredes del sistema eléctrico.

Figura 113. Mesa de trabajo.



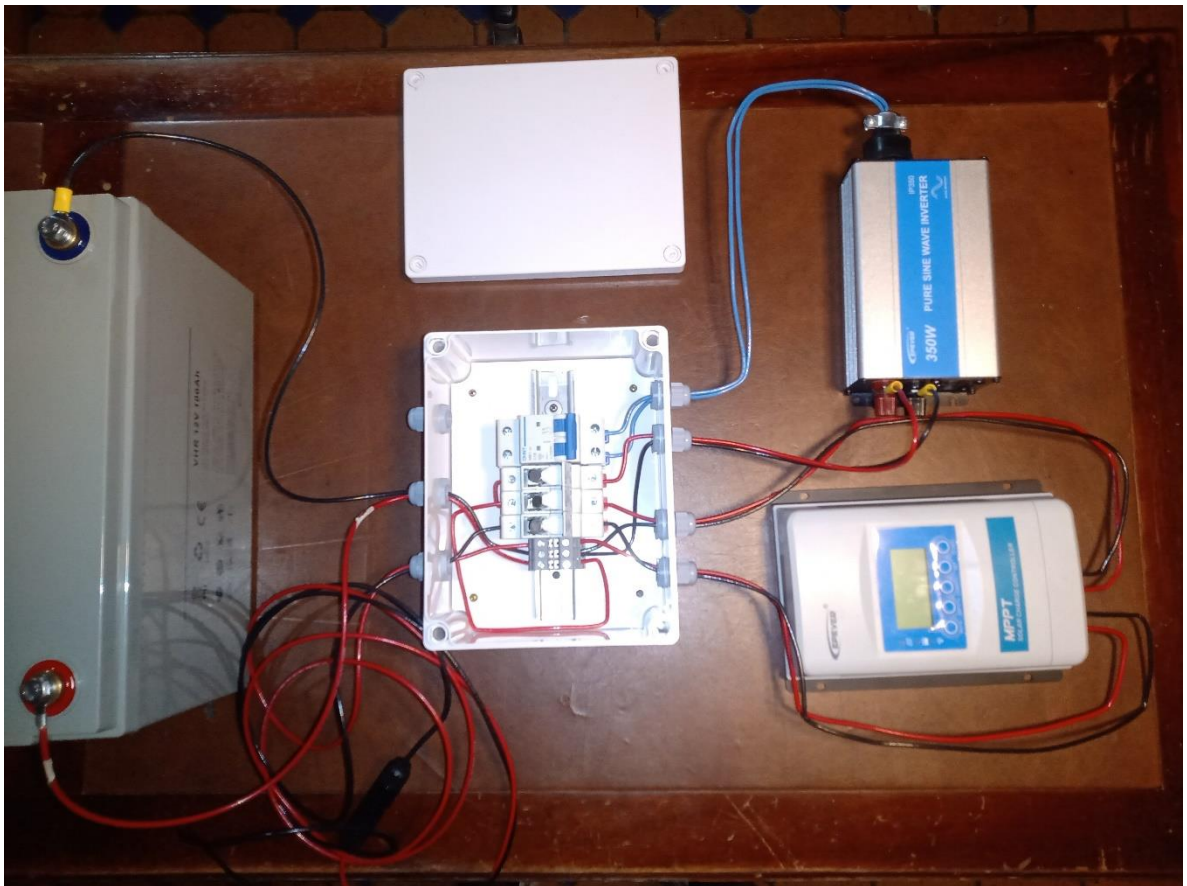
Fuente: (propia del autor, 2022).

Por último, se fabricó la mesa de trabajo que serviría para disponer los dispositivos electrónicos para cargarse mientras se trabajaba con ellos.

7.4 PUESTA EN OPERACIÓN

Antes de poner en operación la estación de carga en el centro poblado La Balsa, se realizaron algunos ensayos previos en donde se buscó poner a prueba el panel solar y el regulador de carga para enviar energía a una de las baterías del sistema eléctrico. Se escogió una sola para evitar desaprovechar la descarga de la otra en aplicaciones que no fueran para los elementos de los habitantes del centro poblado, ya que la cantidad de ciclos de carga/descarga a largo plazo es crítico.

Figura 114. Circuito de prueba para carga de una batería.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Así entonces, se puso una de las dos baterías a descargarse previamente y luego esta se aprovechó para poner a cargarse mientras el regulador de carga estaba haciendo su trabajo con la energía que le llegaba desde el panel solar.

Posteriormente se ensambló la estación de carga parcialmente para permitir un correcto funcionamiento del panel solar y a este se le conectaron los demás elementos del sistema eléctrico para realizar la prueba.

Figura 115. Estación de carga en modo prueba.



Fuente: (propia del autor, 2022).

Con el montaje realizado se puso en funcionamiento el sistema fotovoltaico completamente, en donde se encontró satisfactoriamente que todos los elementos funcionaron correctamente y dentro de las especificaciones que los fabricantes especificaron.

7.5 ENSAMBLE FINAL

En la siguiente imagen se puede observar el prototipo de la estación de carga finalizado, totalmente ensamblado y listo para trabajar en el centro poblado La Balsa. En los anexos de Manual de Usuario y Planos de fabricación se encuentra todo el proceso de ensamblado para llevar a cabo con el prototipo.

Figura 116. Estación de carga ensamblada.



Fuente: (propia del autor, 2022).

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de evaluar el propósito de la estación de carga, el cual fue desarrollar una solución que permitiera a los usuarios del centro poblado La Balsa aprovechar la energía eléctrica producida, se evaluó en primera instancia el funcionamiento y posteriormente su rendimiento. Para llevar a cabo la evaluación, se tomó un tiempo de 10 días para probar el funcionamiento de la estación (primeros seis días), probar el funcionamiento del banco de baterías en modo fuente primaria de energía (séptimo día) y por último probar el rendimiento de la estación (últimos tres días).

La primera evaluación se llevó a cabo los primeros tres días, en donde se dispuso tres veces en cada jornada disponer a cargar los dispositivos de máximo consumo que se encontraron, pero sin hacer uso de estos simultáneamente.

Tabla 28. Resultados funcionamiento en los días 1 a 3.

DÍA	PRUEBA	VARIABLE	UNIDAD	DISPOSITIVO			
				1	2	3	4
1	1	TENSIÓN	V	110			
		CORRIENTE	A	0.40	0.37	0.39	0.38
		TIEMPO	h	1.98	2.10	1.80	2.50
		POTENCIA INICIAL	W	44.0	41.0	43.0	42.0
		POTENCIA FINAL		10.0	15.0	12.0	15.0
		CARGA INICIAL BATERÍAS	%	100.0			
		CARGA FINAL BATERÍAS		97.8			
		2	TENSIÓN	V	110		
	CORRIENTE		A	0.41	0.37	0.40	0.41
	TIEMPO		h	2.05	2.00	1.90	1.98
	POTENCIA INICIAL		W	45.0	41.0	44.0	45.0
	POTENCIA FINAL			11.0	16.0	11.0	14.0
	CARGA INICIAL BATERÍAS		%	100.0			
	CARGA FINAL BATERÍAS			100.0			
	3		TENSIÓN	V	110		
		CORRIENTE	A	0.40	0.36	0.41	0.41
		TIEMPO	h	2.00	1.99	2.30	2.20
		POTENCIA INICIAL	W	44.0	40.0	45.0	45.0
		POTENCIA FINAL		11.0	12.0	15.0	16.0
		CARGA INICIAL BATERÍAS	%	100.0			
		CARGA FINAL BATERÍAS		96.1			

DÍA	PRUEBA	VARIABLE	UNIDAD	DISPOSITIVO				
				1	2	3	4	
2	1	TENSIÓN	V	110				
		CORRIENTE	A	0.41	0.39	0.41	0.40	
		TIEMPO	h	2.00	1.90	2.10	2.40	
		POTENCIA INICIAL	W	45.0	43.0	45.0	44.0	
		POTENCIA FINAL		11.0	16.0	12.0	15.0	
		CARGA INICIAL BATERÍAS	%	96.1				
		CARGA FINAL BATERÍAS		92.5				
		2	2	TENSIÓN	V	110		
	CORRIENTE			A	0.40	0.41	0.41	0.39
	TIEMPO			h	2.10	2.10	2.00	1.95
	POTENCIA INICIAL			W	44.0	45.0	45.0	43.0
	POTENCIA FINAL				12.0	15.0	11.0	15.0
	CARGA INICIAL BATERÍAS			%	100.0			
	CARGA FINAL BATERÍAS				100.0			
	3			3	TENSIÓN	V	110	
		CORRIENTE	A		0.41	0.38	0.39	0.41
		TIEMPO	h		2.00	2.00	2.30	2.10
		POTENCIA INICIAL	W		45.0	42.0	43.0	45.0
		POTENCIA FINAL			12.0	14.0	13.0	15.0
		CARGA INICIAL BATERÍAS	%		100.0			
		CARGA FINAL BATERÍAS			95.8			

DÍA	PRUEBA	VARIABLE	UNIDAD	DISPOSITIVO			
				1	2	3	4
3	1	TENSIÓN	V	110			
		CORRIENTE	A	0.40	0.37	0.39	0.38
		TIEMPO	h	1.98	2.10	1.80	2.50
		POTENCIA INICIAL	W	44.0	41.0	43.0	42.0
		POTENCIA FINAL		10.0	15.0	12.0	15.0
		CARGA INICIAL BATERÍAS	%	95.8			
		CARGA FINAL BATERÍAS		93.2			
		2	TENSIÓN	V	110		
	CORRIENTE		A	0.40	0.38	0.41	0.39
	TIEMPO		h	1.80	2.00	1.90	2.30
	POTENCIA INICIAL		W	44.0	42.0	45.0	43.0
	POTENCIA FINAL			12.0	14.0	13.0	12.0
	CARGA INICIAL BATERÍAS		%	100.0			
	CARGA FINAL BATERÍAS			100.0			
	3		TENSIÓN	V	110		
		CORRIENTE	A	0.41	0.41	0.39	0.40
		TIEMPO	h	2.30	2.10	1.98	2.00
		POTENCIA INICIAL	W	45.0	45.0	43.0	44.0
		POTENCIA FINAL		13.0	12.0	10.0	11.0
		CARGA INICIAL BATERÍAS	%	100.0			
		CARGA FINAL BATERÍAS		95.5			

Fuente: (propia del autor, 2023).

Las tres pruebas diarias llevadas a cabo se realizaron en los dos horarios pico de mayor demanda energética que se mostraron en la figura 29 y al medio día, es decir la primera prueba a las 7 A.M., la segunda a las 12 M., y la tercera a las 5 P.M.

En los resultados mostrados en la tabla anterior se observa que

- En los lapsos de las horas de mayor demanda energética el consumo de energía desde las baterías es evidente, las cuales terminaron con un promedio de carga de 95.15% durante los tres días. Esto se debió y se debe a que en estos horarios la irradiación solar no es lo suficientemente alta como para que el panel solar suministre toda la energía, por lo que las baterías lo apoyan.
- En los lapsos de medio día la carga de las baterías se mantuvo constante en su valor máximo del 100%, lo que significa que toda la energía hacia los dispositivos la suministró el panel solar. Esto se debió y se debe a que en este horario la irradiación solar es máxima y el panel solar genera su máxima potencia posible (350W en este caso).

- En las horas en las que no hubo consumo energético las baterías se volvieron a cargar completamente, lo que indica que a pesar de que entregó energía en procesos de carga de dispositivos anteriormente, esa energía se logró recuperar totalmente. Esto se debió a que la irradiación solar que llegó al panel solar fue al menos mayor que el 5% de la capacidad del banco de baterías para ser convertida en energía eléctrica.
- Al final de cada jornada se tuvo un estado de carga de las baterías en promedio de 95.8%. Esto sucedió a causa de que, como se explicó anteriormente, al final de la jornada la luz solar va disminuyendo conforme el sol se pone. Este valor de descarga es aceptable ya que es menor al 5% y no representaría una gran cantidad en caso de una falla y toda la energía la tuviera que suministrar el banco de baterías.

Posteriormente, la segunda evaluación se llevó a cabo los días 4 a 6, en donde se dispuso tres veces al día poner a cargar los dispositivos de máximo consumo que se encontraron, esta vez haciendo uso de estos simultáneamente.

Tabla 29. Resultados funcionamiento en los días 1 a 3.

DÍA	PRUEBA	VARIABLE	UNIDAD	DISPOSITIVO			
				1	2	3	4
4	1	TENSIÓN	V	110			
		CORRIENTE	A	0.41	0.40	0.39	0.40
		TIEMPO	h	2.10	2.30	2.10	2.30
		POTENCIA INICIAL	W	45.0	44.0	43.0	44.0
		POTENCIA FINAL		30.0	28.0	31.0	30.0
		CARGA INICIAL BATERÍAS	%	100.0			
		CARGA FINAL BATERÍAS		95.7			
	2	TENSIÓN	V	110			
		CORRIENTE	A	0.41	0.39	0.41	0.41
		TIEMPO	h	2.00	1.98	2.05	2.10
		POTENCIA INICIAL	W	45.0	43.0	45.0	45.0
		POTENCIA FINAL		31.0	30.0	30.0	32.0
		CARGA INICIAL BATERÍAS	%	100.0			
		CARGA FINAL BATERÍAS		100.0			
	3	TENSIÓN	V	110			
		CORRIENTE	A	0.41	0.40	0.39	0.38
		TIEMPO	h	2.00	2.10	2.00	2.50
		POTENCIA INICIAL	W	45.0	44.0	43.0	42.0
		POTENCIA FINAL		30.0	28.0	35.0	30.0
		CARGA INICIAL BATERÍAS	%	100.0			
		CARGA FINAL BATERÍAS		93.1			

DÍA	PRUEBA	VARIABLE	UNIDAD	DISPOSITIVO			
				1	2	3	4
5	1	TENSIÓN	V	110			
		CORRIENTE	A	0.41	0.41	0.40	0.41
		TIEMPO	h	2.50	2.40	2.20	2.10
		POTENCIA INICIAL	W	45.0	45.0	44.0	45.0
		POTENCIA FINAL		31.0	30.0	30.0	29.0
		CARGA INICIAL BATERÍAS	%	93.1			
		CARGA FINAL BATERÍAS		89.4			
		2	TENSIÓN	V	110		
	CORRIENTE		A	0.41	0.39	0.41	0.41
	TIEMPO		h	2.10	2.30	2.50	2.20
	POTENCIA INICIAL		W	45.0	43.0	45.0	45.0
	POTENCIA FINAL			31.0	28.0	29.0	32.0
	CARGA INICIAL BATERÍAS		%	100.0			
	CARGA FINAL BATERÍAS			100.0			
	3		TENSIÓN	V	110		
		CORRIENTE	A	0.41	0.40	0.39	0.38
		TIEMPO	h	2.00	2.10	2.00	2.50
		POTENCIA INICIAL	W	45.0	44.0	43.0	42.0
		POTENCIA FINAL		30.0	28.0	35.0	30.0
		CARGA INICIAL BATERÍAS	%	100.0			
		CARGA FINAL BATERÍAS		94.1			

DÍA	PRUEBA	VARIABLE	UNIDAD	DISPOSITIVO			
				1	2	3	4
6	1	TENSIÓN	V	110			
		CORRIENTE	A	0.41	0.41	0.40	0.39
		TIEMPO	h	2.20	2.21	2.35	2.40
		POTENCIA INICIAL	W	45.0	45.0	44.0	43.0
		POTENCIA FINAL		31.0	29.0	30.0	29.0
		CARGA INICIAL BATERÍAS	%	94.1			
		CARGA FINAL BATERÍAS		90.8			
	2	TENSIÓN	V	110			
		CORRIENTE	A	0.41	0.41	0.40	0.38
		TIEMPO	h	2.10	2.50	2.30	2.00
		POTENCIA INICIAL	W	45.0	45.0	44.0	42.0
		POTENCIA FINAL		33.0	32.0	29.0	30.0
		CARGA INICIAL BATERÍAS	%	100.0			
		CARGA FINAL BATERÍAS		100.0			
	3	TENSIÓN	V	110			
		CORRIENTE	A	0.41	0.41	0.39	0.40
		TIEMPO	h	2.50	2.40	2.10	2.40
		POTENCIA INICIAL	W	45.0	45.0	43.0	44.0
		POTENCIA FINAL		29.0	31.0	35.0	33.0
		CARGA INICIAL BATERÍAS	%	100.0			
		CARGA FINAL BATERÍAS		92.6			

Fuente: (propia del autor, 2023).

Las tres pruebas diarias llevadas a cabo se realizaron en los dos horarios pico de mayor demanda energética que se mostró en la figura 29 y al medio día, es decir la primera prueba a las 7 A.M., la segunda a las 12 M. y la tercera a las 5 P.M.

En los resultados mostrados en la tabla anterior se observa que

- En los lapsos de mayor demanda energética diaria el promedio de carga de las baterías fue de 92.66%, aproximadamente 2.5 puntos porcentuales por debajo de las pruebas de los tres primeros días. Esto se debió a que la energía de más entregada esta vez fue a causa de que al tiempo de que se cargaban los dispositivos estos se estaban utilizando.
- En los lapsos de medio día la carga de las baterías se mantuvo constante en su valor máximo del 100%, lo que significa que toda la energía hacía los dispositivos la suministró el panel solar. Esto se debió y se debe a que en

este horario la irradiación solar es máxima y el panel solar genera su máxima potencia posible (350W en este caso).

- En las horas en las que no hubo consumo energético la batería se volvió a cargar completamente, lo que indica que a pesar de que entregó energía en procesos de carga de dispositivos anteriormente, esa energía se logró recuperar totalmente. Esto se debió a que la irradiación solar que llegó al panel solar fue al menos mayor que el 7% de la capacidad del banco de baterías para ser convertida en energía eléctrica y llegar hasta la batería.
- Al final de cada jornada se tuvo un estado de carga de la batería en promedio de 92.27%, nuevamente 2.5 puntos porcentuales por debajo que los tres primeros días. Este valor de descarga podría afectar mínimamente, pero es aceptable ya que es menor al 10% y no representaría una gran cantidad en caso de una falla y toda la energía la tuviera que suministrar el banco de baterías.

Con esa evaluación finalizada, se determinó que el funcionamiento de la estación de carga es óptimo, ya que cuando se le conectan simultáneamente los cuatro dispositivos que más potencia consumen para ser cargados y utilizados al tiempo responde correctamente suministrando la energía suficiente y sin presentar errores ni desbalances energéticos en las baterías. Con lo cual se puede decir que los demás dispositivos de electrónica de consumo de los habitantes se podrían conectar y ser cargados sin problema ya que serían de menor consumo y potencia.

Para la segunda prueba de funcionamiento, se dispuso a la estación de carga a trabajar manteniendo el panel solar desconectado del sistema eléctrico para que esta trabajara solo con la energía de las baterías, la cual fue con la que terminó almacenada el día número seis. Por lo tanto, el día número siete de pruebas se supuso que había alguna falla que no permitía que a las baterías les llegara energía y que esta fuera la fuente principal de energización para así probar su día de autonomía, propuesto en la sección de diseño eléctrico.

Tabla 30. Resultados día de autonomía banco de baterías.

ESTADO DE CARGA INICIAL (%)	TENSIÓN INICIAL (V)	ESTADO DE CARGA FINAL (%)	TENSIÓN FINAL (V)
92.6	14.13	38.5	12.19

Fuente: (propia del autor, 2023)

Para este caso se dispuso la estación de carga a ser utilizada por los habitantes de manera libre, por lo que a lo largo del día se cargaron diversos dispositivos electrónicos de cualquier tipo con la confianza de que no habría problema como se mostró anteriormente. Se observa en la tabla 30 que el estado de carga de la batería al final de la jornada de día de autonomía fue de 38.5%, 1.5 puntos porcentuales por debajo del valor que se propuso con un 60% de profundidad de descarga. Además, se observa que las baterías se descargaron desde un estado de carga de

casi el 93%, lo cual indica que el consumo energético encontrado fue el mismo que el esperado.

Así entonces, se determinó que el funcionamiento de la estación de carga en el momento en el que ocurra una falla en el sistema eléctrico que no permita llegar energía desde el panel solar es correcto y que es confiable en que pueda suministrar la suficiente energía mientras se soluciona el presunto problema.

Para la última prueba de funcionamiento, durante los días 8, 9 y 10 se realizó la prueba de rendimiento de la estación de carga. En este caso, lo que se hizo fue disponerla a funcionar de manera libre para los habitantes durante estos días y tomar los datos de estado de carga (EDC) de las baterías al inicio, al final de la jornada y durante esta. Lo que se buscó con esta prueba fue evaluar que el panel solar fuera la fuente primaria de energía durante cada jornada.

Tabla 31. Resultados evaluación de rendimiento.

DÍA	EDC INICIAL (%)	EDC 12 M. (%)	EDC FINAL (%)	RENDIMIENTO (%)
8	38.50	60.00	85.00	237.43
9	85.00	100.00	93.40	109.88
10	93.40	100.00	94.50	101.18

Fuente: (propia del autor, 2023).

Los lapsos de las jornadas durante los cuales se realizó la evaluación iban de 6 A.M., hasta las 6 P.M., que es el mismo durante el cual los valores de irradiación solar empiezan y terminan de ser significativos para generación de energía eléctrica.

Se observa en la tabla 31 que en el primer día de evaluación el EDC inicial del banco de baterías fue el mismo que con el que terminó en el día de evaluación de autonomía. Esto permitió comprobar que la energía generada con el panel fuera suficiente para energizar los dispositivos que se conectaran al tiempo que las baterías pudieran ser cargadas y no tener que esperar un tiempo para poder utilizar la estación ya que las baterías no estaban cargadas en su totalidad.

La forma en cómo se calculó el rendimiento fue dividiendo el EDC final sobre el EDC inicial de cada jornada, significando que un valor por encima de 100 es una finalización de la jornada con más cantidad de energía en las baterías que con el que se empezó y que un valor por debajo de 100 es una finalización de la jornada con menos cantidad de energía que con la que se empezó el día.

Satisfactoriamente, al final del primera día de prueba de rendimiento se encontró que el banco de baterías terminó con una energía almacenada de 2.37 veces la energía que tenía al inicio, lo que significó que la energía generada por el panel solar fue más que suficiente para suplir la demanda.

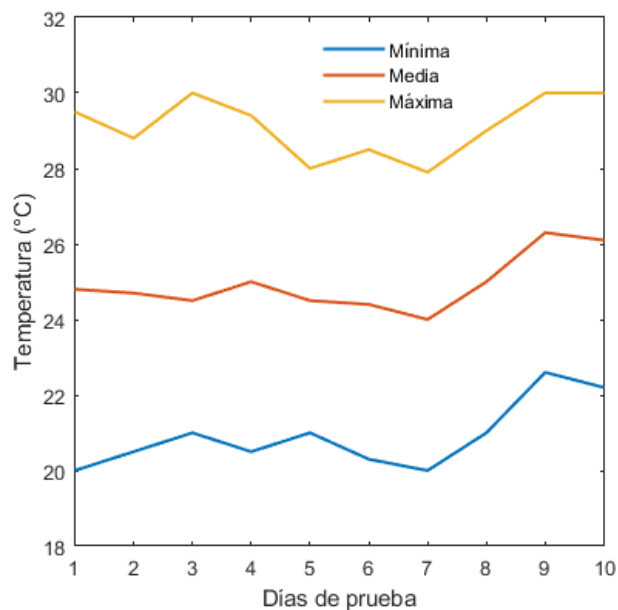
En el segundo día de prueba se encontró que el banco de baterías terminó casi con un 10% más de energía almacenada que con la que inició y con un valor muy cercano con el que terminó en promedio durante las pruebas de funcionamiento de los días 4, 5 y 6. Lo que significó que ya estaba funcionando con su cantidad habitual de energía diaria.

En el tercer día de evaluación de rendimiento se encontró que las baterías terminaron con un 1% más de energía almacenada que cuando inició el día, un valor en un rango de aceptación aceptable dentro de $\pm 5\%$. Esto se debió a que las baterías iniciaron el día con su cantidad habitual de energía para la estación y a que el panel solar generó toda la energía suficiente para los dispositivos que se le conectaron a lo largo de la jornada.

De esta manera, se determinó que el rendimiento de la estación de carga está por encima del 91% ya que a lo largo de todos los días de funcionamiento donde se tuvo al panel solar conectado este fue el valor mínimo de estado de carga con el que el banco de baterías terminó en promedio todos los días. Este valor es aceptable y confiable debido a que no se presentan fallos o escasez en el suministro diario de energía en la estación de carga.

Posteriormente, ya que la temperatura ambiente afecta el funcionamiento y rendimiento de la estación de carga, haciendo uso del sensor de temperatura que posee el regulador de carga seleccionado se tomaron datos de este a lo largo de todos los días de evaluación

Figura 117. Temperatura durante los días de prueba.



Fuente: (propia del autor, 2023).

Las temperaturas encontradas a lo largo de los días de evaluación estuvieron dentro del rango de valores para el centro poblado La Balsa conforme a lo estudiado previamente. Las temperaturas mínimas se encontraron en los inicios y finales de jornadas, que es cuando el sol apenas está saliendo o está terminando de ponerse. En cambio, las máximas temperaturas se registraron en el lapso de 6 horas de mayor irradiación solar entre las 9 A.M. y 3 P.M., que fue cuando el sol está ubicado de manera normal hacia la superficie del lugar.

Así entonces, se encontró que dentro de la cámara del sistema eléctrico las temperaturas encontradas son aceptables para el funcionamiento de la estación ya que, como se mostró anteriormente, el rendimiento y trabajo no se vieron afectados por esta variable sino por la carga conectada.

Por último y sabiendo que la estación de carga cumplía técnicamente con su funcionamiento, se calculó el beneficio monetario que esta podría tener durante 25 años de vida útil, que fue el tiempo que el fabricante del módulo solar estableció para este. Teniendo en cuenta este tiempo, la potencia inicial del panel (370 W en el año cero) y que la degradación lineal no iba a ser superior al -0.7%/año, se calculó la potencia del panel a lo largo de los 25 años de vida útil que tendría.

Así entonces, para la parte monetaria lo que se hizo primero fue realizar los cálculos con el precio del kWh de energía del mes de enero de 2023 para el que la empresa Electrificadora del Meta S.A. (EMSA) vendió su energía, teniendo un valor de \$730.20 COP por kWh (Electrificadora del Meta S.A., 2023). Así entonces, para cada año se obtuvo un valor de energía generada con esta tarifa asumiendo que el precio no variaría a lo largo de este tiempo, algo que no ocurre en términos reales.

Y por último, se calculó el precio del kWh de energía generada que tendría la estación de carga dividiendo el costo de la misma (revisar ANEXO I) sobre la energía total generada durante los 25 años de trabajo, dando así un precio de \$640.99 COP/kWh.

Tabla 32. Comparativa de precio de energía comercial y generada.

AÑO	P panel (kW)	HSP diaria (H)	Energía anual (kWh)	Costo anual kWh EMSA (COP)	Costo anual kWh Estación (COP)
0	0.370	4.5	607.73	\$443,760.80	\$389,545.26
1	0.367	4.5	603.47	\$440,654.47	\$386,818.44
2	0.365	4.5	599.25	\$437,569.89	\$384,110.71
3	0.362	4.5	595.05	\$434,506.90	\$381,421.94
4	0.360	4.5	590.89	\$431,465.35	\$378,751.98
5	0.357	4.5	586.75	\$428,445.09	\$376,100.72
6	0.355	4.5	582.64	\$425,445.98	\$373,468.01
7	0.352	4.5	578.56	\$422,467.86	\$370,853.74
8	0.350	4.5	574.51	\$419,510.58	\$368,257.76
9	0.347	4.5	570.49	\$416,574.01	\$365,679.96
10	0.345	4.5	566.50	\$413,657.99	\$363,120.20
11	0.342	4.5	562.53	\$410,762.38	\$360,578.36
12	0.340	4.5	558.60	\$407,887.05	\$358,054.31
13	0.338	4.5	554.69	\$405,031.84	\$355,547.93
14	0.335	4.5	550.80	\$402,196.61	\$353,059.09
15	0.333	4.5	546.95	\$399,381.24	\$350,587.68
16	0.331	4.5	543.12	\$396,585.57	\$348,133.56
17	0.328	4.5	539.32	\$393,809.47	\$345,696.63
18	0.326	4.5	535.54	\$391,052.80	\$343,276.75
19	0.324	4.5	531.79	\$388,315.43	\$340,873.82
20	0.322	4.5	528.07	\$385,597.23	\$338,487.70
21	0.319	4.5	524.37	\$382,898.05	\$336,118.29
22	0.317	4.5	520.70	\$380,217.76	\$333,765.46
23	0.315	4.5	517.06	\$377,556.23	\$331,429.10
24	0.313	4.5	513.44	\$374,913.34	\$329,109.10
25	0.310	4.5	509.85	\$372,288.95	\$326,805.33
TOTAL			14492.68	\$10,582,552.85	\$9,289,651.80

Fuente: (propia del autor, 2023).

Haciendo la diferencia entre los precios finales, el ahorro mínimo durante los 25 años sería de \$1,292,901 COP para el caso hipotético en el que el precio del kWh de EMSA no aumente. Este valor es considerablemente alto teniendo en cuenta que la demanda energética diaria inicial calculada fue de 1kWh aproximadamente, que es para elementos de bajo consumo energético y que se asegura un servicio continuo. Además, se espera que con el tiempo este valor pueda llegar a ser de hasta \$1,500,000 COP debido a los cambios en los precios que pueda haber por causas climáticas, sociales y políticas y debido a que en la solución de este proyecto no se cobra por servicios de operación, mantenimiento ni reparación ocasionales.

10. CONCLUSIONES

La energía solar a pesar de ser un recurso energético renovable intermitente sirve como gran recurso para generar energía eléctrica en las Zonas No Interconectadas del país, su llegada no es afectada por la accidentalidad geográfica que tengan estos lugares sino por sus ubicaciones geográficas, las cuales para toda Colombia son excelentes por estar muy cerca al meridiano del Ecuador.

Los avances en desarrollo e innovación de células solares y los elementos del balance del sistema (reguladores de carga, baterías, inversores, etcétera) han permitido que estas tecnologías sean de fáciles transporte, manipulación, instalación, mantenimiento y comercialización cada vez más. Así entonces, fue un proceso poco complicado el conseguir todos y cada uno de los elementos del sistema eléctrico que compusieron el prototipo, el manipularlos, transportarlos e instalarlos en el centro poblado La Balsa.

El prototipo desarrollado cumple con las condiciones de operación técnicas para las cuales fue diseñado, logrando energizar los dispositivos electrónicos de consumo de los usuarios y suministrando la suficiente energía diaria que demandan, logrando un funcionamiento correcto y un rendimiento alto para que la estación de carga pueda mantenerse continuamente como su fuente de energía confiable para sus dispositivos.

El banco de baterías no solo es un sistema de respaldo para una falla que no permita energizar elementos desde el panel solar sino también para los casos en donde este no esté generando la misma o mayor cantidad de potencia que se le está demandando a la estación de carga.

La energía promedio diaria que se convierte en electricidad con el panel solar es más que suficiente para las demandas energéticas encontradas y con las cuales se diseñó el prototipo, lo que sirve para cargar las baterías en momentos donde se hayan utilizado y para suministrar más energía en más tiempo diariamente si así es requerido.

La temperatura ambiente de la estación de carga es regulada gracias a la forma tridimensional en que está ubicado el panel solar, el espacio y la forma de la cámara donde está alojado el sistema eléctrico y la pintura color blanco sobre la estructura y paredes, lo cual permite que los elementos eléctricos no tengan malos o bajos funcionamientos por condiciones de esta variable climática estocástica.

La potencialización de mejoras y despliegues de soluciones con energía solar fotovoltaica Zonas No Interconectadas de este tipo por parte del gobierno nacional a través del Ministerio de Minas y Energía y el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas – IPSE es necesario para energizar y/o electrificar a los usuarios que aún no cuentan con este servicio para permitirles una productividad y beneficio digital a través de sus dispositivos electrónicos de consumo.

11. RECOMENDACIONES

Si se deseara ampliar la capacidad de almacenamiento del banco de baterías agregando más de estas, se recomienda tener en consideración los miembros estructurales que las soportarán asimismo como la superficie sobre la que descansarán.

Se recomienda seguir y realizar los siguientes aspectos técnicos sobre la estación de carga para una correcta instalación:

- Ubicar sobre un suelo plano y lo más horizontal posible la estructura de la estación para que esta tenga una buena estabilidad.
- Evitar manipular los elementos del sistema eléctrico sin las protecciones adecuadas con el fin de evitar accidentes.
- Orientar la estación de carga ubicando el panel solar en dirección norte-sur, de tal manera que sus células solares estén en sentido sur con el fin de obtener la mayor cantidad de luz por parte del sol.
- Una metódica y cuidadosa manipulación del panel solar y las baterías ya que estos no están protegidos mecánicamente ante golpes fuertes.
- Seguir las otras recomendaciones establecidas en el Manual de Usuario que viene como anexo a este documento.
- Tener a la mano siempre los planos eléctrico y mecánicos de fabricación para un mejor entendimiento sobre la instalación y que vienen como anexos a este documento.

Se recomienda seguir y realizar los siguientes aspectos técnicos sobre la estación de carga para un correcto funcionamiento:

- Evitar manipular los elementos del sistema eléctrico sin las protecciones adecuadas con el fin de evitar accidentes.
- No hacer extensión del número de conexiones máximo (4) permitido en la estación de carga para evitar sobrecargas y/o cortocircuitos sobre el sistema.
- Evitar sobreponer elementos muy pesados sobre la mesa de trabajo para evitar daños permanentes sobre esta.
- Seguir las otras recomendaciones establecidas en el Manual de Usuario que viene como anexo a este documento.
- Se recomienda no energizar en la estación de carga elementos con potencias superiores a 60W con el fin de evitar sobrecargas en el sistema eléctrico.

Se recomienda potencializar el uso y desarrollo de la energía solar fotovoltaica en el país para acelerar la transición energética nacional, tener independencia eléctrica de fuentes de energía contaminantes y mejorar el ahorro y la economía colombiana nacional ofreciendo productos y servicios basados en esta tecnología a gran escala y en grandes cantidades.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Puerto López. (2022). *Información del Municipio*.
<https://www.puertolopez-meta.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Alvarado, J. (2018). *DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA*.
- ASESORIA MSS. (2020). *Tipos de Investigación en la elaboración de tesis de Grado*.
<https://asesoriamss.com/servicios/empresa-2/item/153-tipos-de-investigacion-en-la-elaboracion-de-tesis-de-grado>
- Asian Development Bank. (2018). *Handbook on Battery Energy Storage System*.
<https://doi.org/10.22617/TCS189791-2>
- Barrera, M., Pajares, L., Izquierdo, Ó., de Catro, A., López, V., & Fuentes, F. (2021). *FABRICACIÓN DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS*.
https://www.fisica.uji.es/priv/web%20master%20SIH007/temes/treballs/1%20fabricaci%F3n_paneles_a.pdf
- BBC News Mundo. (2019, December 23). *Cambio climático: los gráficos animados que muestran los 15 países que más CO2 emitieron en los últimos 20 años*.
<https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-50811389>
- BRANCH. (2021). *Estadísticas de la situación digital de Colombia en el 2020-2021 | Branch*.
<https://branch.com.co/marketing-digital/estadisticas-de-la-situacion-digital-de-colombia-en-el-2020-2021/>
- Bustos González, J. F., Sepúlveda, A. L., & Aponte, K. T. (2014). *ZONAS NO INTERCONECTADAS ELÉCTRICAMENTE EN COLOMBIA: PROBLEMAS Y PERSPECTIVA NON ELECTRIC INTERCONNECTION ZONES IN COLOMBIA: PROBLEMS AND PERSPECTIVES*.
- Carreño, H. (2022). *DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA LA CLASIFICACIÓN DEL LIMÓN TAHITÍ, POR COLOR Y PESO. CASO DE ESTUDIO: FINCA EL MOLINO, VEREDA EL CARMEN, MUNICIPIO DE LA UVITA. PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO EN INGENIERÍA MECATRÓNICA*, 30–32.
- CECU. (2019). *La Energía que nos Une - Energía Solar Fotovoltaica*.
<https://cecu.es/laenergiaquenosune/index.php/energia-solar-fotovoltaica>

- CELSIA. (2020). *Todo lo que debes saber sobre energía solar en Colombia - Celsia - Eficiencia energética*. <https://eficienciaenergetica.celsia.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-energia-solar-en-colombia/>
- Cepeda, J., & Sierra, A. (2020). *Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones*.
- Chacón, M. (2021). *Estatura de los colombianos: ¿Cuánto ha aumentado en los últimos años?* ELTIEMPO.COM. <https://www.eltiempo.com/vida/ciencia/estatura-de-los-colombianos-cuanto-ha-aumentado-en-los-ultimos-ano-639612>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (n.d.). *Zonas no Interconectadas | CREG*. Retrieved March 13, 2022, from <https://www.creg.gov.co/sectores/energia-electrica/zonas-no-interconectadas>
- Concejo Municipal de Puerto López. (2015). *Plan de Desarrollo 2012-2015*.
- de Derecho, F., Carlos, J., Pérez, H., General, S., Martha, D., Rey, H., De, D., Facultad, L., Adriana, D., Giraldo, Z., Manuel Álvarez, J., Directora De Tesis, Z., Ángela, D., & Arias, M. A. (2020). *UNIVERSIDAD EXTERNADO DE COLOMBIA*.
- DNP. (2014). *Ficha de Caracterización*. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/admon/files/empresas/ZW1wcmVzYV83Ng==/archivos/1450105481_cd103cb84f5ebaed5d56284e43129ce0.pdf
- el TIEMPO. (2020). *Villavicencio, puerta de entrada de los Llanos Orientales - Viajar - Vida - ELTIEMPO.COM*. <https://www.eltiempo.com/vida/viajar/villavicencio-puerta-de-entrada-de-los-llanos-orientales-465734>
- Electrificadora del Meta S.A. (2023, March 24). *EMSA | Tarifas Energía*. Tarifas Energía. <https://www.electrificadoradelfmeta.com.co/newweb/tarifas-energia-2-2/>
- Endersby, S. (2022, March 16). *Is Your Design Sustainable? Sustainability and Circular Design Part 1*. The SOLIDWORKS Blog. <https://blogs.solidworks.com/solidworksblog/2022/03/is-your-design-sustainable-sustainability-and-circular-design-part-1.html>
- Enel Colombia. (2019). *Como se genera la electricidad*. <https://www.enel.com.co/es/empresas/enel-generacion/como-se-genera-la-electricidad.html>

- Frankfurt School-UNEP Centre. (2020). *GLOBAL TRENDS IN RENEWABLE ENERGY INVESTMENT 2020*. https://www.fs-unep-centre.org/wp-content/uploads/2020/06/GTR_2020.pdf
- Fundación Economía Circular. (2020). *Economía Circular*. <https://economiecircular.org/economia-circular/>
- García, N. A., Alejandro, D., Urrea, O., María, Á., Forero, S., Castro, G. S., Torres, D. A., Alexandra, J., Medina, B., Leandra, O., Luengas, R., Serrano Díaz, S., Hernán, O., Alfonso, R., Leofan, W., & Chivata, C. (2020a). *Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios Superintendente Delegado para Energía y Gas Combustible*.
- García, N. A., Alejandro, D., Urrea, O., María, Á., Forero, S., Castro, G. S., Torres, D. A., Alexandra, J., Medina, B., Leandra, O., Luengas, R., Serrano Díaz, S., Hernán, O., Alfonso, R., Leofan, W., & Chivata, C. (2020b). *Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios Superintendente Delegado para Energía y Gas Combustible*.
- Guerrero, J. (2019). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. www.sintesis.com
- Iberdrola. (2022). *¿Qué es el diseño circular? Clave para la economía circular*. <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/disenio-circular>
- IDEAM. (2021a). *Atlas Interactivo - Climatológico*. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- IDEAM. (2021b). *Atlas Interactivo - Radiación*. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- IDEAM. (2021c). *Atlas Interactivo - Vientos*. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>
- International Energy Agency. (2020). *Renewables – Global Energy Review 2020 – Analysis - IEA*. Global Energy Review. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020/renewables>
- IPSE. (2022, September 29). *Avances en seguridad energética y generación de energía en las Zonas No Interconectadas*. https://www.youtube.com/watch?v=QaqxdU8HiL4&t=237s&ab_channel=IPSEnergiaZNI
- IRENA. (2018). *Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050*. IRENA. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf

- Irene Onate. (2015, February 26). *Baterías de plomo-ácido para emergencias*. <https://www.seguridadprofesionalhoy.com/baterias-de-plomo-acido-para-emergencias/>
- Joel Frax. (2022). *MATERIALES*. Diseño Mecánico by Joel Frax. <http://joelfrax.com/materiales/materiales.html>
- Kanban tool. (2020). *Metodología Kanban | Kanban Tool*. <https://kanbantool.com/es/metodologia-kanban>
- Manolo Toledo. (2010, February 4). *Mejoras en las baterías de Ion-Litio prometen 10.000 recargas y 20 años de vida útil*. <https://www.xataka.com/otros/mejoras-en-las-baterias-de-ion-litio-prometen-10000-recargas-y-20-anos-de-vida-util>
- Massachusetts Institute of Technology. (2015). *The Future of Solar Energy*.
- Massachusetts Institute of Technology. (2022). *The Future of Energy Storage An Interdisciplinary MIT Study*.
- MatWeb. (2023). *Online Materials Information Resource - MatWeb*. MatWeb, Your Source for Materials Information. <https://www.matweb.com/index.aspx>
- METINVEST. (2023). *Acero SS Grado 50: características, propiedades, análogos - Metinvest*. <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/ss50>
- National Renewable Energy Laboratory. (2021, October 13). *National Solar Radiation Database*. <https://nsrdb.nrel.gov/data-sets/international-data>
- Norman, W. (2023). *solar and wind to fill 60% of US generation thanks to IRA*. News. <https://www.pv-tech.org/ira-will-see-solar-and-wind-account-for-over-60-of-us-generation-by-2030-nrel/>
- Ofiprix. (2020, November 10). *Guía: Regular altura de una mesa de escritorio | Blog Ofiprix - Consejos sobre mobiliario y salud en la oficina*. <https://www.ofiprix.com/blog/guia-sobre-la-altura-de-una-mesa/>
- Parlamento Europeo. (2015, December 2). *Economía circular: definición, importancia y beneficios*. <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>
- Planas, O. (2015). *Historia de la energía solar, evolución desde la antigüedad*. <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/historia>
- Proteccion de datos de España. (2019, April 4). *Tipos de dispositivos móviles*. <https://www.protecciondatos.org/tipos-de-dispositivos-moviles/?reload=872716>

- Raouz, K. (2017). *Environmental Impact Assessment of a Photovoltaic Power Station in Stockholm*.
- Redacción APD. (2021). *Metodología Kanban: en qué consiste y cómo utilizarla | APD*. <https://www.apd.es/metodologia-kanban/>
- Rollet, C. (2020, August 24). *Reciclaje de paneles fotovoltaicos: ¿por qué no se consigue al 100%? – pv magazine España*. Noticias. <https://www.pv-magazine.es/2020/08/24/reciclaje-de-paneles-fotovoltaicos-por-que-no-se-consigue-al-100/>
- Rollet, C., & Beetz, B. (2020, August 24). *Reciclaje de paneles fotovoltaicos: ¿por qué no se consigue al 100%? – pv magazine España*. <https://www.pv-magazine.es/2020/08/24/reciclaje-de-paneles-fotovoltaicos-por-que-no-se-consigue-al-100/>
- Sanchez Molina, P., & Santos, B. (2023, February 2). *European Commission introduces Green Deal Industrial Plan – pv magazine International*. News. <https://www.pv-magazine.com/2023/02/02/european-commission-introduces-green-deal-industrial-plan/>
- Smith, W. F. (William F., Hashemi, Javad., Nagore Cázares, Gabriel., & González-Caver, P. Alejandro. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*.
- SolarPlak. (2022, April 28). *Cómo funcionan las baterías de plomo ácido*. Blog de Energía Solar. <https://solarplak.es/energia/como-funcionan-las-baterias-de-plomo-acido/>
- SOLEN. (2019, October 26). *¿Cuántas horas solares pico necesitan los paneles solares?* <https://solentechnology.com/cuantas-horas-solares-pico-necesitan-los-paneles-solares/>
- Sulaiman, S. A., Singh, A. K., Mokhtar, M. M. M., & Bou-Rabee, M. A. (2014). Influence of dirt accumulation on performance of PV panels. *Energy Procedia*, 50, 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.006>
- Tarifasgasluz. (2021a, February 30). *Cómo elegir un regulador de carga solar | Tipos y Funcionamiento*. Autoconsumo. <https://tarifasgasluz.com/autoconsumo/componentes/regulador-solar>
- Tarifasgasluz. (2021b, March 30). *¿Qué es y cómo funciona un inversor solar? Tipos y marcas*. <https://tarifasgasluz.com/autoconsumo/componentes/inversor-solar>
- THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES. (2019). *LITHIUM-ION BATTERIES*.

- UK Meters Company. (2019, October 16). *American Wire Gauge (AWG) Cable / Conductor Sizes*. <https://meters.co.uk/american-wire-gauge-awg-cable-conductor-sizes/>
- United Nations. (2020a). *Net Zero Coalition*. <https://www.un.org/en/climatechange/net-zero-coalition>
- United Nations. (2020b). *What Is Climate Change?* <https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/fastfacts-what-is-climate-change.pdf>
- U.S. Department of Energy. (2002). *Solar Timeline*.
- US Department of Energy. (2020). *Perovskite Solar Cells*. <https://www.energy.gov/eere/solar/perovskite-solar-cells>
- WWF. (2021). *Climate Change Impacts in Latin America | WWF*. https://www.wwfca.org/en/our_work/climate_change_and_energy/climate_change_impacts_la/
- Zhuming, B. (2017). *Finite Element Analysis Applications* (1st ed., Vol. 1). Academic Press.

ANEXOS

ANEXO A. Tabla 2.1 del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).

“En las instalaciones objeto del presente reglamento, los productos listados en el Tabla 2.1, se podrán instalar solo si cuentan con el Certificado de Conformidad de Producto expedido por un organismo de certificación acreditado o por los demás mecanismos para demostrar la conformidad, señalados en la reglamentación técnica de productos eléctricos establecida o que establezca el Ministerio de Minas y Energía.”

Producto
Aisladores eléctricos, para uso en líneas, redes, subestaciones y barrajes eléctricos, de tensión superior a 100 V.
Alambres y cables, aislados o sin aislar, para uso eléctrico.
Bandejas portacables para uso eléctrico.
Baterías o acumuladores de carga eléctrica para uso en sistemas de generación, transmisión y distribución eléctrica, sistemas de potencia ininterrumpida (UPS), sistemas fotovoltaicos, sistemas eólicos o de almacenamiento de carga para inyectar a la red eléctrica de uso general.
Cables de acero galvanizado, para uso en instalaciones eléctricas (cables de guarda, templetos, cable de puesta a tierra).
Cajas y conducktas (encerramientos), metálicas y no metálicas, usados para conexiones de circuitos eléctricos
Canalizaciones y canaletas para uso eléctrico, metálicas y no metálicas.
Canalizaciones con barras o ductos con barras (Electrobarras, Electroductos, Bus de Barras o “Busway”).
Cargadores de baterías para vehículos eléctricos, distintos a patinetas, bicicletas, motocicletas y montacargas de carga lenta.
Celdas de media tensión.
Cinta aislante eléctrica y terminales preformados utilizados en cables o conectores de media y alta tensión.
Clavijas eléctricas para baja tensión.
Condensadores de capacidad superior a 3 kVAR y bancos de condensadores con capacidad nominal superior a 5 kVAR de baja y de media tensión.
Conectores, terminales y empalmes para conductores de circuitos eléctricos.
Contactores eléctricos para corrientes superiores a 15 A.
Controladores o impulsores para cercas eléctricas.
Crucetas de uso en estructuras de apoyo de redes eléctricas de cualquier material.
Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias –DPS, para baja y media tensión.
Duchas eléctricas o calentadores eléctricos de paso.
Electrodos de puesta a tierra (de cualquier tipo o material)
Equipos para alumbrados de emergencia.
Estructuras de soporte de líneas de transmisión y redes de distribución, incluye torrecillas y los perfiles metálicos exclusivos para ese uso.
Fusibles y portafusibles para instalaciones eléctricas.
Generadores y aerogeneradores eléctricos de más de 25 V en c.a. o más de 48 V en c.c. y potencia igual o mayor de 1 kW, incluye grupos electrógenos y pequeñas plantas de generación con otros combustibles.
Herrajes para líneas de transmisión y redes de distribución eléctrica.
Interruptores o disyuntores automáticos de baja tensión
Interruptores manuales o “switches” de baja tensión, incluyendo interruptores de tipo cuchilla.
Interruptores, seccionadores, recierres de media tensión.
Inversores de corriente continua a alterna, para sistemas fotovoltaicos, eólicos y otros sistemas de generación o almacenamiento de energía eléctrica que requiera conversión c.c./c.a.

Producto
Motores eléctricos para tensiones nominales mayores a 25 V c.a. y 47 V c.c., de potencias iguales o mayores a 375 W, incluyendo aquellos incorporados a bombas (electrobombas) y a reductores o amplificadores de velocidad.
Multitomas y extensiones eléctricas para tensión menor a 600 V.
Paneles solares fotovoltaicos para uso en instalaciones eléctricas de construcciones residenciales, comerciales, industriales, de uso público o cualquier aplicación que inyecte corriente a la red eléctrica de uso general.
Partes eléctricas de ascensores, escaleras electromecánicas, pasillos, andenes y rampas para el transporte de personas y las partes eléctricas de tensiones mayores a 25 V de dichos equipos que se importen o comercialicen por separado.
Partes eléctricas de electrobombas de tensión superior a 25 V en c.a. o 48 V en c.c.
Portalámparas o portabombillas roscados, para lámparas fijas.
Postes para uso en redes y líneas eléctricas, de cualquier material
Productos eléctricos para instalaciones eléctricas especiales para uso en: áreas clasificadas como peligrosas; instituciones o lugares de asistencia médica tales como unidades columna o viga de servicios prefabricadas "head-wall" o "flat-wall", pisos conductivos; transformadores de aislamiento; lugares con alta concentración de personas; control de sistemas contra incendio; viviendas móviles; vehículos recreativos; minas y túneles.
Productos eléctricos para equipos especiales, tales como: equipos de rayos X, máquinas de riego controladas eléctricamente, piscinas, jacuzzis y fuentes similares y para sistemas contra incendios.
Productos eléctricos para instalaciones eléctricas en lugares con alta concentración de personas.
Productos para sistemas cortafuego para uso en bóvedas de subestaciones eléctricas (incluye Puertas, ventanas tipo "dampers", fusibles térmicos y sellos cortafuego)
Puestas a tierra temporales.
Pulsadores eléctricos usados como accionamiento manual para conexión y desconexión de circuitos eléctricos
Reconectores y seccionadores de media tensión.
Relés térmicos y electrónicos para protección contra sobrecargas en baja y media tensión.
Reguladores o controladores de tensión para baterías usadas en sistemas fotovoltaicos o eólicos, o sistemas de acumulación para inyectar energía eléctrica a la red de uso general.
Tableros eléctricos de baja tensión, incluyendo los armarios, cofres o encerramientos usados para ensamble o construcción de tableros de tensión inferior o igual a 1000 V.
Tomacorrientes para uso general y para aplicaciones especiales, para baja tensión.
Transferencias automáticas y el control de la transferencia si este se importa separado
Transformadores de capacidad mayor o igual a 3 kVA.
Tubos conduit metálicos y no metálicos.
Unidades ininterrumpidas de potencia (UPS).
Unidades de tensión regulada (reguladores de tensión) de potencia mayor a 500 VA.