

Plan de repotenciación de dos módulos de entrenamiento de sistemas fotovoltaicos aislados

Yasmin Sofía Fuentes González y Karen Tatiana Moya Molina

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniera Electricista

Director:

Dr. German Alfonso Osma Pinto

Doctor en Ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico- Mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2023

### **Dedicatoria**

A mi madre Viviana, quien siempre me ha orientado y aconsejado en los momentos más importantes. A mi padre Gilberto, por su apoyo incondicional y su valentía para impulsarme hacia adelante. A mi hermano, quien desde la distancia ha creído en mí y me quiere mucho. Asimismo, quiero reconocer a mi abuela Eulogia, quien siempre ha estado a mi lado y me ha encomendado en sus oraciones.

Por siempre estar presentes en mi vida.

*Sofía Fuentes.*

A mis padres Manuel y Norelys, les doy las gracias por su comprensión y ayuda incondicional en todo momento. Ellos me han enseñado a enfrentar las adversidades con dignidad y perseverancia, sin jamás abandonar mis metas. Han sido el cimiento de todo lo que soy como persona: mis valores, principios y empeño. Todo ello con una gran dosis de amor y sin esperar nada a cambio. A mis hermanas Angie y Lina, quienes son mi constante motivación y por impulsarme en la consecución de mis sueños. Su apoyo incondicional y aliento continuo me han llevado a lograr esta meta.

*Karen Moya*

### **Agradecimientos**

Primeramente, expresar mi profundo agradecimiento a Dios por brindarme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida con éxito. Asimismo, quisiera agradecer a mis padres por su incansable esfuerzo, amor y dedicación para acompañarme en este camino. A mi tía Lina, quien desempeñó un papel fundamental en mi estadía universitaria, brindándome un apoyo incondicional. También agradezco a Yorle, mi gran equipo, por estar a mi lado en todo momento. A mi amiga excepcional Karen, a quien le debo un millón de gracias por su apoyo incondicional y su amistad sincera.

Agradezco de manera especial al profesorado de la E3T, en particular al profesor German Osma, quien ha sido un excelente tutor y guía en mi desarrollo profesional.

A mis compañeros y familia universitaria, quienes en conjunto han sido un gran equipo en la culminación exitosa de esta etapa académica.

*Sofía Fuentes.*

Quiero expresar mi sincera gratitud a Dios, quien ha bendecido mi vida y me ha acompañado en todo momento. También quiero agradecer a mi familia, quienes siempre han estado a mi lado, impulsándome a ser una mejor persona y brindándome su apoyo incondicional en todo momento. Agradezco profundamente a los profesores de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, quienes han compartido sus vastos conocimientos y habilidades conmigo a lo largo de mi trayectoria en la universidad. Finalmente, deseo expresar mi más profundo agradecimiento

al profesor Germán Osma, quien ha sido el principal colaborador en este proceso y ha brindado su guía, conocimientos, enseñanzas y colaboración incondicional para el desarrollo de este trabajo de grado. Su dedicación y apoyo han sido esenciales en la culminación de este proyecto.

***Karen Moya.***

**Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	13
1. Revisión de la infraestructura actual .....	15
1.1 Inventario de equipos instalados .....	15
1.2 Reconocimiento de equipos y construcción de fichas técnicas .....	16
1.2.1 Panel fotovoltaico .....	17
1.2.2 Controlador de Carga.....	17
1.2.3 Banco de baterías .....	19
1.2.4 Inversor .....	20
1.2.5 Medidores .....	22
1.2.5.1 Medidor DC. ....	23
1.2.5.2 Medidor AC. ....	26
1.2.6 Tablero de cargas .....	28
1.3 Revisión de la terraza.....	29
1.3.1 Identificación del trayecto para la comunicación entre la terraza y el Laboratorio AT205 ..	29
2. Estudio de parámetros eléctricos .....	34
2.1 Estudio PVsyst .....	34
2.2 Consumo de energía diario .....	39
2.2.1 Estimación de la curva de demanda diaria.....	40
2.2 Curva de carga y descarga de la batería.....	43
3. Diseño de esquemas.....	50

3.1 Elaboración de planos eléctricos.....	50
3.2 Presupuesto .....	51
3.3 Mejoras eléctricas para los módulos fotovoltaicos .....	53
3.3.1 Actividades para mejoras en el Laboratorio AT205 .....	54
4. Simulación sistema repotenciado.....	55
4.1 Selección de escenarios de simulación .....	56
4.2 Resultados de simulación.....	57
4.3 Aplicativo en la web .....	59
4.3.1 Exportación de datos.....	59
4.3.2 Esquema general .....	61
4.3.3 Curvas PV-IV.....	63
4.3.3 Comportamiento del estado de carga de la batería. ....	64
5. Manual de prácticas .....	65
6. Conclusiones.....	70
7. Recomendaciones .....	71
Referencias Bibliográficas .....	72
Apéndices.....	75

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Cuadro de Cargas para viviendas.....	40
Tabla 2. Especificaciones de los electrodomésticos .....	41
Tabla 3. Materiales y suministros .....	51
Tabla 4. Compra y uso de equipos.....	52
Tabla 5. Equipos y materiales con prioridad. ....	53
Tabla 6. Selección de escenarios de simulación. ....	57

### Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Módulos de Gestión y medición de la operación en Laboratorio Alta tensión 205. ....	16
Figura 2. Características técnicas Panel FV JA solar 380 W.....	17
Figura 3. Características técnicas y diagnóstico Controlador PWM S2460. ....	18
Figura 4. Características técnicas y diagnóstico Controlador de carga Steca PR3030.....	19
Figura 5. Características técnicas y diagnóstico Batería 12-TSG-250. ....	20
Figura 6. Características técnicas y diagnóstico Inversor onda pura Xantrex PROwatt SW 600.	21
Figura 7. Características técnicas y diagnóstico Inversor onda modificada Cobra CPI 480. ....	22
Figura 8. Diagramas unifilares iniciales de los módulos 1 y 2 con la ubicación específica de los medidores.....	23
Figura 9. Características técnicas y diagnóstico Medidor DC AcuDC 240 para los tres medidores del módulo gestión y medición de la operación número 1. ....	24
Figura 10. Características técnicas y diagnóstico Medidor DC AcuDC 240 para los tres medidores del módulo gestión y medición de la operación número 2.....	25
Figura 11. Medidor DC PWRcheck.....	26
Figura 12. Diagnóstico Medidor DC PWRcheck. ....	26
Figura 13. Medidor AC DIRIS A-40.....	27
Figura 14. Diagnóstico Medidor AC DIRIS A-40.....	27
Figura 15. Características técnicas y diagnóstico Medidor ACCUENERGY EV390.....	28
Figura 16. Módulos de cargas AC y DC.....	29
Figura 17. Registro fotográfico cielo raso AT205.....	30

Figura 18. Registro fotográfico vistas terraza alta tensión. ....	30
Figura 19. Vista lateral Terraza AT y Laboratorio AT205. ....	31
Figura 20. Vista frontal trayectoria módulos a paneles ....	32
Figura 21. Vista superior de la terraza del Laboratorio de Alta Tensión. ....	33
Figura 22. Resultados obtenidos sin considerar efectos de sombra. ....	36
Figura 23. Modelo de la situación de sombreado ....	37
Figura 24. Diseño de sombra en PVsyst ....	37
Figura 25. Resultados obtenidos considerando los efectos de la sombra ....	38
Figura 26. Curva de demanda ....	42
Figura 27. Prueba de medición de Amperes y Volts para carga de batería ....	44
Figura 28. Curva de Corriente vs Tiempo ....	45
Figura 29. Curva de Tensión vs Tiempo. ....	45
Figura 30. Curva de Energía (dE) vs Tiempo (carga de la batería) ....	46
Figura 31. Prueba de medida de Amperes y Volts para la descarga de la batería ....	47
Figura 32. Curva de Energía (dE) vs Tiempo (descarga de la batería) ....	48
Figura 33. Curva de Corriente vs Tiempo ....	49
Figura 34. Curva de Tensión vs Tiempo. ....	49
Figura 35. Configuración 1 del módulo de entrenamiento. ....	56
Figura 36. Pestaña plantilla de importación de datos. ....	60
Figura 37. Pestaña “Caso General” app web. ....	61
Figura 38. Curvas PV-IV aplicativo web. ....	64
Figura 39. Pestaña gráfica comportamiento del SOC para 30 días. ....	65

**Lista de Apéndices**

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Verificación del estado de los equipos .....	75
Apéndice B. Panel fotovoltaico 380W.....	80
Apéndice C. Controlador de carga.....	82
Apéndice D. Batería.....	84
Apéndice E. Inversor .....	86
Apéndice F. Medidores.....	88
Apéndice G. Dimensionamiento de sistema fotovoltaico en PVsyst.....	92
Apéndice H. Informes PVSYST .....	101
Apéndice I. Curva de Demanda .....	113
Apéndice J. Tabla de carga de batería .....	114
Apéndice K. Tabla de descarga de batería.....	117
Apéndice L. Planos eléctricos.....	118
Apéndice M. Cálculo de sección transversal del conductor por caída de tensión, protecciones y canalización.....	121
Apéndice N. Aspectos generales de la instalación.....	130
Apéndice Ñ. Implementación de Mejoras en los módulos de entrenamiento.....	142
Apéndice O. Estado de carga de la batería. ....	152
Apéndice P. Ecuaciones para la caracterización de la operación. ....	154
Apéndice Q. Evidencias del desarrollo de las prácticas en el laboratorio de AT205. ....	159
Apéndice R. Manual de prácticas. ....	193

## Resumen

**Título:** Plan de repotenciación de dos módulos de entrenamiento de sistemas fotovoltaicos aislados \*

**Autores:** Yasmin Sofia Fuentes González y Karen Tatiana Moya Molina \*\*

**Palabras Clave:** Sistema fotovoltaico aislado, paneles solares, sombreado, diagrama unifilar.

## Descripcion

Esta tesis se enfoca en el diseño de un plan de repotenciación para dos módulos de entrenamiento fotovoltaico aislado en el Laboratorio AT205. El plan se basa en una revisión exhaustiva de la infraestructura existente y en la identificación de las necesidades docentes. Se realizaron evaluaciones detalladas de los requisitos técnicos necesarios para el correcto funcionamiento de los módulos y se diseñó la instalación eléctrica correspondiente. Además, se diseñó una aplicación web para simular y modelar el sistema. Para complementar el plan, se desarrolló un manual de prácticas dirigido a los estudiantes. Se determinó de la ubicación óptima de los paneles solares y se implementaron mejoras físicas en los módulos con el objetivo de mejorar su rendimiento, lo que permite a los estudiantes aprovechar al máximo los módulos en sus asignaturas de sistemas fotovoltaicos. El plan de repotenciación propuesto en esta tesis ofrece un enfoque integral para mejorar los módulos, asegurando un funcionamiento eficiente y mejorando la calidad de la experiencia de aprendizaje de los estudiantes. Los hallazgos y recomendaciones obtenidos en este estudio pueden ser una guía valiosa para proyectos similares en instituciones educativas o instalaciones de capacitación en sistemas fotovoltaicos.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico- Mecánicas Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones  
Director: Dr. German Alfonso Osma Pinto Doctor en Ingeniería

### Abstract

**Title:** Repowering Plan for Two Isolated Photovoltaic Training Modules\*

**Authors:** Yasmin Sofía Fuentes González y Karen Tatiana Moya Molina\*\*

**Keywords:** Isolated photovoltaic system, solar panels, shading, single-line diagram.

### Description

This thesis focuses on the design of a repowering plan for two isolated photovoltaic training modules in Laboratory AT205. The plan is based on a thorough review of the existing infrastructure and the identification of instructional needs. Detailed evaluations were conducted to assess the technical requirements necessary for the proper functioning of the modules, and the corresponding electrical installation was designed accordingly. Additionally, a web application was developed to simulate and model the system. To complement the plan, a practical manual was created specifically for the students. The optimal placement of the solar panels was determined, and physical enhancements were implemented in the modules to improve their performance, allowing students to fully maximize their utilization in their photovoltaic systems courses. The proposed repowering plan presented in this thesis offers a comprehensive approach to enhance the modules, ensuring efficient operation and enriching the quality of the students' learning experience. The findings and recommendations obtained from this study can serve as a valuable guide for similar projects in educational institutions or training facilities specializing in photovoltaic systems.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico- Mecánicas Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones  
Director: Dr. German Alfonso Osma Pinto Doctor en Ingeniería

## Introducción

En los últimos años, en el planeta tierra se han producido diversos fenómenos que han afectado la calidad de vida de los seres humanos. Entre ellos, destacan el cambio climático y las prácticas inadecuadas en la explotación de los recursos naturales. Debido a estos sucesos, varios países han mostrado interés en fomentar la investigación, el estudio y el desarrollo de nuevas alternativas con el fin de reducir los factores negativos que afectan el medio ambiente.

El consumo de energía eléctrica es esencial en la vida cotidiana y su demanda se incrementará significativamente en el futuro. Tanto la introducción progresiva de vehículos eléctricos como el aumento de tecnologías eléctricas para uso doméstico e industrial contribuyen a esta tendencia. Sin embargo, la disponibilidad de energía eléctrica es cada vez más limitada y es necesario explorar alternativas para reducir el consumo y asegurar un uso sostenible de este recurso.

Por ende, las fuentes de energía renovable son una alternativa para la generación de energía eléctrica, como es el caso de la energía fotovoltaica que puede producirse en instalaciones que van desde los pequeños generadores para autoconsumo hasta las grandes plantas.

Debido a que cada día se implementan con más intensidad los sistemas fotovoltaicos, por medio de este trabajo de grado se busca contribuir a la formación académica de estudiantes de ingeniería eléctrica UIS a través de un plan de repotenciación de dos módulos de entrenamiento de sistemas fotovoltaicos aislados existentes en el Laboratorio de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía AT205 (*Laboratorio AT205*), los cuales están orientados a actividades prácticas de reconocimiento y comprensión de la operación de este tipo de sistemas.

El objetivo general de este trabajo de grado es *diseñar un plan de repotenciación de dos módulos de entrenamiento de sistemas fotovoltaicos aislados para el Laboratorio AT205 a partir de una revisión del estado actual de la infraestructura existente y necesidades de docencia identificadas*. Los objetivos específicos que lo sustentan son:

- Identificar los requerimientos técnicos que permitan la operación correcta y completa de los dos módulos de entrenamiento a partir de una revisión de la infraestructura existente.
- Realizar el diseño de la instalación eléctrica para la conexión de generador fotovoltaico de 760 W y el montaje de componentes complementarios para los módulos de entrenamiento.
- Modelar y simular la operación de los módulos de entrenamiento que permita la estimación de parámetros eléctricos ( $V_{rms}$ ,  $I_{rms}$ , P, S y eficiencia)
- Proponer y documentar actividades prácticas con los módulos de entrenamiento repotenciado.

El documento está conformado por cinco capítulos. El Capítulo 1 aborda la revisión de la infraestructura actual en el Laboratorio AT205 y la inspección de la terraza. Luego, el Capítulo 2 presenta el estudio de parámetros eléctricos, donde se identifica el consumo diario de energía para establecer que los paneles fotovoltaicos puedan abastecer la carga y los equipos complementarios que son necesarios para la operación del sistema. El Capítulo 3 comprende el diseño de esquemas que definen las conexiones de los componentes y se elaboran los planos eléctricos. El Capítulo 4 se evidencia una mejora a los módulos de entrenamiento y, a su vez, se verifica que los inversores y controladores seleccionados funcionan correctamente; se verifica su operación obteniendo medidas como  $V_{rms}$ ,  $I_{rms}$ , P, S y eficiencia por medio de simulación. Finalmente, en el Capítulo 5 se documentan las actividades prácticas que podrán realizar los docentes junto a los estudiantes

en el módulo de entrenamiento que facilitarán el estudio de su comportamiento y se presenta el análisis de resultados y las recomendaciones a futuros trabajos de investigación.

## **1. Revisión de la infraestructura actual**

Este capítulo presenta un inventario detallado de los equipos del Laboratorio AT205 de la Universidad Industrial de Santander, incluyendo sus fichas técnicas, y se realiza un diagnóstico para verificar su estado. Además, se lleva a cabo un reconocimiento de la terraza y el cielo raso de AT205, identificando un trayecto que conecta la terraza y el laboratorio. Durante este reconocimiento, se inspecciona la presencia de árboles y otros objetos que puedan obstruir la irradiación directa sobre los módulos solares.

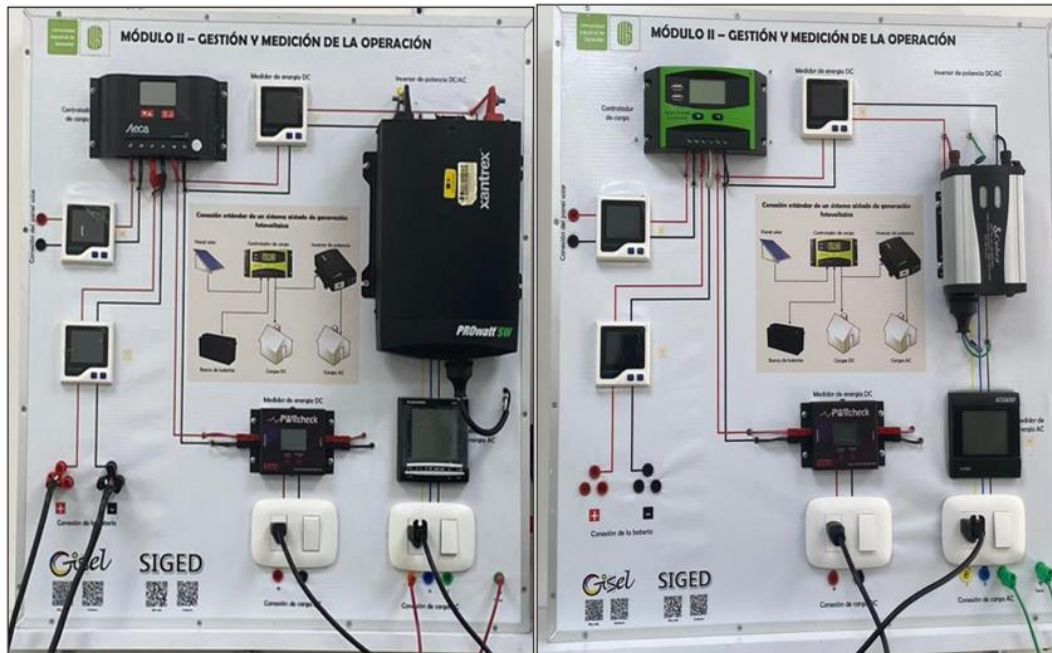
### **1.1 Inventario de equipos instalados**

Con el fin de fortalecer la oferta de formación, en el Laboratorio AT205 se construyeron dos módulos de entrenamiento de sistemas fotovoltaicos aislados que se asemejan a un pequeño usuario residencial no conectado a la red. Estos dos módulos buscan que los estudiantes reconozcan componentes de este tipo de sistema fotovoltaico y facilitan el estudio de su comportamiento. Tal como muestra la Figura 1, los módulos de entrenamiento están compuestos por equipos como: panel fotovoltaico, regulador/controlador, inversor, batería, medidores DC, medidores AC y conexiones de carga DC/AC. Note que la caracterización de los equipos que se

realiza en este trabajo de grado no abarca la electrónica de potencia que lo compone. El análisis de operación realizado de éstos se basa en un balance de potencia en los nodos del sistema.

**Figura 1.**

*Módulos de Gestión y medición de la operación en Laboratorio Alta tensión 205.*



## 1.2 Reconocimiento de equipos y construcción de fichas técnicas

Se realiza una breve descripción de los equipos mencionados y se construyen fichas técnicas del respectivo equipo, donde se incluye la verificación del estado de los equipos. El Anexo A describe las pruebas realizadas para determinar el estado de éstos.

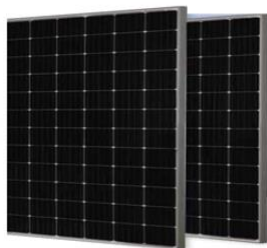
### 1.2.1 Panel fotovoltaico

Cada módulo de entrenamiento cuenta con un panel fotovoltaico marca JA solar, *Tipo JAM72S01-380/PR* con células monocristalinas, bajo un coeficiente térmico ( $-0.3\%/^{\circ}\text{C}$ ) y una garantía de 25 años (JA solar, 2019). La figura 2 presenta las características técnicas del panel. El Anexo B presenta la ficha técnica suministrada por el fabricante.

#### Figura 2.

*Características técnicas Panel FV JA solar 380 W.*

Panel Fotovoltaico JAM72S01 380/PR M1 y M2		JA SOLAR
Potencia máxima nominal	[W]	380
Voltaje de circuito abierto	[V]	48.71
Voltaje de potencia máxima	[V]	40.03
Corriente de cortocircuito	[A]	10.05
Corriente potencia máxima	[A]	9.5
Eficiencia del módulo	[%]	19.6
Dimensiones	[mm]	1960x991x40
N° de células		72(6x12)
Peso	[kg]	22



### 1.2.2 Controlador de Carga


El controlador de carga tiene como función principal garantizar el proceso de carga de la batería (Bautista & Acevedo, 2019). De acuerdo con la necesidad, existen dos tipos de controladores PWM y MPPT; los módulos cuentan con reguladores de ancho de pulso.

A continuación, las Figura y 4 presentan las características técnicas de los controladores y el estado en que se encuentran. El Anexo C presenta la ficha técnica suministrada por el fabricante.

El controlador de carga *Solar Charge Controller mode S2460* tiene características como la precisión digital del microcontrolador, reconexión de carga automática, compensación de temperatura y tiene una protección de sobrecarga (Tai Energy, s.f.).

**Figura 3.**

*Características técnicas y diagnóstico Controlador PWM S2460.*

PWM SOLAR CONTROLLER S2460 M2		
Tensión del sistema	[V]	12 (24)
Consumo propio	[mA]	≤ 12
Tensión de entrada máxima	[V]	<50
Corriente de carga máxima	[A]	40
Tensión final de carga	[V]	16.5(33)
Dimensiones	[mm]	220x128x44
Peso	[g]	480
Temperatura ambiente para uso	[°C ]	-20 ... +50
<b>Verificación del estado</b>		
	Fecha revisión	18-ene-23
	Operación	Correcta

El regulador de la marca *Steca PR, modelo 3030*, cuenta con diversas características para su uso en diversas aplicaciones. Entre ellas incluye la capacidad para determinar el estado de carga, la selección automática de tensión, la regulación MAP, la tecnología de carga escalonada, la desconexión de carga en función de SOC y la reconexión automática del consumidor. Además, este regulador ofrece una protección contra sobrecarga, contra descarga total y fusible electrónico automático (Autosolar, 2017).

**Figura 4.**

*Características técnicas y diagnóstico Controlador de carga Steca PR3030.*

Regulador de carga solar Steca PR 10-30 M1		
Tensión del sistema	[V]	12 (24)
Consumo propio	[mA]	12.5
Tensión de circuito abierto del módulo	[V]	<47
Corriente de consumo	[A]	30
Tensión final de carga	[V]	13.9 (27.8)
Dimensiones	[mm]	187x96x44
Peso	[g]	350
Temperatura ambiente para uso	[°C]	-10 ...+50
<b>Verificación del estado</b>		
	Fecha revisión	19-ene-23
	Operación	Correcta




### 1.2.3 Banco de baterías

Cada módulo cuenta con una batería tipo gel de la marca *SEC modelo 12-TSG-250*, con una tensión de 12 V de ciclo profundo y sin necesidad de mantenimiento, tiene una rápida capacidad de recarga (SEC, 2015). La figura 5 presenta las características técnicas de la batería. Para más información, se incluye en el Anexo D la ficha técnica suministrada por el fabricante.

**Figura 5.**

*Características técnicas y diagnóstico Batería 12-TSG-250.*


Batería en gel SEC 12 TSG-250 M1 y M2		
Capacidad nominal	[Ah]	202
Corriente de carga máxima	[A]	40.4
Resistencia interna	[mΩ]	2.2
Tensión nominal	[V]	12
Ciclos de vida	[ciclos]	420
DOD	[%]	80
Peso	[kg]	65
Dimensiones	[mm]	522x240x225
Tipo de terminal		FT5


**1.2.4 Inversor**

Un inversor es un dispositivo que permite convertir corriente continua en corriente alterna. Los módulos de entrenamiento cuentan con un inversor de onda pura y un inversor de onda modificada. Las figura 6 y 7 presentan las características técnicas de los inversores y el estado en que se encuentran. El Anexo E presenta la ficha técnica suministrada por el fabricante para cada inversor. El inversor de onda pura *PROwatt SW 600 W* cuenta con una pantalla digital de potencia de salida y tensión continua (PROwatt SW, s.f.).

**Figura 6.**

*Características técnicas y diagnóstico Inversor onda pura Xantrex PROwatt SW 600.*

Inversor onda pura Xantrex PROwatt SW 600 M1		
Potencia continua	[W]	540
Tensión nominal CC	[V]	12
Frecuencia	[Hz]	60
Rango voltaje salida CA	[V]	104-127
Rango voltaje entrada CC	[V]	10.5-15.5
Consumo de corriente sin carga	[A]	< 0.6
Eficiencia	[%]	90
Rango de temperatura de	[°C]	0-40
Peso	[kg]	3
Dimensiones	[mm]	89x220x310
<b>Verificación del estado</b>		
	Fecha revisión	19-ene-23
	Operación	Incorrecta // No tiene la capacidad de alimentar cargas mayores a 170w

El inversor de onda modificada *Cobra 400 W Power invertir CPI 480* cuenta con una potencia de salida continua de 400 W, así como una salida USB de 5V y protección para sobrecarga y cortocircuito (Roadtricker, s.f.). Este equipo ha sido diseñado para electrodomésticos de bajo consumo ya que no soportan picos de arranque.

**Figura 7.**

*Características técnicas y diagnóstico Inversor onda modificada Cobra CPI 480.*

Inversor onda modificada Cobra CPI 480 M2		
Potencia continua 1h	[w]	400
Tensión nominal CC	[V]	12
Frecuencia	[Hz]	58-62
Rango voltaje salida CA	[V]	109-120
Rango voltaje entrada CC	[V]	10.4-14.4
Consumo de corriente sin carga	[A]	< 0.5
Eficiencia	[%]	>83
Rango de temperatura de funcionamiento	[°C]	0-40
		
Verificación del estado		
	Fecha revisión	18-ene-23
	Operación	Incorrecta // No tiene la capacidad de alimentar cargas mayores a 238w

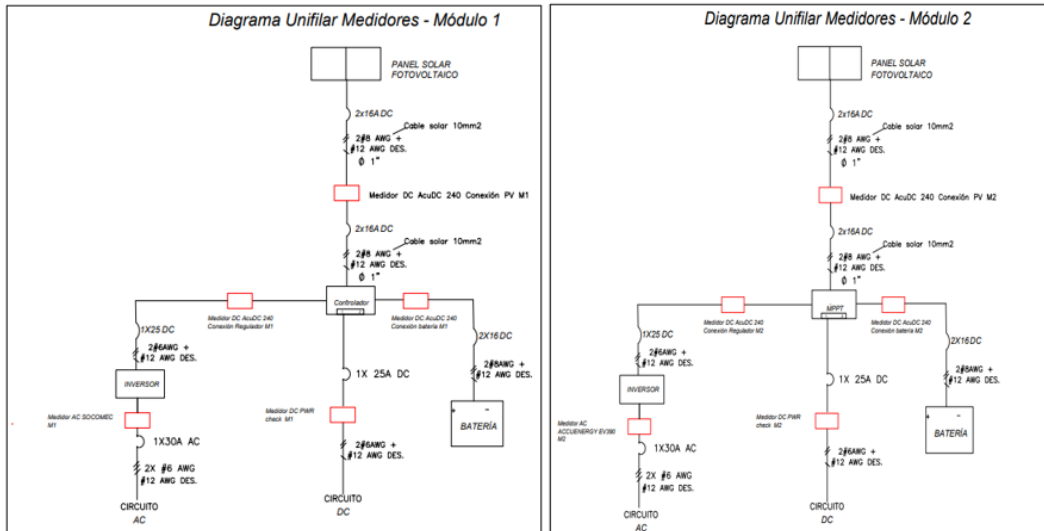
Note que un cambio realizado consistió en alimentar los inversores directamente de las baterías, lo cual se aprecia en los diagramas unifilares actualizados.

**1.2.5 Medidores**

Los medidores de los módulos permiten conocer los parámetros eléctricos durante la operación, tanto en corriente continua como en corriente alterna. La Figura 8 presenta los unifilares de los medidores correspondientes a cada módulo, junto con su respectiva referencia.

**Figura 8.**

*Diagramas unifilares iniciales de los módulos 1 y 2 con la ubicación específica de los medidores.*





**1.2.5.1 Medidor DC.** El medidor de potencia y de energía DC serie *AcuDC 240* está diseñado para monitorear y controlar sistemas de energía de DC con una amplia gama de parámetros de medición como voltaje, corriente, potencia y energía; admite la medición de corriente bidireccional utilizada en la medición neta, la energía solar fotovoltaica (Accuenergy, s.f.). En cada módulo hay tres medidores: uno para el panel fotovoltaico, regulador y batería. Las tablas 7 y 8 presentan las características técnicas de los medidores DC y el estado en que se encuentran. El Anexo F presenta la ficha técnica suministrada por el fabricante para cada medidor.

**Figura 9.**


*Características técnicas y diagnóstico Medidor DC AcuDC 240 para los tres medidores del módulo gestión y medición de la operación número 1.*

<b>Medidor DC AcuDC 240 M1</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Precisión</b>	<b>Resolución</b>	<b>Rango</b>
Voltaje	0.2%	0.001V	0-9999V
Corriente	0.2%	0.001A	0-±50000A
Potencia	0.5%	0.001kW	0-±60000kW
Energía	0.5%	0.01kWh	0-9999999.99Wh



  

<b>Medidor DC AcuDC 240</b>		
<b>Verificación del estado Conexión PV M1</b>		
	Operación	Fecha revisión
	Correcta	19-ene-23

<b>Verificación del estado Conexión batería M1</b>		
	Operación	Fecha revisión
	Correcta	27-ene-23


  




<b>Verificación del estado Conexión RC M1</b>		
	Operación	Fecha revisión
	Correcta	25-ene-23

**Figura 10.**

*Características técnicas y diagnóstico Medidor DC AcuDC 240 para los tres medidores del módulo gestión y medición de la operación número 2.*

Medidor DC AcuDC 240 M2			
Parámetros	Precisión	Resolución	Rango
Voltaje	0.2%	0.001V	0-9999V
Corriente	0.2%	0.001A	0-±50000A
Potencia	0.5%	0.001kW	0-±60000kW
Energía	0.5%	0.01kWh	0-9999999.99Wh

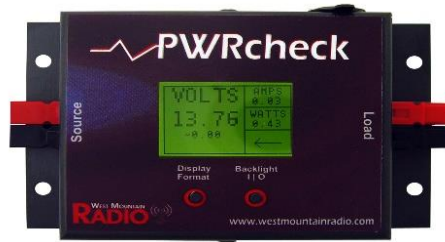
Medidor DC AcuDC 240			
Verificación del estado Conexión PV M2			
	Operación	Fecha revisión	
	Correcta	18-ene-23	
Verificación del estado Conexión batería M2			
	Operación	Fecha revisión	
	Correcta	27-ene-23	
Verificación del estado Conexión RC M2			
	Operación	Fecha revisión	
	Correcta	25-ene-23	

En cada módulo de gestión y medición de la operación se encuentra instalado un medidor de potencia para corriente directa PWRcheck. Este dispositivo ofrece monitoreo de energía y puede medir de 0 a 60 V de CC a hasta 40 A, con una precisión de más o menos 10 mV y 10 mA. Las pantallas LCD gráficas retroiluminadas del PWRcheck cuentan con siete modos de

visualización, incluyendo tensión, corriente, potencia, energía, capacidad Ah y calidad de tensión (Engineering , s.f.).

**Figura 11.**



*Medidor DC PWRcheck.*



La Figura 12 presenta su respectivo diagnóstico.

**Figura 12.**

*Diagnóstico Medidor DC PWRcheck.*

Medidor DC PWR check M1		
	Fecha revisión	19-ene-23
	Operación	Correcta
Medidor DC PWR check M2		
	Fecha revisión	18-ene-23
	Operación	Correcta

**1.2.5.2 Medidor AC.** El medidor SOCOMEC modelo DIRIS A-40 está diseñado para medir, monitorear y reportar energía eléctrica, ofrece una gama de funciones para medir tensión,

corriente, potencia, energía y calidad. Permite el análisis de una carga monofásica o trifásica (Socomec, s.f.).

**Figura 13.**


*Medidor AC DIRIS A-40.*



La Figura 14 presenta el diagnóstico del medidor AC para módulo 1:

**Figura 14.**

*Diagnóstico Medidor AC DIRIS A-40.*



Medidor AC SOCOMEC M1		
	Fecha revisión	19-ene-23
	Operación	Correcta

En el otro módulo de gestión y medición de la operación se encuentra instalado el medidor de corriente alterna marca ACCUENERGY modelo EV390, el cual permite de medir diversos parámetros eléctricos, tales como tensión, corriente, potencia, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia, frecuencia y energía. Asimismo, cuenta con una pantalla LCD retroiluminada

para una visualización clara de los resultados (Accuenergy , s.f.). La figura 15 presenta las especificaciones técnicas del medidor.

**Figura 15.**

*Características técnicas y diagnóstico Medidor ACCUENERGY EV390.*

Medidor AC ACCUENERGY EV390 M2					
Parámetros	Precisión	Resolución	Rango		
Voltaje	0.5%	0.1V	10V~500kV		
Corriente	0.5%	0.001A	0~9990A		
Potencia	0.5%	1W	-9999MW~999MW		
Potencia reactiva	0.5%	1var	-9999Mvar~999Mvar		
				Fecha revisión	25-ene-23
				Operación	Correcta

**1.2.6 Tablero de cargas**

Cada módulo de entrenamiento incluye puntos para conexión de cargas AC y DC, la cual simula la carga de un usuario residencial. La vivienda cuenta con tres habitaciones, dos baños, una sala-comedor, una cocina y un jardín. Además, está equipada con interruptores, plafones, tomacorrientes, interruptores y conectores. La distribución de la vivienda se ilustra en la Figura 16.

**Figura 16.**

*Módulos de cargas AC y DC.*



### 1.3 Revisión de la terraza

Para llevar a cabo en un futuro el montaje de los paneles FV en la terraza del Laboratorio de Alta Tensión, es necesario realizar una evaluación detallada de la terraza y del cielo raso para identificar una ruta factible que permita la conexión al interior del laboratorio. Es importante inspeccionar la presencia de obstáculos como árboles u otros objetos que puedan obstruir la irradiación directa sobre los paneles FV y determinar su ubicación adecuada.

#### ***1.3.1 Identificación del trayecto para la comunicación entre la terraza y el Laboratorio AT205***

Se utiliza un dron para realizar un registro fotográfico de la terraza, con el fin de obtener una vista completa que permita determinar el área ideal para la instalación de los paneles FV y la ruta de los conductores hasta la caja de paso. La Figura 17 muestra el registro fotográfico del cielo

raso para determinar el espacio disponible para el cableado, mientras que la Figura 18 presenta diferentes vistas de la terraza del Edificio de Alta Tensión.

**Figura 17.**

*Registro fotográfico cielo raso AT205.*



**Figura 18.**

*Registro fotográfico vistas terraza alta tensión.*



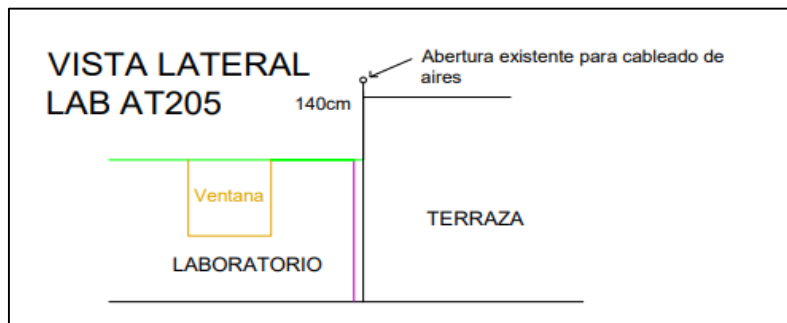


Se elaboran planos de vista superior y lateral para identificar las ubicaciones estratégicas de los equipos y accesorios que se instalarán en la terraza y, a su vez, determinar la mejor trayectoria para el cableado que llega de la terraza al laboratorio. Debido a que se debe analizar el espacio disponible para no afectar los ductos ya existentes en el cielo raso y pared.

La Figura 19 muestra la vista lateral y la altura a la cual se encuentra la abertura existente para el cableado del aire.

**Figura 19.**

*Vista lateral Terraza AT y Laboratorio AT205.*

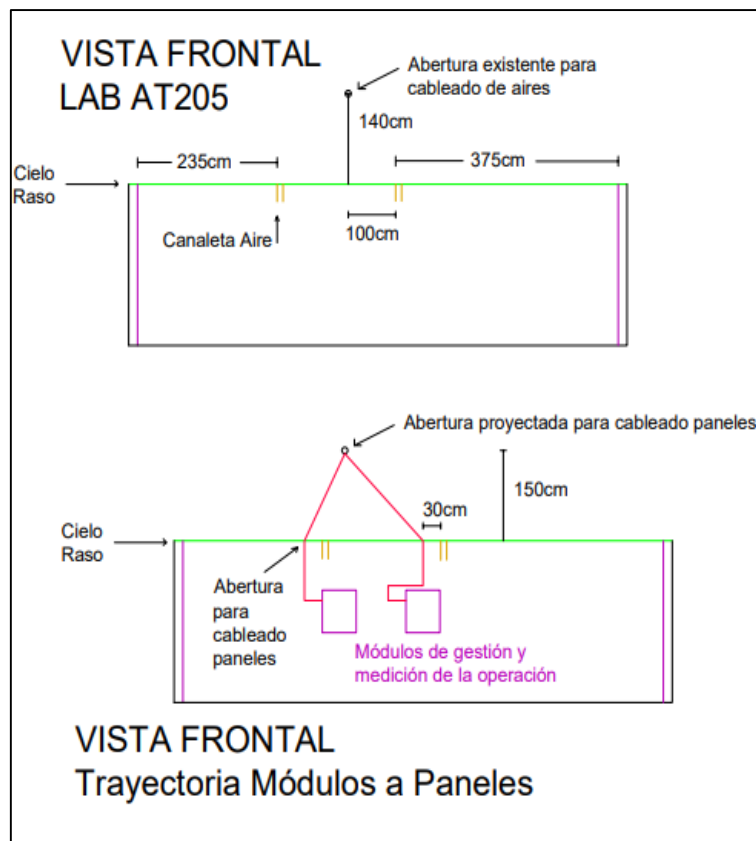


Reutilizando la comunicación que existe entre la terraza y los aires acondicionados, se propone perforar el cielo raso a 30 cm de la abertura situada para la canaleta de los aires acondicionados, garantizando de esta manera que no se afecta la seguridad de los tramos en los trabajos de mantenimiento a los equipos de climatización. Se toma como referencia la medida desde las ventanas hasta las canaletas del aire, proyectando la altura a la cual se debe perforar la pared del laboratorio adyacente a la terraza para que pueda ingresar el cableado proveniente de los paneles FV

La Figura 20 muestra la vista frontal de la trayectoria del cableado desde los módulos de entrenamiento a los paneles FV.

**Figura 20.**

*Vista frontal trayectoria módulos a paneles*

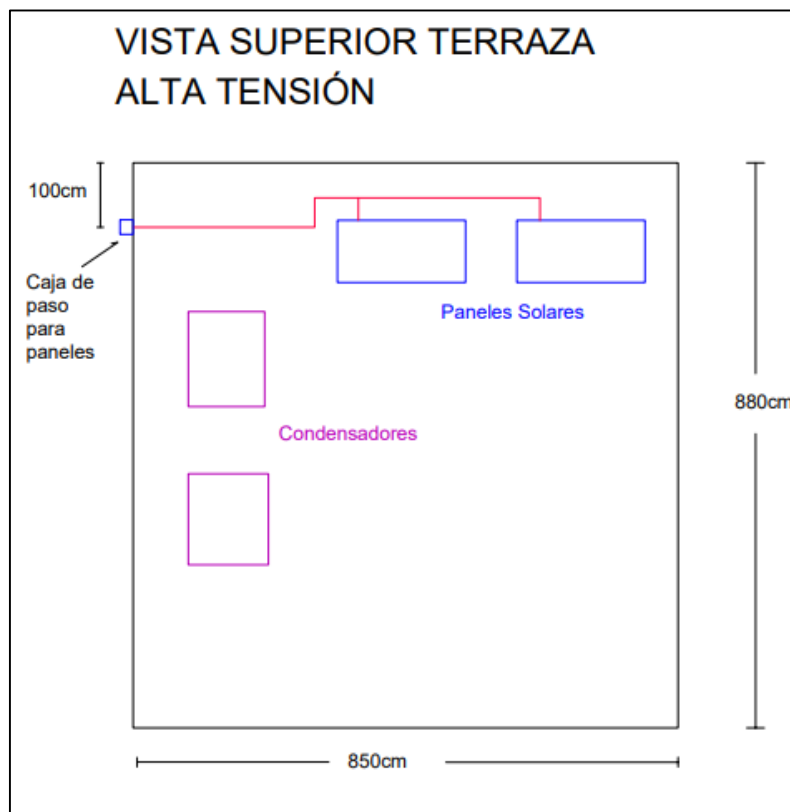


En la terraza se evidencia la existencia de tubería IMC y tubería para el desagüe de los condensadores. La inclinación de los paneles FV sería de  $7^\circ$  hacia el sur. Una opción para situar los paneles FV es una estructura tubular, donde se consigue una mayor altura y evitaría inconvenientes si se presenta sombreado. Por otro lado, en el plano vista superior se establece la ubicación de los paneles FV y la caja de paso que también albergaría las protecciones DC y por la que cruzan los conductores positivos, negativo y de tierra que se conectan al controlador.

La Figura 21 presenta la vista superior de la terraza donde se ubicarían los paneles FV y la caja de paso.

**Figura 21.**

*Vista superior de la terraza del Laboratorio de Alta Tensión.*



## 2. Estudio de parámetros eléctricos

Este capítulo presenta la estimación de la generación diaria y anual por panel FV en el programa PVsyst, teniendo en cuenta la curva de demanda de energía de una vivienda básica, permitiendo identificar los equipos complementarios que se requieren para la operación óptima de los módulos de entrenamiento.

### 2.1 Estudio PVsyst

Por medio del programa PVSYST 7.3 se logra desarrollar el dimensionamiento de los sistemas FV de manera óptima y eficiente. Esta aplicación permite la investigación, dimensionamiento y estudio completo de datos de modelado de sistemas FV. Con la ayuda de su base de datos meteorológica, el software determina el tamaño de la instalación en función de la irradiancia solar recibida en su ubicación, simulando las sombras que genera el movimiento del sol durante el día a partir de proyecciones (Villao & Consuegra, 2021).

El dimensionamiento se inicia a través del estudio de la climatología del emplazamiento, para lo cual se utilizan los datos proporcionados por la estación Meteonorm 8.1 (Estación Solsta, s.f.). Posteriormente, se determina los consumos que demanda la vivienda residencial, con el fin de ajustar el sistema fotovoltaico a las necesidades requeridas.

El Anexo G especifica las características detalladas del módulo y otros componentes, las cuales fueron seleccionadas en el programa PVsyst. Los resultados obtenidos comprobaron que en

la mayoría los valores de los componentes coinciden con el catálogo del producto; en los casos donde no fue posible coincidir se seleccionó el componente con las características más similares.

El proceso de dimensionamiento tiene como objetivo verificar si los paneles seleccionados son capaces de satisfacer completamente la carga energética requerida por la vivienda, tanto a nivel mensual como anual. Para ello, se lleva a cabo una simulación, cuyos resultados indican que el consumo energético promedio diario de la vivienda es de 1.13 kWh/día, con una potencia media de 46.9 W. A su vez, el consumo mensual es de 33.8 kWh/mes, mientras que la energía disponible a través de los paneles FV es superior a dicha cantidad en cada uno de los meses evaluados.

La figura 22 muestra los principales resultados sin considerar los efectos de la sombra. La producción anual de energía entregada a la red (E Load) es de 410.94 kWh/año, presentando la mayor demanda de energía en los meses de enero, marzo, mayo, julio agosto, octubre y diciembre con un valor de 34.91 kWh/mes, mientras que la mínima se presenta en el mes de febrero con un valor de 31.53 kWh/mes, cabe resaltar que la energía solar disponible (E\_Avail) en todos los meses es mayor a la energía necesitada por el usuario (Eload). Teniendo en cuenta lo datos anteriores de demanda de energía el panel FV si logra abastecer la carga residencial, ya que al año este está generando 583.17 kWh/año entregando a la carga 410.64 kWh/año dejando 150.8 kWh/año de energía no usada.

**Figura 22.**

*Resultados obtenidos sin considerar efectos de sombra*

**Balances and main results**

	<b>GlobHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>GlobEff</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>E_Avail</b> kWh	<b>EUnused</b> kWh	<b>E_Miss</b> kWh	<b>E_User</b> kWh	<b>E_Load</b> kWh	<b>SolFrac</b> ratio
<b>January</b>	162.2	170.2	53.91	16.69	0.000	34.91	34.91	1.000
<b>February</b>	149.8	153.2	48.36	15.14	0.000	31.53	31.53	1.000
<b>March</b>	154.7	151.4	47.56	10.86	0.000	34.91	34.91	1.000
<b>April</b>	160.4	152.1	48.13	12.53	0.000	33.78	33.78	1.000
<b>May</b>	176.9	162.1	50.97	14.67	0.000	34.91	34.91	1.000
<b>June</b>	167.4	150.1	47.74	11.51	0.000	33.78	33.78	1.000
<b>July</b>	170.0	153.3	48.38	11.98	0.000	34.91	34.91	1.000
<b>August</b>	167.9	156.0	49.10	12.36	0.000	34.91	34.91	1.000
<b>September</b>	149.0	144.1	45.13	10.24	0.000	33.78	33.78	1.000
<b>October</b>	142.8	142.2	44.46	7.90	0.347	34.56	34.91	0.990
<b>November</b>	141.1	145.0	45.98	10.42	0.000	33.78	33.78	1.000
<b>December</b>	160.0	169.1	53.46	16.50	0.000	34.91	34.91	1.000
<b>Year</b>	1902.3	1849.0	583.17	150.80	0.347	410.64	410.99	0.999

**Legends**

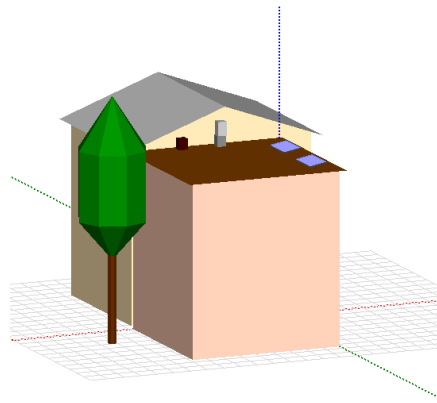
GlobHor Global horizontal irradiation  
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings  
 E\_Avail Available Solar Energy  
 EUnused Unused energy (battery full)  
 E\_Miss Missing energy

E\_User Energy supplied to the user  
 E\_Load Energy need of the user (Load)  
 SolFrac Solar fraction (EUsed / ELoad)

Al considerar el sombreado se utiliza la herramienta 3D que incluye PVSYST, la Figura 23 presenta un modelo de la situación en donde se observa que existen varios objetos que pueden generar sombra (árbol, condensadores y techo), por lo cual se considera pertinente realizar el dimensionamiento teniendo en cuenta el sombreado.

**Figura 23.**

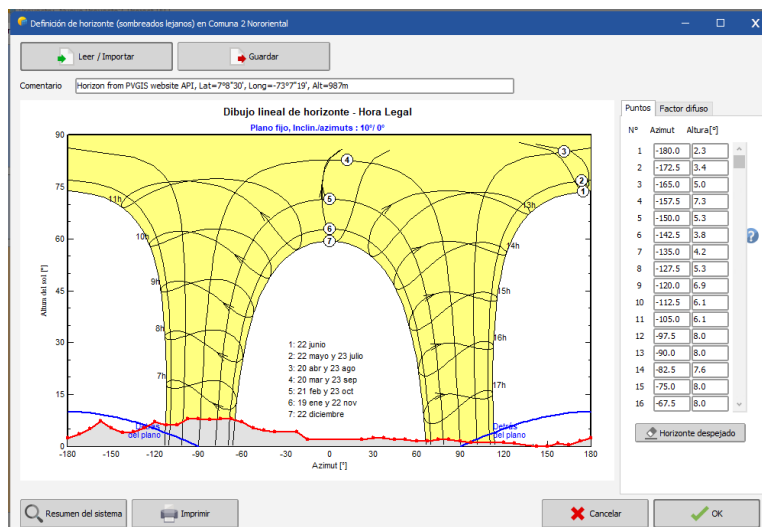
*Modelo de la situación de sombreado*



PVsystem es una herramienta muy completa que ofrece un horizonte que mediante la posición de puntos pueden diseñarse las sombras que se requieran o también se pueden exportar de "PVGIS Horizon from Web" tantos puntos como se desee. La Figura 24 muestra la configuración del horizonte en el programa.

**Figura 24.**

*Diseño de sombra en PVsystem*



Los resultados obtenidos considerando los efectos del sombreado se muestran en la Figura 25

**Figura 25.**

*Resultados obtenidos considerando los efectos de la sombra*

**Balances and main results**

	<b>GlobHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>GlobEff</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>E_Avail</b> kWh	<b>EUnused</b> kWh	<b>E_Miss</b> kWh	<b>E_User</b> kWh	<b>E_Load</b> kWh	<b>SolFrac</b> ratio
January	162.2	154.0	48.89	11.35	0.000	34.91	34.91	1.000
February	149.8	144.8	45.76	12.72	0.000	31.53	31.53	1.000
March	154.7	147.9	46.39	9.36	0.000	34.91	34.91	1.000
April	160.4	148.8	46.97	11.34	0.000	33.78	33.78	1.000
May	176.9	166.3	51.96	15.43	0.000	34.91	34.91	1.000
June	167.4	157.7	49.99	13.77	0.000	33.78	33.78	1.000
July	170.0	159.2	50.03	13.34	0.000	34.91	34.91	1.000
August	167.9	159.0	49.89	13.12	0.000	34.91	34.91	1.000
September	149.0	141.2	44.07	9.03	0.000	33.78	33.78	1.000
October	142.8	132.6	41.39	4.59	0.243	34.66	34.91	0.993
November	141.1	132.0	41.83	6.16	0.000	33.78	33.78	1.000
December	160.0	151.1	47.92	11.19	0.000	34.91	34.91	1.000
<b>Year</b>	<b>1902.3</b>	<b>1794.6</b>	<b>565.10</b>	<b>131.40</b>	<b>0.243</b>	<b>410.75</b>	<b>410.99</b>	<b>0.999</b>

**Legends**

- |         |  |         |                                |
|---------|--|---------|--------------------------------|
| GlobHor | Global horizontal irradiation                | E_User  | Energy supplied to the user    |
| GlobEff | Effective Global, corr. for IAM and shadings | E_Load  | Energy need of the user (Load) |
| E_Avail | Available Solar Energy                       | SolFrac | Solar fraction (EUsed / ELoad) |
| EUnused | Unused energy (battery full)                 |         |                                |
| E_Miss  | Missing energy                               |         |                                |

Al realizar la comparación de los resultados obtenidos se analiza los efectos de considerar o no el sombreado, llegando a la conclusión de que sin sombras el panel tiene una energía solar disponible de 583.17 kWh/año y con sombreado de 565.1 kWh/año, en donde el sombreado afecta en 18.07 kWh/año, a pesar de esta diferencia aún con la presencia de sombreado, el panel FV lograría abastecer las necesidades de la carga residencial.

## 2.2 Consumo de energía diario

Teniendo en cuenta las necesidades diarias de las personas al utilizar los electrodomésticos en sus hogares para su vida cotidiana se estimará el consumo de energía de una vivienda básica. El objetivo es identificar consumos básicos que se puedan satisfacer con los módulos fotovoltaicos los cuales logren que los siguientes equipos puedan operar de manera eficiente y brinden solución a las necesidades de las personas.

1. Nevera
2. Licuadora
3. Televisor
4. Radio y celular
5. Lámparas led

Los equipos instalados fueron diseñados contemplando los consumos basados en elementos comerciales (televisor, licuadora, nevera y lámpara led) alimentados en corriente alterna de 110 V y frecuencia de 60 Hz, con esto se garantiza la facilidad en la operación de los sistemas en todo el circuito de distribución y fácil mantenimiento de la instalación después que el sistema es conectado a la salida del inversor. Para realizar el cuadro de carga se tiene conocimiento de las cargas y la ubicación exacta del sistema (Espitia, 2020).

En el análisis se estima que el uso del televisor es continuo pero interrumpido por los ciclos de encendido y apagado; el funcionamiento de la nevera es continuo y este consumo se considera como la carga más importante en las simulaciones ya que impacta altamente en el dimensionamiento del inversor DC/AC y de las baterías. La Tabla 1 especifica la potencia, y la cantidad de electrodomésticos que se encuentran en la vivienda y sus horas de funcionamiento.

**Tabla 1.***Cuadro de Cargas para viviendas*

Equipo	Potencia (W)	Cantidad	Potencia instalada (W)	Horas diarias de funcionamiento	Energía Diaria (Wh/día)
Lámpara LED	7	4	28	6	168
Licuadaora	75	1	75	0,3	22,5
Nevera	61	1	61	5	305
Televisor	60	1	60	5	300
Radio/Celular	12	1	12	8	96
<b>TOTAL</b>	<b>215</b>				<b>891</b>

### 2.2.1 Estimación de la curva de demanda diaria

La curva de demanda representa la variación de la demanda de una carga eléctrica en un transcurso de tiempo. Se elige un intervalo de tiempo diario, se tiene en cuenta que la carga no es constante en el periodo analizado.

La estimación de la curva de demanda eléctrica determina la curva guía que se ajusta al comportamiento que presenta la carga durante un día.

Se utilizó la herramienta Excel para realizar la curva de demanda diaria, teniendo en cuenta la potencia activa y el factor de potencia de los electrodomésticos mencionados en la Tabla 2. Para obtención de la curva se calcula la potencia aparente y reactiva por horas de consumo utilizando las siguientes ecuaciones:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$FP = \frac{P}{S} \quad \text{Ecuación 3}$$

En donde:

P: potencia activa de los electrodomésticos

S: potencia aparente

Q: potencia reactiva

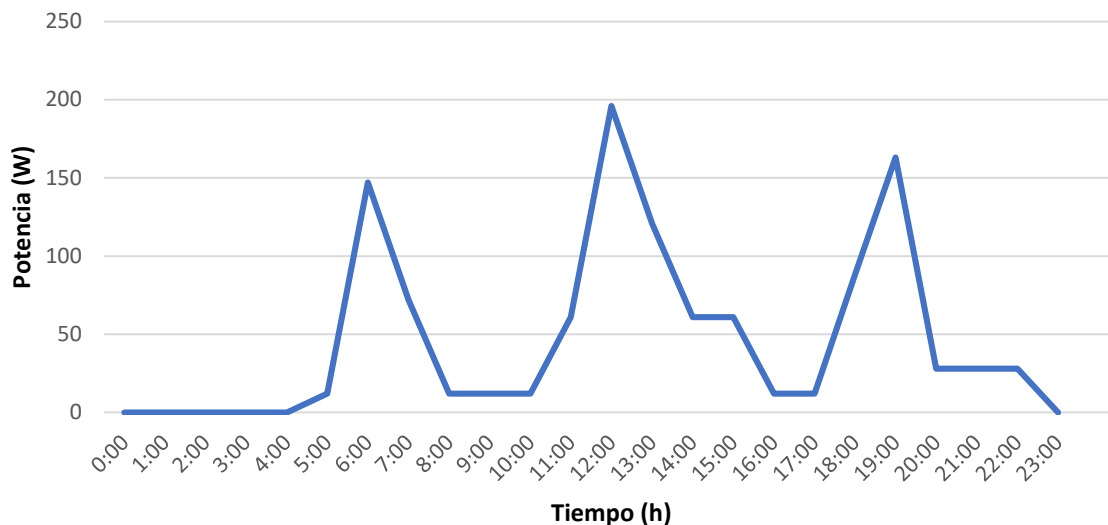
FP: factor de potencia de los electrodomésticos

**Tabla 2.**

*Especificaciones de los electrodomésticos*

<b>Equipo</b>	<b>P (W)</b>	<b>FP</b>		<b>S (VA)</b>	<b>Q (VAR)</b>
Bombillas LED 7W	28	0.98	Adelanto	28.57	-5.69
Licadora	75	0.90	Atraso	83.33	36.32
Nevera	61	0.90	Atraso	67.78	29.54
Televisor	60	0.98	Adelanto	61.22	-12.18
Radio y celular	12	0.98	Adelanto	12.24	-2.44

La Figura 26 muestra la curva de demanda diaria, en donde el eje x representa el tiempo en horas y el eje y representa la potencia eléctrica demandada en W. El área que se forma por debajo de la curva se identifica como la energía demandada.

**Figura 26.***Curva de demanda*

La curva de demanda fue calculada teniendo en cuenta la potencia de consumo por horas en un día como muestra el Anexo I. Las horas en donde se utilizan cada electrodoméstico se estimaron tomando como base los consumos básicos de una vivienda básica. Se encuentran 3 puntos importantes en el comportamiento de la curva de demanda de energía, estos son, el punto uno se presenta en la mañana (06:00 a 07:00), punto dos en el horario del medio día (12:00 a 13:00) y el punto tres en la noche (18:00 a 19:00), siendo el segundo punto el de mayor consumo de energía eléctrica, debido a que son las horas en donde utilizan al tiempo varios electrodomésticos tales como: televisor, licuadora, nevera.

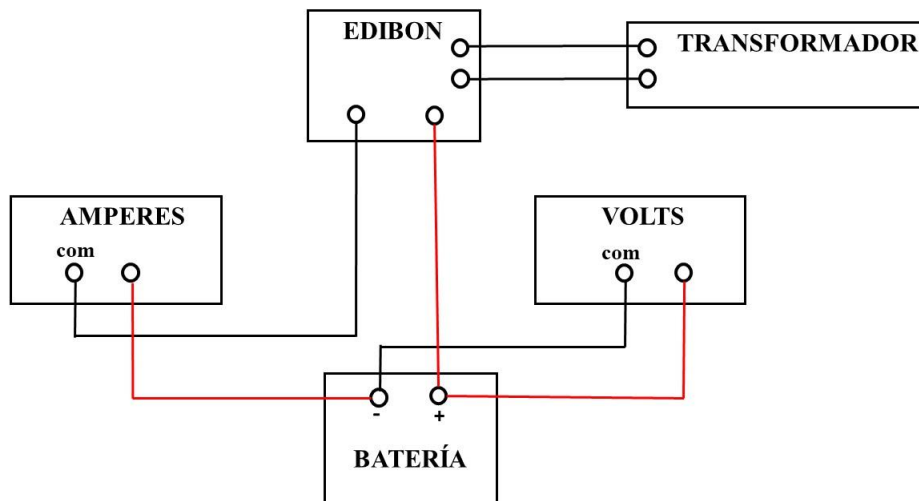
## 2.2 Curva de carga y descarga de la batería

El funcionamiento de una batería se describe de dos formas: la carga y descarga. El cual depende del sentido de la corriente. La carga de la batería ocurre cuando el flujo de corriente llega al terminal positivo, aumentando el voltaje en sus bornes y la carga que esta almacenada. La descarga sucede cuando la carga consume energía y la corriente fluye por la salida del terminal positivo, trayendo como consecuencia que disminuya la tensión y al mismo tiempo la carga almacenada en la batería.

Para obtener la curva de carga de la batería SEC-12-TSG-250, se realizan pruebas utilizando un equipo modular de energía solar fotovoltaica diseñado por edibon, el cual necesita conectarse a un transformador debido a que la red eléctrica de las instalaciones del edificio no es compatible con la tensión que requiere el equipo. Por medio del equipo se simula la generación para poder cargar la batería. La Figura 27 muestra la conexión que se realiza para las pruebas de la carga de la batería.

**Figura 27.**

*Prueba de medición de Amperes y Volts para carga de batería*

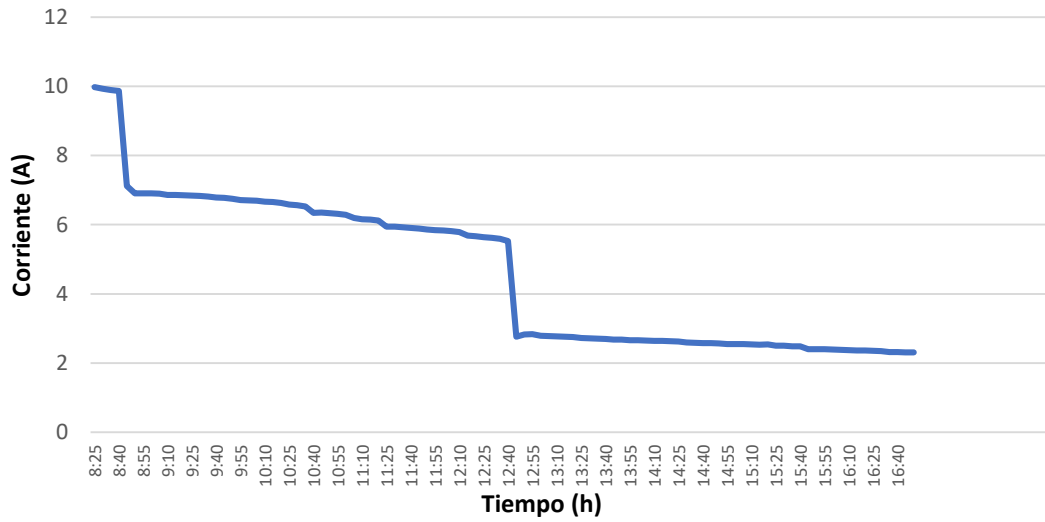


La prueba se realiza durante ocho horas y se toman muestras de corriente y tensión cada 5 minutos, con esos valores se calcula la potencia y la cantidad de energía. Por medio de la herramienta de Excel se obtienen la curva de carga de la batería. El Anexo J muestra los valores obtenidos durante la prueba.

La Figura 28 muestra la curva de corriente vs tiempo, la cual describe el comportamiento de la corriente durante la carga de la batería.

**Figura 28.**

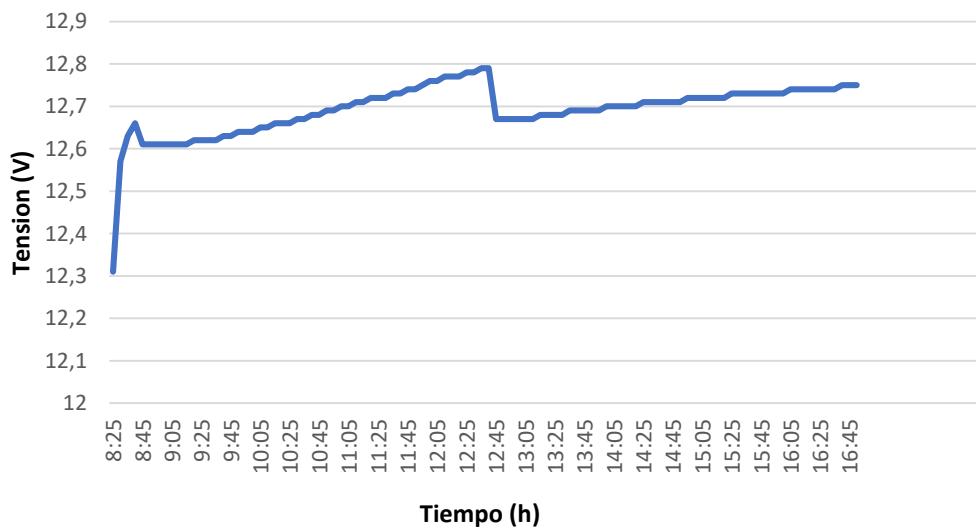
*Curva de Corriente vs Tiempo*



La Figura 29 muestra la curva de tensión vs tiempo, la cual describe el comportamiento de la tensión durante la carga de la batería.

**Figura 29.**

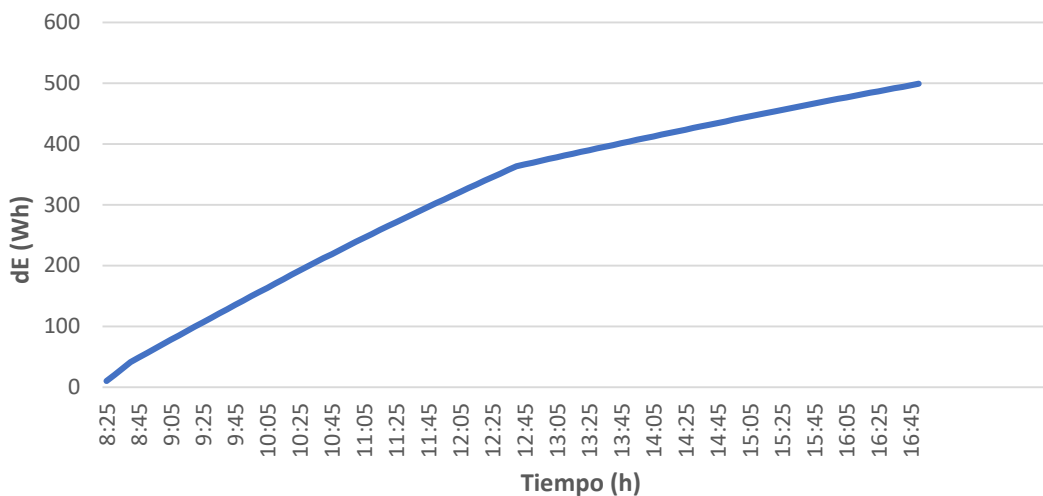
*Curva de Tensión vs Tiempo*



La Figura 30 muestra la curva de energía vs tiempo que describe el comportamiento de la energía (dE) durante la carga de la batería.

**Figura 30.**

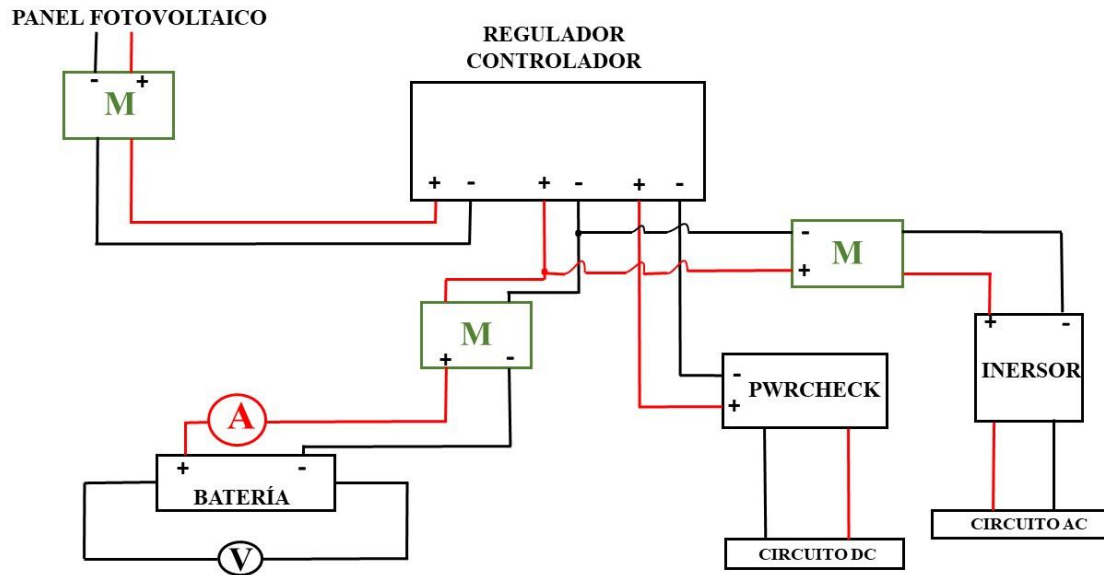
*Curva de Energía (dE) vs Tiempo (carga de la batería)*



Para obtener la curva de descarga de la batería SEC-12-TSG-250 se conecta una carga constante de 65 W, las pruebas se realizan durante dos horas, el cual fue el tiempo que demoró en descargar la batería. Se tomaron muestras de tensión y corriente cada 5 minutos. La Figura 31 muestra el conexionado para realizar la prueba de descarga de la batería. Cabe destacar que, durante el proceso de carga, la batería demandó aproximadamente 500 Wh, mientras que durante la descarga entregó alrededor de 180 Wh. La Figura 32 muestra la curva energía vs tiempo.

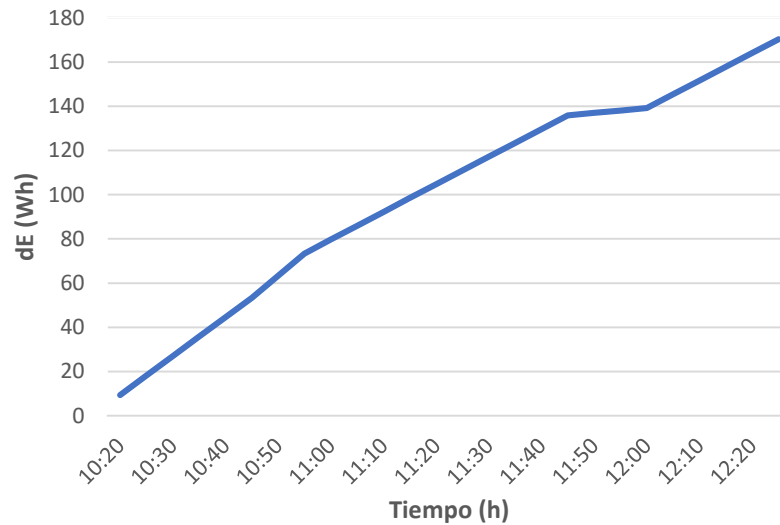
**Figura 31.**

*Prueba de medida de Amperes y Volts para la descarga de la batería*



**Figura 32.**

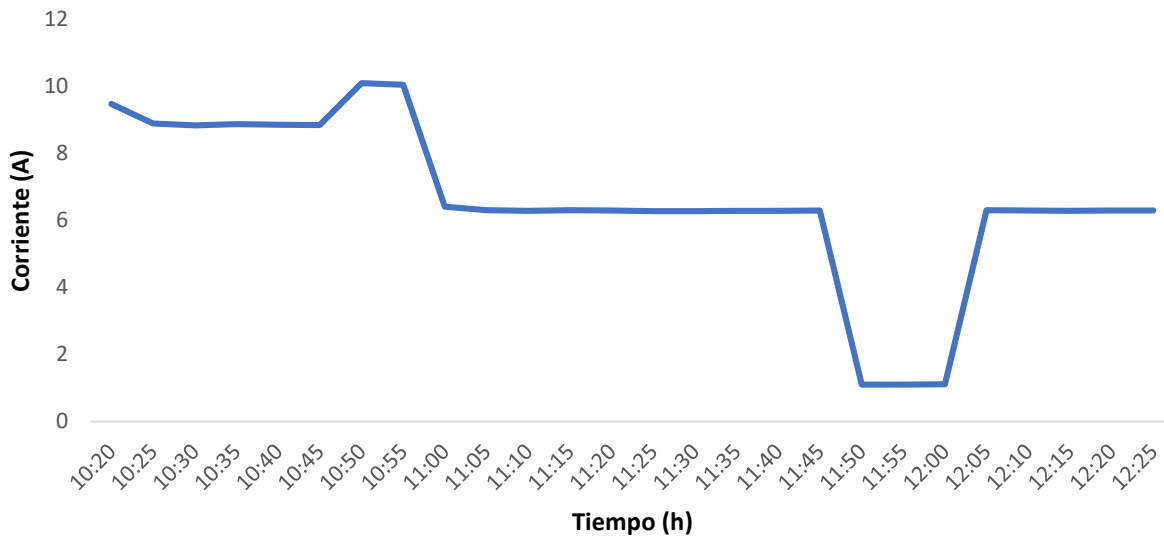
*Curva de Energía (dE) vs Tiempo (descarga de la batería)*



Por medio de la herramienta Excel con los datos obtenidos en la prueba se realiza la curva de corriente vs tiempo y tensión vs tiempo. El Anexo K muestra los valores de tensión y corriente obtenidos durante la prueba. La Figura 33 describe la curva de corriente vs tiempo, la cual describe el comportamiento de la corriente durante la descarga de la batería.

**Figura 33.**

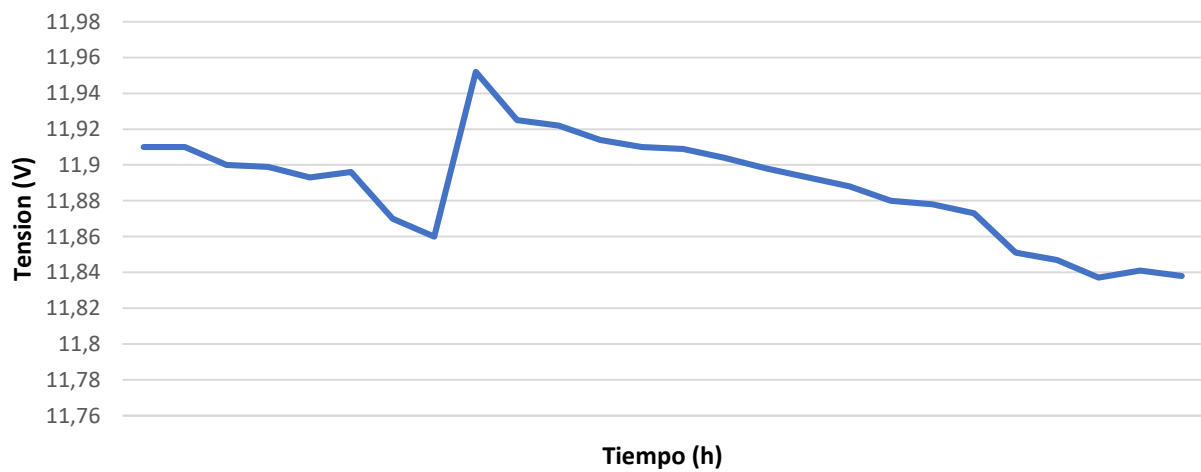
*Curva de Corriente vs Tiempo*



La Figura 34 muestra la curva de Tensión vs tiempo, la cual describe el comportamiento de la tensión durante la descarga de la batería.

**Figura 34.**

*Curva de Tensión vs Tiempo*



### 3. Diseño de esquemas

Este capítulo presenta los planos eléctricos con su respectivo diagrama unifilar y memorias de cálculo. Se explica el procedimiento que deben seguir para la instalación del panel FV, controlador, batería, inversor y circuitos DC y AC, planteando que la instalación sea ejecutada por personal con conocimientos en instalaciones eléctricas fotovoltaicas y domiciliarias.

#### 3.1 Elaboración de planos eléctricos

La elaboración de planos eléctricos incluye el diagrama unifilar de los módulos de entrenamiento, el diagrama unifilar de la vivienda y plano de cableado interno de la vivienda.

El diagrama unifilar de una instalación eléctrica es un esquema que describe gráficamente la ubicación de los elementos y equipos que conforman los módulos de entrenamiento. Además, abarca la información técnica de la que dispone cada equipo y elementos tales como: conductores, protecciones, canalizaciones que conforman el diagrama unifilar de los módulos de entrenamiento y de la vivienda. El Anexo L muestra, en los incisos a) y b), el diagrama unifilar de los módulos de entrenamiento y la vivienda residencial.

El plano de la vivienda muestra donde se ubica cada elemento que conforma la instalación, señala los sitios exactos de los tomacorrientes, lámpara e interruptor; su principal propósito es conocer su ubicación real. Además, se señala la trayectoria del conductor y se dividen los circuitos que conformaran la instalación eléctrica. El cuadro de carga que muestra la Tabla 3 es fundamental para calcular la cantidad de circuitos que tendrá la vivienda, además se determina las protecciones,

cableado y canalización. El Anexo L, en el inciso c), muestra el plano del cableado interno de la vivienda residencial. El Anexo M describe los cálculos de la sección transversal para hallar el calibre del conductor, las protecciones y la tubería que se requiere utilizar. El Anexo N describe los aspectos generales de la instalación.

### 3.2 Presupuesto

El presupuesto es la cantidad de dinero que se necesita para ciertos gastos en la ejecución de un proyecto. De tal forma que se pueda definir una cifra anticipada en la que se estima el costo que se supone para la realización del proyecto.

Las tablas 4 y 5 muestran los materiales e insumos, equipos necesarios para la ejecución del proyecto, en donde se tiene en cuenta que algunos se tienen en el laboratorio de AT205. La Tabla 18 muestra los equipos y materiales que requieren prioridad para poder ejecutar las mejoras del proyecto.

**Tabla 3.**

*Materiales y suministros*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>	<b>Suministro existente*</b>
Cable solar de 4 mm <sup>2</sup> , negro	68 m	169000	338000	
Kit Anderson Powerpole Conectores	1	162000	162000	
Caja de paso metálica para cuatro circuitos. Medidas de: 19 x 22 x 6 cm	1	41950	41950	
Cable de Cobre Aislado No 12 AWG THHN Color Verde Rollo de 50 m	1 rollo	137500	137500	

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>	<b>Suministro existente*</b>
Tomacorrientes GFCI 15 A	2	30000	60000	
Interruptor automático DC 2P 550VDC 16 A	4	114751	459004	
Interruptor automático DC 1P 250VDC 16 A	2	64000	128000	
Interruptor automático DC 1P 120VDC 25 A	4	29500	118000	
Interruptor automático de riel de 20 A AC	1	20750	20750	
Tornillos para el OLMO	4	500	6000	
Terminales de ojo 10/12 AWG, ¼	4	420	1680	
Cable AWG N°14 2m con terminal en un extremo	4	20000	80000	
Conector Tipo Banana (Dos rojos- Dos negros)	12	3361	40332	
Tubo de 1" IMC 3 m	4	87850	351400	
Cajas eléctricas	2	9000	18000	
Riel omega X 1m	1	10000	10000	
<b>TOTAL</b>			<b>1972616</b>	

*Nota.* \*Suministro existente en el laboratorio de AT205

**Tabla 4.**

*Compra y uso de equipos.*

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>	<b>Equipo existente*</b>
Medidor de consumo eléctrico	2	166000	332000	
Controlador serie OLMO 20 A	1			X
ONDA PURA 1000W/12V - PURE SINE WAVE IP1000-11 -EPEVER	1	682000	682000	
<b>Total</b>			<b>1014000</b>	

*Nota.* \*Suministro existente en el laboratorio de AT205

**Tabla 5.***Equipos y materiales con prioridad.*

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>	<b>Equipo existente*</b>
ONDA PURA 1000W/12V - PURE SINE WAVE IP1000-11 -EPEVER	1	682000	682000	
Tomacorrientes GFCI 20 A	2	30000	60000	
Grapa abrazadera	4	1000	1000	
Controlador serie OLMO 20 A	1			X
Kit Anderson Powerpole Conectores	1	162000	162000	
Tornillos para el OLMO	4	500	6000	
Cable AWG N°14 2 m con terminal en un extremo (Dos rojos- Dos negros)	4	20000	80000	
Cajas eléctricas	2	9000	18000	
Terminales de ojo 10/12 AWG, ¼	4	420	1680	
Conector Tipo Banana (Dos rojos- Dos negros)	12	3361	40332	
<b>TOTAL</b>			<b>1051012</b>	

*Nota.* \*Suministro existente en el laboratorio de AT205

### 3.3 Mejoras eléctricas para los módulos fotovoltaicos

Desde que se implementaron los módulos de entrenamiento, éstos se han utilizado para algunas actividades de formación, por lo que al paso del tiempo algunos elementos han presentado fallas, lo que impide el buen uso de éstos; Algunos equipos como el inversor ya no cumplen su tarea debida a que no funcionan de manera adecuada, entregando menos potencia de la establecida en su ficha técnica.

El RETIE indica que toda instalación eléctrica requiere contar con protecciones; por lo que, un aspecto para fortalecer el carácter pedagógico de los módulos de entrenamiento sería la inclusión de protecciones en la parte DC, por lo que es recomendable según los cálculos realizados en el Anexo M.

Los módulos de entrenamiento ubicados en el laboratorio AT205 fueron construidos con fines didácticos y educativos, por lo que deben estar regidos por las normativas del RETIE y la NTC2050, la cual establecen que para las zonas húmedas los elementos de conexión como tomacorrientes deben ser de protección GFCI. Además, se precisa la puesta a tierra de los componentes dado que los estudiantes estarán en contacto con los módulos.

### ***3.3.1 Actividades para mejoras en el Laboratorio AT205***

Es importante identificar la ubicación de cada módulo de entrenamiento al momento de realizar las mejoras. A continuación, se indica la ubicación de cada uno:

- Módulo 1(Módulo de gestión y la operación del lado izquierdo y módulo de cargas)
- Módulo 2(Módulo de gestión y la operación del lado derecho y módulo de cargas)

Las actividades que se llevaron a cabo para las mejoras de acuerdo con el presupuesto disponible fueron las siguientes:

1. Zonas húmedas: Se realizó el cambio de dos (2) tomacorrientes convencionales por tomacorrientes GFCI.

2. Controladores: Se reinstaló el controlador Steca en el tablero del Edibon.

Módulo 1: se instaló el controlador de la serie OLMO 20 A.

3. Batería: Se instalaron conectores y cable formal para la batería.

4. Inversores: Se cambió el inversor Xantrex PROwatt SW 600 por un inversor de la referencia inversor onda pura ONDA PURA 1000W/12V - PURE SINE WAVE IP1000-11 - EPEVER en el módulo 1.

5. Modulo 2: Se cambió el orden de los módulos del lado derecho, para que tenga el mismo orden del módulo de la izquierda. Se fijaron los cables, permitiendo removerlos con facilidad.

6. Se conectó la entrada de los inversores a la batería.

El Anexo Ñ muestra el proceso y resultado de la implementación de las mejoras en los dos módulos de entrenamiento que se encuentran en el Lab. AT205.

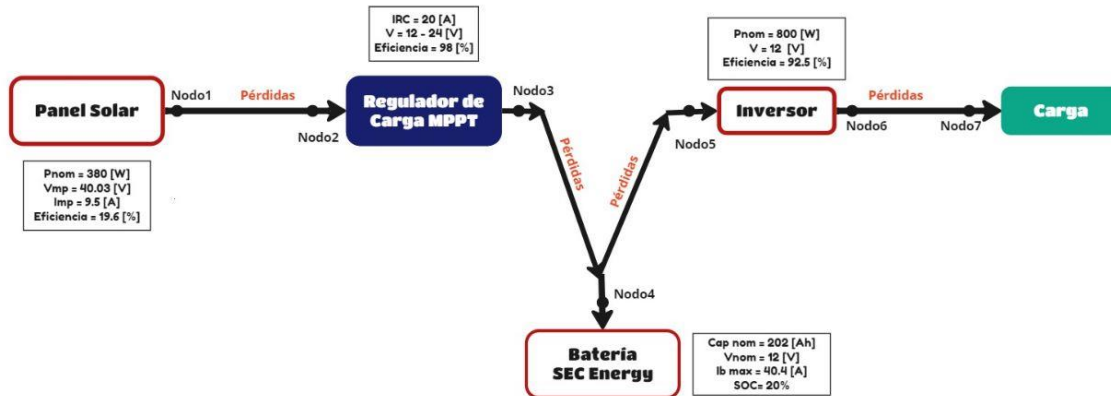
#### **4. Simulación sistema repotenciado**

En este capítulo por medio del programa *Visual Estudio Code* se desarrolla la simulación de posibles escenarios de un sistema fotovoltaico aislado variando temperatura, irradiancia y carga, en donde los resultados obtenidos permiten verificar que los equipos seleccionados operan en óptimas condiciones.

El modelado principal se basa en un balance de potencia y pérdidas en los conductores que está asociado al esquema de la Figura 35 y como muestran en las expresiones del Anexo P. En el Lab. AT205 se encuentra la configuración que se presenta a continuación, la cual se utiliza como referencia para la simulación.

**Figura 35.**

*Configuración 1 del módulo de entrenamiento.*



Para la simulación del caso de estudio se desarrolla un aplicativo que permite visualizar la operación del sistema aislado de acuerdo con unos escenarios de simulación. Esta simulación tiene en cuenta que el regulador es de tipo MPPT y asume que el inversor no es una fuente ideal. La caracterización de los equipos utilizados no abarca la electrónica de potencia de sus componentes.

#### 4.1 Selección de escenarios de simulación

Al realizar un análisis de la operación del sistema fotovoltaico aislado se definen diferentes escenarios que representan casos de estudio donde se logra evidenciar los diferentes comportamientos de acuerdo con los flujos de potencia. Variando parámetros como: irradiancia, temperatura y cargas conectadas al sistema. La carga pertenece a una curva de demanda de un usuario residencial como se describe en el Anexo I. La Tabla 6 muestra 3 diferentes escenarios que se pueden presentar.

**Tabla 6.***Selección de escenarios de simulación.*

<b>Escenario</b>	<b>Irradiancia [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Temperatura [°C]</b>	<b>Carga [W]</b>
1	654.7	31	12
2	782	31	12
3	0.1	24	40

## 4.2 Resultados de simulación

Al simular la operación del módulo de entrenamiento en el aplicativo web se obtiene los siguientes resultados, analizándose cada caso de acuerdo con el flujo de potencia.

### a) Escenario 1:

El escenario 1 se desarrolla en una franja horaria entre las 11 -12 am donde la irradiancia es de 654,7 W/m<sup>2</sup> y la carga nominal de 12 W. El estado de carga inicial de la batería es del 80%, por lo que el generador fotovoltaico suministra potencia a la batería y a la carga. Presentándose los siguientes flujos de potencia:

- El panel FV genera 218,93 W por lo que trabaja en un punto de máxima potencia para las condiciones dadas.
- La potencia en la entrada del controlador es de 216,64 W, que equivale a la potencia que genera el panel FV menos las pérdidas de los conductores.
- La batería al cargarse consume 192,24 W y su estado actual de carga es 87.14%, incrementando como muestra el Anexo O.
- Al inversor llegan 14,58 W encontrándose en los terminales de la carga 126,88 V y 0,10 A lo que darían 13,41 W de potencia.

**b) Escenario 2:**

El escenario 2 se desarrolla en una franja horaria entre las 10 -11 am donde la irradiancia es de  $782 \text{ W/m}^2$  y la carga nominal es de 12 W. La potencia demandada por la carga es menor a la potencia generada por el panel fotovoltaico y la batería se encuentra cargada por lo que se debe limitar la potencia generada por el panel para evitar presentar excedentes de energía. Presentando los siguientes flujos de potencia: los terminales de la carga tienen 13,4158 W, el inversor 13,5825 W, la batería 0 W debido a su estado de carga es de 100%. En la entrada del controlador se requieren 14,93 W y el panel FV está entregando sin excedentes 15,17 W de potencia, sin trabajar en su punto máximo de potencia dada las condiciones iniciales.

**c) Escenario 3:**

El escenario 3 se desarrolla en una franja horaria entre las 6 -7 pm donde la irradiancia es de  $0.1 \text{ W/m}^2$  y la carga nominal es de 40 W. La potencia que demanda la carga supera la potencia generada por el panel FV y el estado de carga inicial de la batería es del 70%, por lo que puede entregar la potencia para alimentar la carga. Presentándose los siguientes flujos de potencia:

- El panel FV no genera potencia.
- No hay potencia de entrada ni de salida en el controlador.
- La batería entrega 48,67 W con un estado de carga actual de 97.7%, en donde disminuye como muestra el Anexo O.
- Al inversor le entregan 48,39 W, llegando 44,52 W hasta la carga de potencia teniendo en cuenta las pérdidas en el conductor AC.

### **4.3 Aplicativo en la web**

El Anexo P describe las ecuaciones de la caracterización de la operación del sistema fotovoltaico aislado y a continuación se presenta el enlace de acceso al aplicativo: <https://sistemafotovoltaico.000webhostapp.com/>

En el desarrollo del aplicativo web se utilizan lenguajes de programación que proporcionan la creación de estructuras, modelar la interfaz y añadir métodos de análisis facilitando el tratamiento de datos para la ejecución de las operaciones matemáticas, simulando los escenarios propuestos por el usuario. Por medio de algoritmos se crea una interfaz que permita ejecutar una función mostrando un diagrama circular que arroje la relación que existe entre los valores de la misma naturaleza. el uso de este algoritmo es aplicado para la creación de interfaces gráficas, con el objetivo de mostrar los comportamientos de los elementos del sistema, tales como; la potencia generada por el panel y el estado continuo de la batería. Esta aplicación se crea con un fin educativo y abierta al público para su uso.

#### ***4.3.1 Exportación de datos***

Dentro del aplicativo se encontrará un apartado de inicio el cual contine información de utilidad para esclarecer el uso del sitio web. El cual mostrara un paso a paso explicando el funcionamiento en un archivo de Excel. El usuario contara con una plantilla para que ingrese los datos requeridos de irradiancia, temperatura, valor de carga y factor de potencia, o si lo desea puede ingresarlos directamente. El archivo de Excel estará programado para que el usuario pueda tomar los datos con la nomenclatura estipulada e incluirlos en la aplicación de esta forma la

plantilla queda a total ejecución del usuario y el aplicativo se encargará de tratar esos datos internamente. La Figura 36 muestra la pestaña de importación de datos.

Figura 36.

Pestaña plantilla de importación de datos.

Casel
**SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO**

🏠 CASO GENERAL
📊 GRÁFICAS: P-V, I-V
👤 COMPORTAMIENTO SOC
👤 NOSOTROS

INSTRUCCIONES PARA EL USO

1. Acorde a la necesidad de estudio, disponer de datos horarios de las siguientes variables: irradiancia, temperatura ambiente, carga residencial, factor de potencia. Tomar como mínimo 1 hora y como máximo 720 horas (30 días).
2. Una vez tomados los datos, almacenarlos en la plantilla de Excel (Vectores.xlsx) adjunta en esta pestaña del aplicativo. Esta plantilla consta de 4 pestañas, a saber: irradiancia (Gin), temperatura ambiente (Tamb), carga demandada (Load) y factor de potencia (FP). El usuario solo debe copiar cada uno de los 4 vectores que la plantilla crea automáticamente con los datos existentes. Posteriormente, cada uno de los vectores debe ser pegado en la casilla correspondiente en la pestaña CASO GENERAL del aplicativo.  
NOTA: La plantilla está diseñada para que la separación de los valores por defecto sea ";", si no es así, se debe a una configuración regional en el computador, lo cual se puede cambiar en la casilla Separador de listas en la siguiente ruta: Panel de control → Hora, Idioma y Región → Formatos → Configuración adicional → Números → Separador de listas.
3. Ingresar valores nominales del panel FV, controlador, inversor, batería:
4. Eficiencia y potencia nominal del controlador: Por ejemplo: 0.98 -500 W.
5. Eficiencia y potencia nominal del inversor: Por ejemplo: 0.93 -1000 W.
6. Estado de carga de la batería: Ingresar el SOC mínimo y el SOC inicial.
7. Ingresar las distancias aproximadas entre: Generador fotovoltaico-Controlador(L12), Batería-Controlador(L34), Batería-Inversor(L45) y Carga-Inversor(L67).
8. Elegir el día y la hora que desea estudiar.
9. Por último, obtener a partir de la simulación parámetros eléctricos (Vrms, Irms, P, S y eficiencia) y analizar los posibles escenarios que puedan presentarse al variar la carga, irradiancia y temperatura.

**NOTA:**

PhomRC: Potencia Nominal del Regulador Controlador.  
 NnomRC: Eficiencia Nominal del Regulador Controlador.  
 PhomInvr: Potencia Nominal del Inversor.  
 n\_inv: Eficiencia Nominal del Inversor.

**Recuerda:**

NnomRC, n\_inv, soc mínimo y soc inicial no va con porcentajes. Ejemplo:  
 - Si el soc inicial de la batería es 100%, se debe poner el valor de 1.  
 - Si la eficiencia del inversor es 90%, se debe poner 0.9.

A continuación, podrá descargar la plantilla Vectores al dar click en el botón

DESCARGAR

A continuación se presenta el esquema en el cual se basa la programación de este aplicativo de acuerdo con los equipos que se encuentran en los módulos de entrenamiento del Laboratorio de Alta Tensión 205 de la Universidad Industrial de Santander.

```

                    graph LR
                        Solar[Panel Solar] -- "2 #6 AWG" --> N1((Nodo1))
                        N1 -- "Pérdidas" --> N2((Nodo2))
                        N2 -- "2 #6 AWG" --> Reg[Regulador de Carga MPPT]
                        Reg -- "2 #6 AWG" --> N3((Nodo3))
                        Reg -- "2 #6 AWG" --> N4((Nodo4))
                        N3 -- "Pérdidas" --> N5((Nodo5))
                        N5 -- "2 #6 AWG" --> Inv[Inversor]
                        Inv -- "2 #6 AWG" --> N6((Nodo6))
                        N6 -- "Pérdidas" --> N7((Nodo7))
                        N7 -- "2 #6 AWG" --> Carga[Carga]
                    
```

### 4.3.2 Esquema general

La pestaña “Caso General” está encargada de mostrar los parámetros de tensión, corriente, potencia, potencia aparente y otros aspectos relacionados acorde a cada equipo, permitiendo que el usuario manipule a libertad qué datos quiere observar, eligiendo el día y la hora de interés. El usuario tendrá que ingresar las características del sistema que requiere analizar y el algoritmo se encarga de realizar las operaciones matemáticas, arrojándole los resultados de los parámetros específicos de cada elemento. Por ejemplo: se simula con las siguientes condiciones irradiancia de  $594.6,7 \text{ W/m}^2$ , temperatura ambiente  $31^\circ\text{C}$  y carga nominal de  $12 \text{ W}$ , que corresponden al día 20 hora 12 de la plantilla de Excel. La potencia generada por el panel es mayor a la potencia nominal de la carga, y el estado de carga es menor a 99%, el generador fotovoltaico suministra potencia a la carga y a la batería. La Figura 37 muestra los resultados de la simulación en el aplicativo web, diagrama sectorial y las curvas del análisis diario.

**Figura 37.**

*Pestaña “Caso General” app web.*

**SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO**

CASO GENERAL GRÁFICAS: P-V, I-V COMPORTAMIENTO SOC NOSOTROS

Ingrese los valores correspondientes

Pmáx nom pFV: 380 N° células pFV: 72 Área pFV: 2 NOCT: 45 Imáx-NOCT: 7.55 Voc STC pFV: 48.71 Ingrese L12: 10

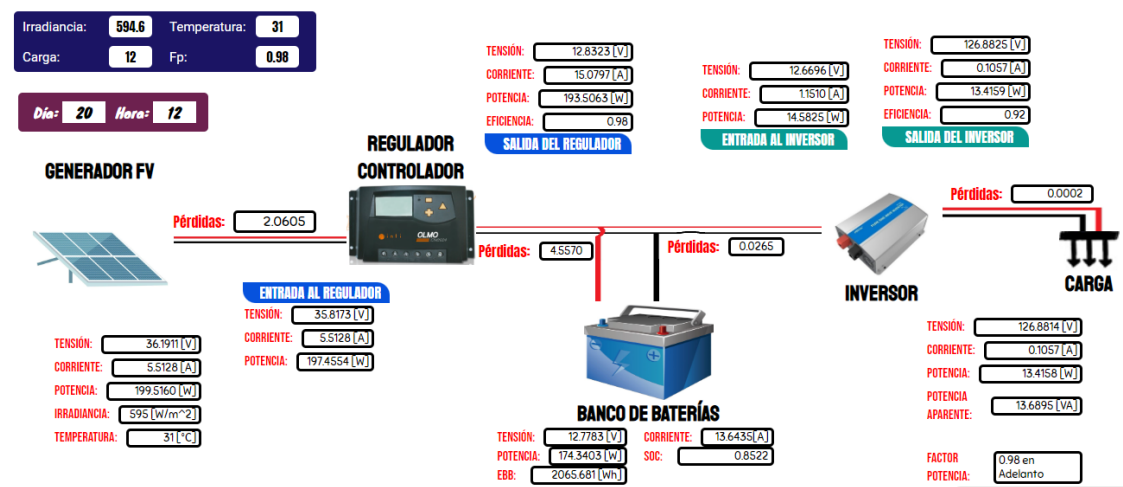
Isc STC pFV: 10.05 Vmp STC pFV: 40.03 Imp STC pFV: 9.55 PnomRC: 260 NnomRC: 0.98 PnomInv: 800 Ingrese n\_inv: 0.92 Ingrese L34: 3

Vector Irradiancia: 0, 0, 0, 0, 0 Vector Temperatura: 22, 22, 22, 2 Vector Carga: 0, 00001, 0, 0 Vector Fp: 0, 0, 0, 0, 0 Ingrese L45: 3

Ingrese el soc mínimo: 0.2 Ingrese el soc inicial: 0.8 Capacidad nominal de batería: 202 Ingrese el día: 20 Ingrese la hora: 12 Ingrese L67: 3

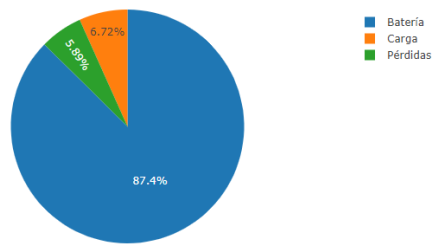
CALCULAR

## ESQUEMA GENERAL



## DIAGRAMA SECTORIAL

El diagrama sectorial muestra como se distribuye la potencia del generador fotovoltaico entre las pérdidas, la batería y la carga.  
 Nota: En algunos escenarios el generador fotovoltaico suministra poca potencia al sistema y es trabajo de la batería aportar la energía necesaria para suplir la demanda requerida por la carga, es decir la batería no recibe energía, por lo que el diagrama toma nulo el valor de potencia que la batería recibe y no lo muestra.



El día seleccionado fue: 20, en la hora: 12

## ANÁLISIS DIARIO

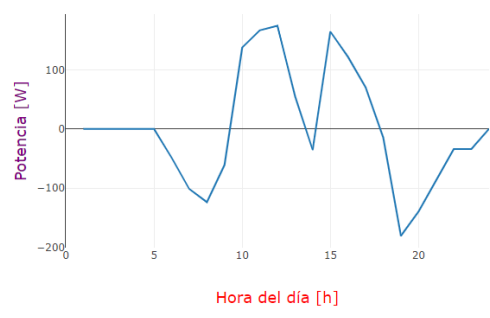
Graficar

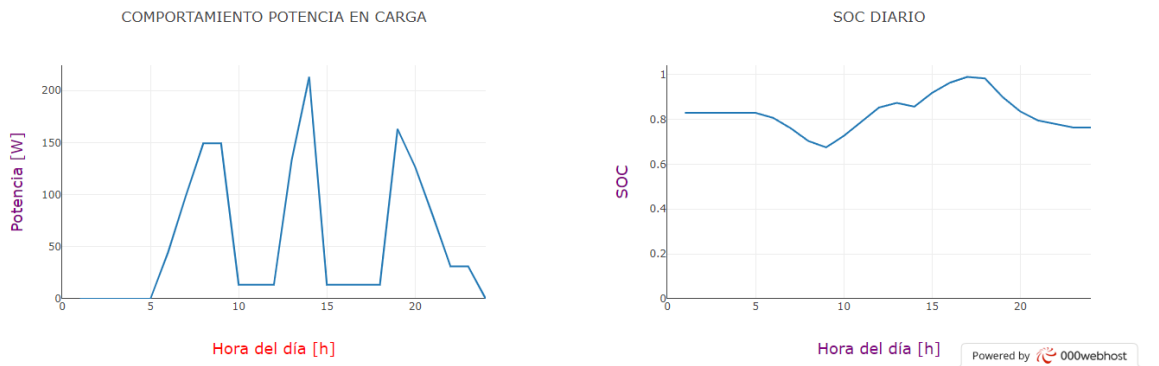


COMPORTAMIENTO POTENCIA EN PANEL



COMPORTAMIENTO POTENCIA EN BATERÍA





### 4.3.3 Curvas PV-IV

La pestaña “Curva PV-IV”, muestra las curvas de potencia – tensión y corriente – tensión del generador fotovoltaico para horas en particular que se le requiera. Permite observar la tensión, la corriente y el punto máximo de potencia de acuerdo con la irradiancia y temperatura para ese momento. La Figura 38 presenta las curvas que suministra la ficha técnica del panel JAM 380/PR para diferentes irradiancias a una temperatura de 25 °C, este caso en particular presenta las curvas para el día 20 hora 12.

**Figura 38.**

*Curvas PV-IV aplicativo web.*

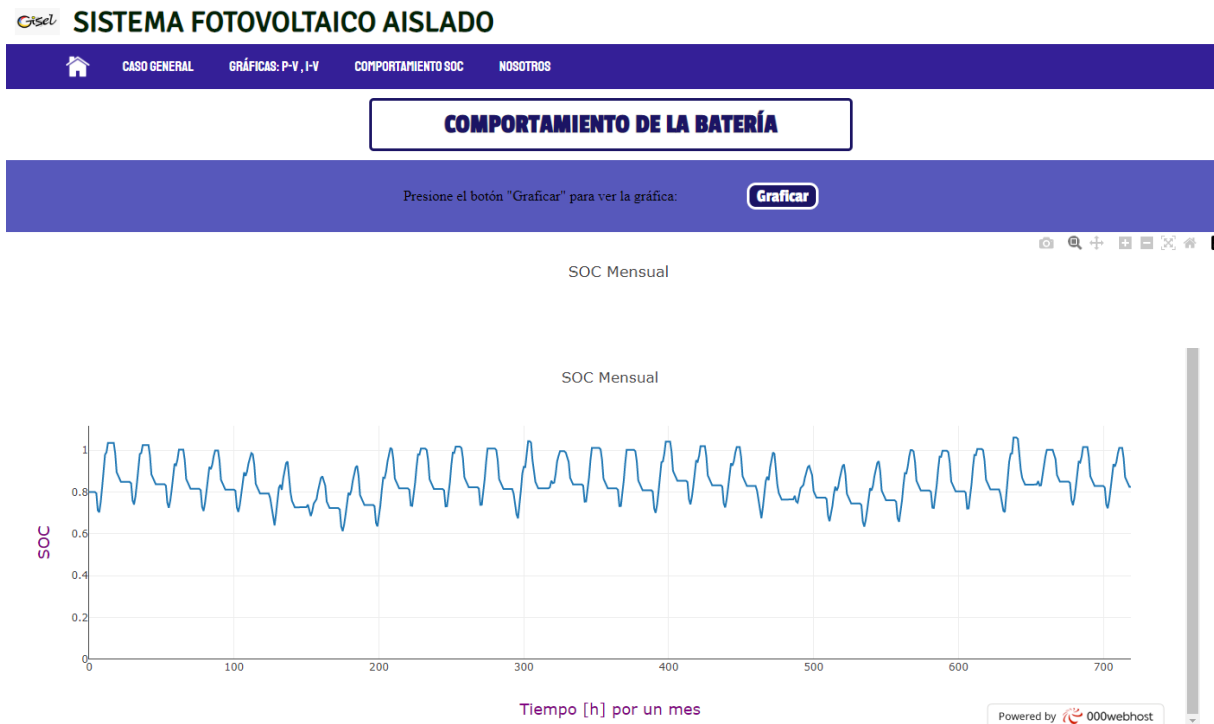


### 4.3.3 Comportamiento del estado de carga de la batería.

Para un periodo de 30 días se grafica cómo se comporta el SOC, es un parámetro importante a la hora de evaluar si el banco de baterías del sistema aislado se dimensionó de correcta forma. La Figura 26 muestra la pestaña grafica para el comportamiento del SOC en 30 días, donde se observa cómo se carga y se descarga la batería a lo largo del tiempo.

**Figura 39.**

*Pestaña gráfica comportamiento del SOC para 30 días.*



## 5. Manual de prácticas

Este capítulo presenta actividades propuestas para que los estudiantes, junto con el docente, puedan interactuar con los equipos y la aplicación web, lo que facilita el estudio del comportamiento y los resultados de las pruebas de sistemas fotovoltaicos. Estas actividades permiten adquirir habilidades prácticas, comprender el funcionamiento de los componentes y utilizar eficazmente los módulos de entrenamiento para comprender el funcionamiento de los

sistemas fotovoltaicos aislados. Además, se definieron actividades en áreas específicas para comprender el funcionamiento y como se integran todos los componentes en estos sistemas.

En total, se definieron 7 actividades que permitirán adquirir un conocimiento del sistema FV y desarrollar las habilidades necesarias para utilizar los módulos de entrenamiento de manera efectiva.

Las practicas que se realizaron fueron las siguientes:

- Práctica A: Reconocimiento de los equipos de los módulos de entrenamiento

La Práctica A consiste en la caracterización de los módulos de entrenamiento con el objetivo de reconocer los equipos y elementos que conforman un sistema aislado. Además, mediante el estudio de la ficha técnica de cada equipo se busca lograr una familiarización con ellos. Esta práctica es fundamental, ya que proporciona al estudiante los conocimientos teóricos fundamentales necesarios para llevar a cabo las siguientes prácticas de manera efectiva. Para la correcta ejecución de esta práctica, es necesario tener conocimientos previos en las áreas de electricidad, electrónica y energía solar fotovoltaica.

- Practica B: Verificación de parámetros eléctricos (tensión y corriente)

La realización de esta práctica permite al estudiante reconocer y analizar las conexiones necesarias para lograr la interconexión entre los equipos. El objetivo es obtener valores de los parámetros eléctricos que permitan validar el correcto funcionamiento del sistema y caracterizarlo de acuerdo con dichos valores. Para llevar a cabo esta práctica con éxito, es necesario que el estudiante cuente con un conocimiento mínimo en el manejo de los aparatos de medida. Esto asegurará que la actividad se lleve a cabo de manera efectiva y se obtengan mediciones precisas y confiables. Una vez completada esta práctica, el estudiante estará en una posición favorable para

continuar con las siguientes prácticas en el proceso de entrenamiento del sistema aislado fotovoltaico.

- Practica C: Curva de demanda

Esta práctica de laboratorio tiene como objetivo elaborar la curva de demanda de potencia eléctrica de una casa tipo, además estimar la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios para abastecer la demanda teniendo en cuenta la irradiación solar en la zona y las características de los paneles FV. Para llevar a cabo esta práctica, los estudiantes deberán completar las tablas con los valores que caracterizan la carga eléctrica de la casa y analizar la cantidad de energía necesaria para alimentar los dispositivos eléctricos que se encuentran en ella. Al completar esta práctica, los estudiantes habrán adquirido un nivel que les permita comprender escenarios característicos de demanda de una vivienda.

- Practica D: Carga y descarga de la batería

La práctica D tiene como objetivo determinar las curvas de carga y descarga de una batería. Para ejecutar esta práctica los estudiantes deben contar con conocimientos básicos sobre corriente, tensión, resistencia eléctrica y comprender el funcionamiento de los instrumentos de medida. Además, conocer la forma en la que opera la batería, incluyendo su capacidad de almacenamiento y la forma en la que está recibe y entrega energía. Una vez familiarizados con el escenario propuesto, los estudiantes podrán emplear las conexiones pertinentes con las cuales puedan iniciar los procesos de carga y descarga de la batería, tomando medidas de manera periódica de los parámetros de tensión y corriente. Con estos datos registrados en las tablas podrán establecer el escenario característico de la batería que muestra la curva de carga y de descarga, mostrando la relación existente entre la capacidad de la batería y el tiempo empleado para cargarse o

descargarse. Al completar esta práctica, los estudiantes habrán mejorado su comprensión de las baterías y el funcionamiento de éstas.

Es importante destacar que esta práctica demanda una cantidad considerable de tiempo. Por esta razón, se recomienda utilizar una batería más pequeña en lugar de las baterías en gel que pertenecen a los módulos de entrenamiento, ya que estas últimas requieren un mayor tiempo tanto para cargar como para descargar, lo que puede afectar negativamente el ritmo de la práctica.

- Practica E: Determinar eficiencia del inversor en el laboratorio AT205

Al realizar esta práctica se determina el máximo valor de potencia con el cual pueda trabajar un inversor. Este proceso ayuda a establecer el diseño de sistemas de conversión de energía eléctrica, mejorando su eficiencia y reduciendo pérdidas. Durante la práctica los estudiantes deben variar las cargas AC, permitiendo tomar distintos valores de tensión y corriente en la entrada y la salida del inversor, consiguiendo determinar la potencia que entra y sale del aparato, así mismo hallar la eficiencia del inversor.

- Practica F: Aplicativo: simulación del sistema fotovoltaico aislado

El objetivo de esta práctica de laboratorio es obtener, a partir de simulaciones, parámetros eléctricos ( $V_{rms}$ ,  $I_{rms}$ ,  $P$ ,  $S$  y eficiencia) de un sistema fotovoltaico aislado para diversas horas del día. Para ello, se utiliza un aplicativo web que tiene en cuenta diversos parámetros como la irradiancia, la temperatura ambiente, la carga residencial y el factor de potencia. Además, se deben ingresar valores nominales del controlador, el inversor y la batería para poder obtener tensión, corriente, potencia y eficiencia ante diferentes escenarios que puedan presentarse al variar la carga, la irradiancia y la temperatura. Es importante que los estudiantes tengan conocimientos previos sobre los principios básicos de un sistema fotovoltaico aislado.

- Practica G: Aplicativo: curvas P-V e I-V

La práctica de laboratorio que tiene como objetivo determinar las curvas de P-V (potencia vs tensión) y I-V (corriente vs tensión) del generador fotovoltaico, es fundamental para comprender cómo funciona este tipo de generador y cómo su rendimiento varía en función de las condiciones ambientales. Para realizar esta práctica, se requieren conocimientos previos en el análisis de curvas. Estos conocimientos son importantes para comprender la relación entre la tensión, la corriente y la potencia generada por el generador fotovoltaico y cómo esta relación cambia con diferentes niveles de irradiancia y temperatura. Con estos conocimientos previos, se podrá analizar de manera efectiva los datos obtenidos en la práctica y comprender el comportamiento del generador fotovoltaico bajo diferentes condiciones de operación.

En el Laboratorio de AT205, un grupo de estudiantes de posgrado en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander llevó a cabo cada una de las practicas propuestas, interactuando con los módulos de entrenamiento y siguiendo el procedimiento detallado en el manual. A partir de los resultados obtenidos, los estudiantes realizaron recomendaciones de mejora a implementar en el manual de prácticas. El Anexo Q muestra las evidencias de las plantillas resueltas por los estudiantes durante las prácticas, así como el registro fotográfico de las mismas.

El Anexo R muestra el manual de prácticas en el cual se especifica las actividades a desarrollar y el procedimiento que se debe realizar en cada practica propuesta, teniendo en cuenta las recomendaciones realizadas por los estudiantes.

## 6. Conclusiones

La aplicación de PVsyst es una herramienta que facilita la simulación de sistemas fotovoltaicos. El estudio en PVsyst se orientó en dos líneas, la primera revisar que tanto afectan los niveles de sombra en la ubicación seleccionada para los paneles FV, donde se consideraron todos los obstáculos a su alrededor incluyendo las sombras lejanas y cercanas diseñándose en 3D, la segunda línea verifica que los equipos seleccionados para los módulos de entrenamiento logren abastecer las cargas obteniendo como resultado que los paneles pueden suplir la carga mes a mes sin ningún inconveniente ya que anualmente los paneles generan 583.17 kWh/año y la carga demanda 410.64 kWh/año. Se comparan los resultados obtenidos con el análisis de sombreado y la variación es mínima debido a que anualmente los paneles generarían 565.1 kWh/año, evidenciando que los niveles de sombra impactan en 18.07 kWh/año, a pesar de esto la demanda generada por los paneles FV abastece la demanda de la carga.

Los módulos de entrenamiento requieren varias mejoras, pero solo fue posible implementar las siguientes: instalación de tomas GFCI en zonas húmedas de la vivienda, reinstalación de controlador Steca en el tablero del Edibon, cambio de controlador PWM a MPPT en el módulo de entrenamiento 1, cambio de inversor en el módulo de entrenamiento 1. Permitiendo el correcto funcionamiento de los módulos, contando con los dos tipos de controladores en el laboratorio de alta tensión 205, favoreciendo a la evaluación de ambos casos de estudio.

La creación del App Web se hizo en su completitud con tres lenguajes de programación (HTML, CSS, JavaScript) logrando que este sea público, con un acabado amigable y sencillo para su uso. La herramienta le permite al usuario establecer las condiciones necesarias para acercarse

a la realidad por medio de escenarios simulados, facilitándole la comprensión de la información arrojada y el comportamiento de un sistema fotovoltaico aislado. Dentro de la experiencia del uso de esta cabe resaltar la capacidad que tiene para recolectar información, almacenarla y mostrarla, siendo esta textual o gráficamente. Permitiendo ser una herramienta útil para que los estudiantes realicen prácticas y analicen el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos.

## **7. Recomendaciones**

Una de las dificultades o limitante que se presentó cuando se realizaron las mejoras en los módulos fue el presupuesto para la compra de equipos necesarios. Es necesario realizar la compra de un inversor de 400 W que reemplace el que se encuentra actualmente en mal estado, además es necesario implementar las protecciones DC y la puesta a tierra para los equipos que conforman los módulos fotovoltaicos por seguridad y durabilidad del sistema.

El aplicativo web se le puede realizar actualizaciones, por medio de lenguajes de programación más completos que permitan abordar más áreas. De esta manera se podría agregar pestañas y comandos funcionales facilitando mayor interacción entre el usuario y la herramienta.

### Referencias Bibliográficas

- Accuenergy . (s.f.). *Medidores de panel de potencia y energia EV390*. Obtenido de <https://www.accuenergy.com/products/ev300-power-energy-panel-meter/#features>
- Accuenergy. (s.f.). *AcuDC 240 Series DC Power and Energy Meter Datasheet*[Medidor de potencia y energía]. Obtenido de <https://www.accuenergy.com/products/acudc-240-dc-power-energymeter/#:~:text=The%20AcuDC%20240%20is%20a,%2C%20current%2C%20power%20and%20energy>
- Autosolar. (2017). “*Steca PR 10-30*” [Reguladores de carga solar]. Obtenido de <https://autosolar.co/pdf/2101020-Steca-PR-LCD-Ficha-co.pdf>
- Bautista, R. E., & Acevedo, F. A. (2019). Diseño de un controlador de carga de tres etapas para sistemas fotovoltaicos usando lógica difusa. *Ingeniare. Revista Chilena de ingeniería*, 27(4), 540–550.
- Engineering . (s.f.). *West Mountain Radio PWRcheck PWRCHECK* [Analizador de potencia CC integrado]. Obtenido de <https://www.dxengineering.com/parts/wmt-58430-1286>
- Espitia, C. (2020). *Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos*. . (U. I. Santander, Editor) Obtenido de Conferencia del grupo de investigación GISEL-E3T.
- Estación Solsta. (s.f.). *Meteonorm V 8.0*. Obtenido de <https://solsta.co/productos/meteonorm-5/>
- Expo Solar Colombia. (2017). *Energía renovable para todos*. Obtenido de <https://feriaexposolar.com/wp-content/uploads/2019/09/MaikolMesa.pdf>

- ICONTEC. (2020). *NTC 2050, Manual del Código eléctrico colombiano*. Obtenido de <https://www.icontec.org/lanzamiento-codigo-electrico-colombiano-ntc-2050/>
- JAsolar. (2019). “*Módulo PERC de 385W JAM72S01 365-385/PR*” [*Modulo solar*]. Obtenido de <https://www.jasolar.com/uploadfile/2019/0203/20190203095205731.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía. (2023). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-instalaciones-el%C3%A9ctricas-retie/>
- Nexans . (2018). *Centelsa THHN/THWN-2 CT RoHS, [conductor de cobre suave]*. Obtenido de <https://www.nexans.co/en/products/Construcci%C3%B3n/Cables-de-Cobre-de-Baja-Tensi%C3%B3n-Aislados/Cable-THHN-THWN-2/Cable-Type24144.html>
- PROwatt SW. (s.f.). *Inverter PROwatt [Ficha técnica del inversor]*. Obtenido de <https://xantrex.com/products/inverters/prowattsw/>
- Roadtrucker. (s.f.). *COBRA [Ficha técnica del inversor]*. Obtenido de <https://www.roadtrucker.com/images/manuals/cobra-inverter-cpi480-manual.pdf>
- SEC. (2015). *The CELLYTE TSG Series 6/12 Volt flat plate solar monoblocs Advanced solar technology with no compromises[Ficha técnica de la batería]*. . Obtenido de <http://secbattery.com/wp-content/uploads/2015/04/CELLYTE-6-12-TSG-SERIES-Brochure-1.pdf>
- Socomec. (s.f.). *DIRIS A-40 Multi-function meters [ Medidor de potencia y energía]*. Obtenido de [https://www.socomec.com/files/live/sites/systemsite/files/SCP/pdf\\_catalogue/GB/cat\\_dirisa40\\_en.pdf](https://www.socomec.com/files/live/sites/systemsite/files/SCP/pdf_catalogue/GB/cat_dirisa40_en.pdf)
- Suneo Energy SAS. (s.f.). *Cable solar Exzhellent-Solar*. Obtenido de <https://suneoenergy.com.co/cable-solar-fotovoltaico-6mm2-procables-por-metros>

Tai Energy. (s.f.). *Controladores de carga solar PWM*. Obtenido de [https://www.taienergy.cn/html/Products/Solar\\_Controller/PWM\\_Controller/172.html](https://www.taienergy.cn/html/Products/Solar_Controller/PWM_Controller/172.html)

Villao, & Consuegra. (2021). *Dimensionamiento óptimo de un sistema fotovoltaico a través de herramientas computacionales en zonas aisladas*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21324?mode=full>

## Apéndices

### Apéndice A. Verificación del estado de los equipos

















Para determinar el estado de los equipos se tomaron medidas de tensión y corriente con ayuda de multímetros y pinzas amperimétricas; en cada uno de los equipos que pertenecen a los módulos.

Estado de operación: Correcto.

	Medidor I		Multímetro/Pinza amperimétrica I	
	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente
<b>Batería</b>	12.09 V	3.37 A	12.16 V	3.25 A
<b>Inversor</b>	120.6 V	0 A	120.94 V	0.06 A
<b>Controlador</b>	12.16 V	2.80 A	12.10 V	2.87 A
<b>Panel</b>	11.38 V	0 A	11.42 V	0.04 A

**Tabla A1.**

*Fotografías- valores de multímetros y medidores diagnóstico módulo I gestión y medición de la operación.*

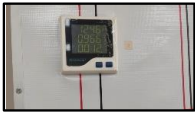















	<b>Medidor I</b>		<b>Multímetro/Pinza amperimétrica I</b>	
	Voltaje [V]	Corriente[A]	Voltaje[V]	Corriente[A]
<b>Batería</b>				
<b>Inversor</b>				
<b>Controlador</b>				
<b>Panel</b>				

Estado de operación: Correcto.

	<b>Medidor II</b>		<b>Multímetro/Pinza amperimétrica II</b>	
	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente
<b>Batería</b>	12.46 V	2.96 A	12.48 V	2.85 A
<b>Inversor</b>	114.6 V	0 A	115.48 V	0 A
<b>Controlador</b>	12.4 V	7.69 A	12.37 V	7.38 A
<b>Panel</b>	11.94 V	0 A	11.9 V	0.09 A

**Tabla A2.**

*Fotografías multímetros y medidores diagnóstico módulo II gestión y medición de la operación.*

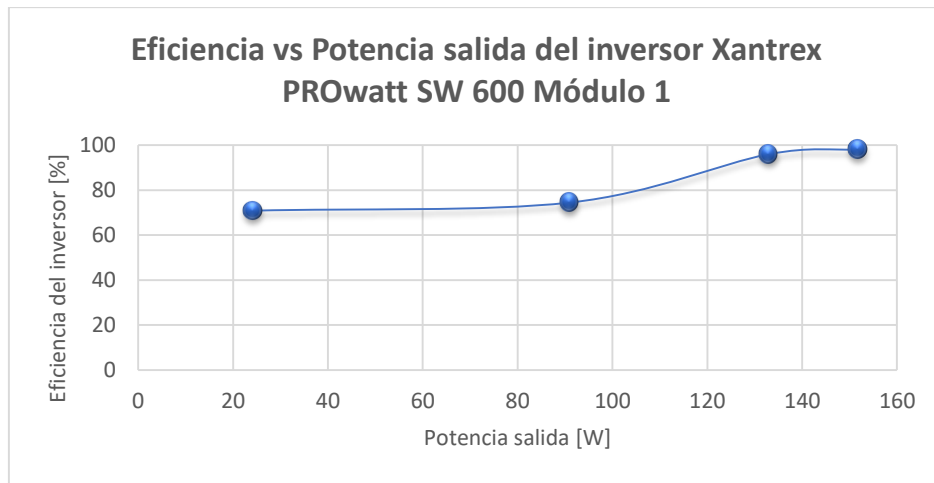
	Medidor II		Multímetro/Pinza amperimétrica II	
	Voltaje [V]	Corriente [A]	Voltaje[V]	Corriente[A]
<b>Batería</b>				
<b>Inversor</b>				
<b>Controlador</b>				
<b>Panel</b>				

Para el inversor se hicieron dos pruebas: la primera consistió en aumentar la potencia y determinar la eficiencia, en la segunda se determinó cual fue la potencia máxima que pudo atender el inversor.

A partir de las potencias de entrada y salida del inversor Xantrex PROwatt SW 600, se construye la siguiente curva donde se observa que a partir de 120W el inversor tiene una eficiencia mayor al 90%:

**Figura A1.**

*Curva eficiencia vs potencia del inversor Xantrex PROwatt SW 600.*



A medida que se fue aumentando la carga al inversor, trabajaba de manera limitada; al punto que al llegar a 238 [W] de carga en AC, el inversor se desconecta y detiene su funcionamiento.

**Tabla A3.**

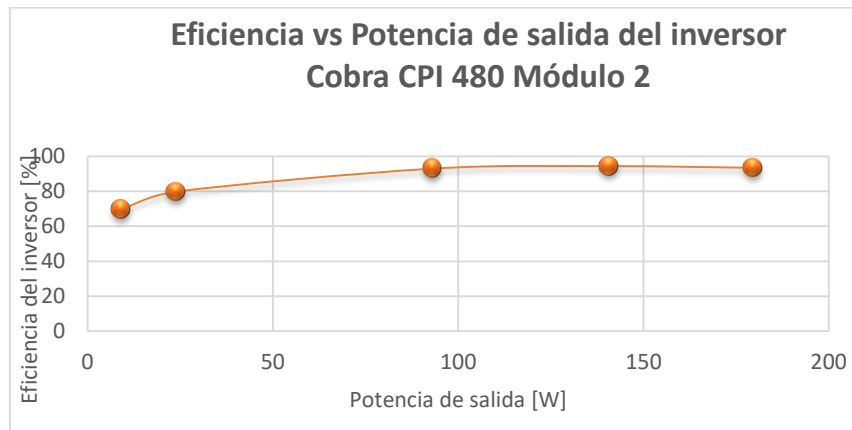
*Estado de operación Inversor Xantrex PROwatt 600.*

Inversor onda pura Xantrex PROwatt SW 600 M1	
Verificación del estado	
	Operación
	Incorrecta // No tiene la capacidad de alimentar cargas mayores a 170W

A partir de las potencias de entrada y salida del inversor Cobra CPI 480, se construye la siguiente curva donde se observa que a partir de 100W el inversor tiene una eficiencia mayor al 90%:

**Figura A2.**

*Curva eficiencia vs potencia para el inversor Cobra 480.*



A medida que se fue aumentando la carga al inversor, él trabajaba de manera limitada; al punto que al llegar a 238 [W] de carga en AC, el inversor se desconecta y detiene su funcionamiento.

**Tabla A4.**

*Estado de operación Inversor Cobra 480.*

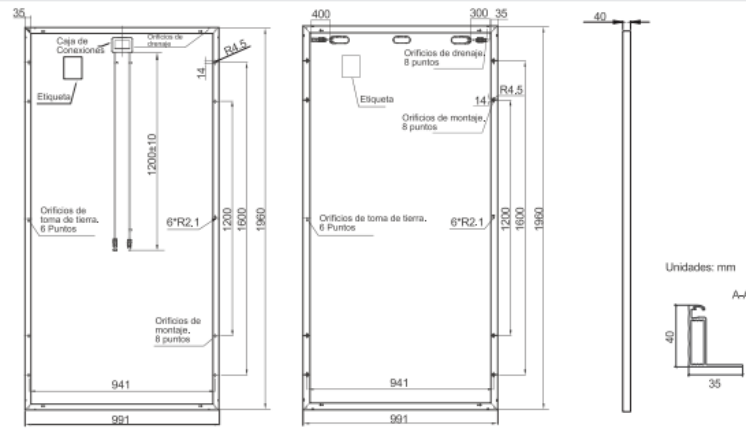
Inversor onda modificada Cobra CPI 480 M2	
Verificación del estado	
	Operación
	Incorrecta # No tiene la capacidad de alimentar cargas mayores a 238W

Apéndice B. Panel fotovoltaico 380W



JAM72S01 365-385/PR Serie

DIAGRAMAS MECÁNICOS



Nota: El color del marco y el largo del cable puede ser modificable según requerimientos del cliente.

ESPECIFICACIONES

Célula	Mono
Peso	22kg±3%
Dimensiones	1960mm×991mm×40mm
Tamaño de Sección Transversal de Cable	4mm <sup>2</sup>
Nº de Células	72(6x12)
Caja de Conexiones	IP67, 3 diodos
Conector	Compatible MC4 (1000V) QC 4.10-35(1500V)
Configuración de Embalaje	27 Por Pallet

PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN STC

TIPO	JAM72S01 -365/PR	JAM72S01 -370/PR	JAM72S01 -375/PR	JAM72S01 -380/PR	JAM72S01 -385/PR
Potencia Máxima Nominal (Pmax) [W]	365	370	375	380	385
Voltaje de Circuito Abierto (Voc) [V]	47.93	48.18	48.45	48.71	48.98
Voltaje de Potencia Máxima (Vmp) [V]	39.21	39.45	39.75	40.03	40.29
Corriente de Cortocircuito (Isc) [A]	9.85	9.91	9.98	10.05	10.11
Corriente de Potencia Máxima (Imp) [A]	9.31	9.38	9.44	9.50	9.56
Eficiencia del Módulo [%]	18.8	19.0	19.3	19.6	19.8
Tolerancia de Potencia	0~+5W				
Coefficiente de Temperatura de Isc(α <sub>Isc</sub> )	+0.060%/°C				
Coefficiente de Temperatura de Voc(β <sub>Voc</sub> )	-0.300%/°C				
Coefficiente de Temperatura de Pmax(γ <sub>Pmp</sub> )	-0.380%/°C				
STC	Irradiancia 1000W/m <sup>2</sup> , Temperatura de célula 25°C, AM1.5G				

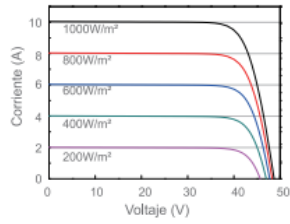
Nota: Los datos eléctricos de este catálogo no se refieren a un único módulo y no son parte de la oferta. Se exponen solamente a efectos de comparación entre diferentes tipos de módulo.

PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN NOCT

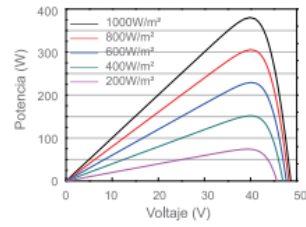
TIPO	JAM72S01 -365/PR	JAM72S01 -370/PR	JAM72S01 -375/PR	JAM72S01 -380/PR	JAM72S01 -385/PR	CONDICIONES OPERATIVAS
Potencia Máxima Nominal (Pmax) [W]	268	272	276	279	283	Voltaje Máximo de Sistema 1000V/1500V DC(IEC)
Voltaje de Circuito Abierto (Voc) [V]	44.33	44.55	44.81	45.09	45.38	Temperatura de Operación -40°C~+85°C
Voltaje de Potencia Máxima (Vmp) [V]	36.25	36.50	36.75	36.99	37.23	Fusible de Serie Máximo 20A
Corriente de Cortocircuito (Isc) [A]	7.80	7.86	7.91	7.96	8.01	Carga Estática Máxima, Frontal 5400Pa
Corriente de Potencia Máxima (Imp) [A]	7.40	7.45	7.50	7.55	7.60	Carga Estática Máxima, Trasera 2400Pa
NOCT	Irradiancia 800W/m <sup>2</sup> , temperatura ambiente 20°C, velocidad de viento 1m/s, AM1.5G					NOCT 45±2°C
						Clase de Aplicación Clase A

**CARACTERÍSTICAS**

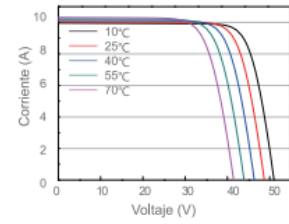
Curva Corriente-Voltaje JAM72S01-380/PR



Curva Potencia-Voltaje JAM72S01-380/PR



Curva Corriente-Voltaje JAM72S01-380/PR



Premium Cells, Premium Modules

Versión N°. : Global\_ES\_20190124A

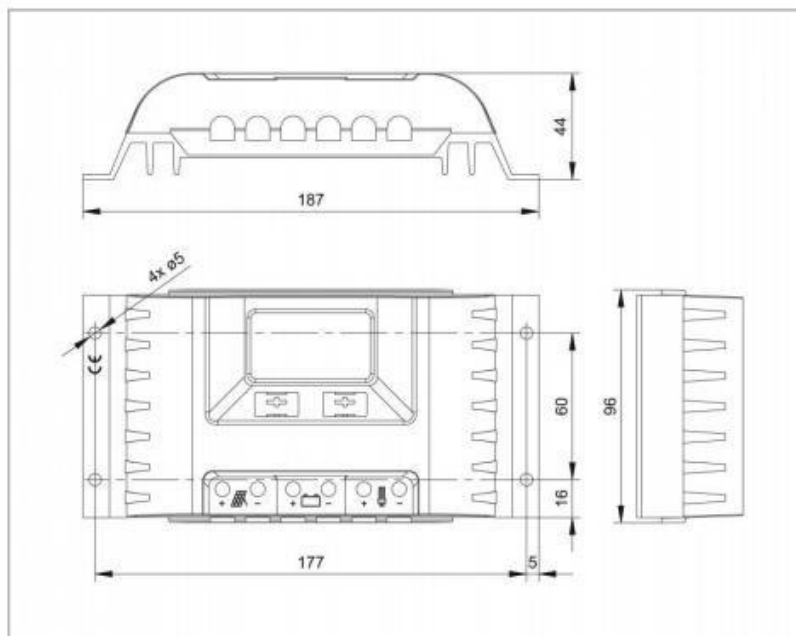
## Apéndice C. Controlador de carga

PWM SOLAR CONTROLLER S2460

Mode Number	S2460				
System Voltage	12V/24V			48V	
Max Input Voltage	25V	50V		100V	
Self-consumption	≤12mA				
Max Charge Current	40A	50A	60A	50A	60A
Max discharge current	40A	50A	60A	50A	60A
LVD	11.0V /22V			44V	
LVR	12.6V ADJ 11V....13.5V; 25.2V ADJ 11V....27V;			50.4V ADJ 11V....54V;	
Float Voltage	13.8V ADJ 13V....15V; 27.6V ADJ 13V....30V			55.2V ADJ 13V....60V	
Boost charging	1PCS Battery Voltage less than 12Vstart boost charging 2 hours				
Battery Over Voltage Protection	16.5V /33V			66V	
Charging mode	PWM				
Temperature Compensation	-24 mV /°C for 12V system ; -48 mV /°C for 24V system ;			-96 mV /°C for 48V system ;	
Working Temperature	-20°C---+50°C				
Terminal scale	14—6 AWG				
Waterproof grade	IP32				
Size	220mm×128 mm×44mm				
Net weight	480g				
Unite Carton Size	470*434*305 mm				
PCS/CTN	24PCS				

PWM Regulador de carga solar Steca PR 10-30

	PR 1010	PR 1515	PR 2020	PR 3030
<b>Funcionamiento</b>				
Tensión del sistema	12 V (24 V)			
Consumo propio	12.5 mA			
<b>Datos de entrada CC</b>				
Tensión de circuito abierto del módulo solar (con temperatura de servicio mínima)	< 47 V			
Corriente del módulo	10 A	15 A	20 A	30 A
<b>Datos de salida CC</b>				
Corriente de consumo	10 A	15 A	20 A	30 A
Tensión de reconexión (SOC / LVR)	> 50 % / 12,6 V (25,2 V)			
Protección contra descarga profunda < 30 % (SOC / LVD)	< 30 % / 11,1 V (22,2 V)			
<b>Datos de la batería</b>				
Tensión final de carga	13,9 V (27,8 V)			
Tensión de carga reforzada	14,4 V (28,8 V)			
Carga de compensación	14,7 V (29,4 V)			
Ajuste del tipo de batería	líquido (ajustable a través menú)			
<b>Condiciones de uso</b>				
Temperatura ambiente	-10 °C ... +50 °C			
<b>Equipamiento y diseño</b>				
Terminal (cable fino / único)	16 mm <sup>2</sup> / 25 mm <sup>2</sup> - AWG 6 / 4			
Grado de protección	IP 31			
Dimensiones (X x Y x Z)	187 x 96 x 44 mm			
Peso	350 g			



**Apéndice D. Batería**

Batería en gel SEC 12 TSG-250

**Cell dimensions**

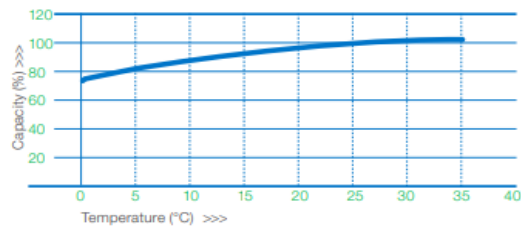
**Dimensions/ Weights/ Data**

SEC bloc type	Nominal capacity (Ah) C/10 1.80 vpc	Battery weight		Overall battery dimension						Maximum charge current (A)	Short circuit amps	Internal resistance (mΩ)	Female terminal type
				Length		Width		Height					
				kg	lbs	mm	Inch	mm	Inch				
<b>12-TSG-100</b>	78.9	29.5	65.0	307	12.1	170	6.69	227	8.94	15.8	2650	4.30	FT3
<b>12-TSG-110</b>	87.7	30.5	67.2	307	12.1	170	6.69	227	8.94	17.5	2900	3.90	FT4
<b>12-TSG-120</b>	96.4	33.0	72.8	331	13.0	176	6.93	225	8.86	19.3	3000	3.40	FT4
<b>12-TSG-130</b>	105	35.0	77.2	331	13.0	176	6.93	225	8.86	21.0	3300	3.10	FT4
<b>12-TSG-150</b>	119	42.5	93.7	342	13.5	173	6.81	285	11.2	23.8	4200	2.90	FT4
<b>12-TSG-170</b>	133	46.0	101	483	19.0	170	6.69	240	9.45	26.6	4500	2.70	FT5
<b>12-TSG-190</b>	150	54.0	119	532	20.9	207	8.15	240	9.45	30.0	4600	2.50	FT5
<b>12-TSG-210</b>	167	56.0	123	532	20.9	207	8.15	240	9.45	33.4	4700	2.30	FT5
<b>12-TSG-250</b>	202	65.0	143	522	20.6	240	9.45	225	8.86	40.4	5400	2.20	FT5
<b>12-TSG-300</b>	235	74.4	164	522	20.6	269	10.6	245	9.65	47.0	5400	2.20	FT5

*6-TSG-130, 6-TSG-220, 12-TSG-20, 12-TSG-30, 12-TSG-40, 12-TSG-50 and 12-TSG-70 are not fitted with catalyst.  
6-TSG-130 and 6-TSG-220 are not filled with gel electrolyte.*

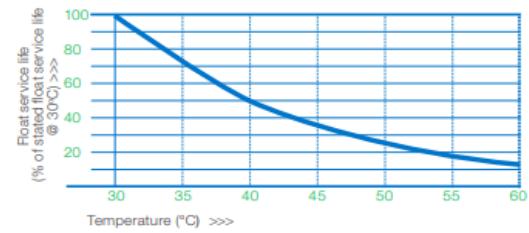
### Effect of inclined temperature

Effect of temperature on capacity at C/10 discharge rate



A high ambient temperature will increase the cell capacity but will significantly shorten its calendar and cycle life.

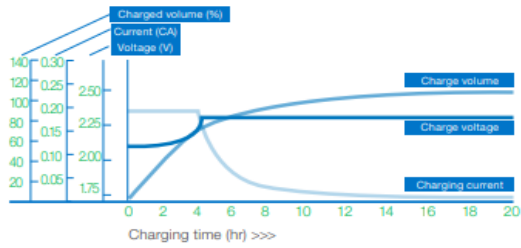
Float service life VS temperature



Effect of temperature on float service life.

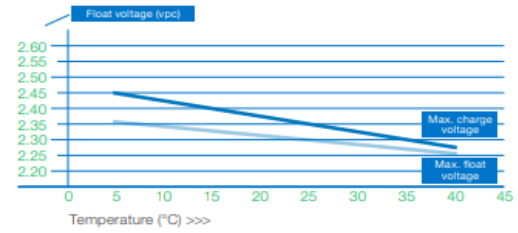
### Charge method

Constant current/voltage charge characteristics



### Charge compensation

Temperature compensation for float voltage



## Apéndice E. Inversor

### Inversor onda pura Xantrex PROwatt SW 600

#### Electrical specifications

Specification	600	1000	2000
Continuous power	540 W	900 W	1800 W
Surge capacity (peak)	1200 W	2000 W	3000 W
DC Input	12 Vdc (nominal)	12 Vdc (nominal)	12 Vdc (nominal)
AC output frequency	60 ± 0.5 Hz	60 ± 0.5 Hz	60 ± 0.5 Hz
AC output voltage range	104 - 127 Vac	104 - 127 Vac	104 - 127 Vac
USB output	5 V / 500 mA	5 V / 500 mA	5 V / 500 mA
Output waveform	True Sine Wave	True Sine Wave	True Sine Wave
Optimum efficiency	90%	90%	90%
No load current draw	< 0.6 A	< 0.6 A	< 0.8 A
Input voltage range	10.5 - 15.5 Vdc	10.5 - 15.5 Vdc	10.5 - 15.5 Vdc

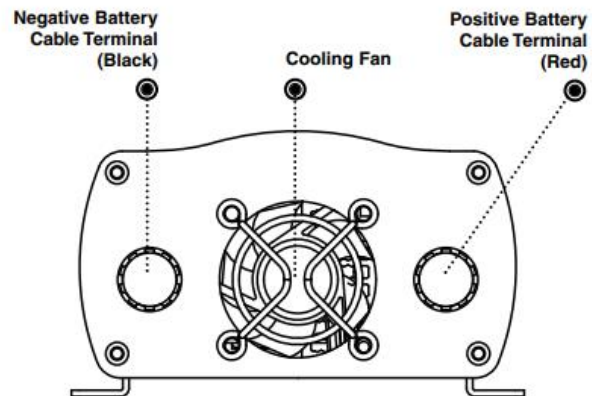
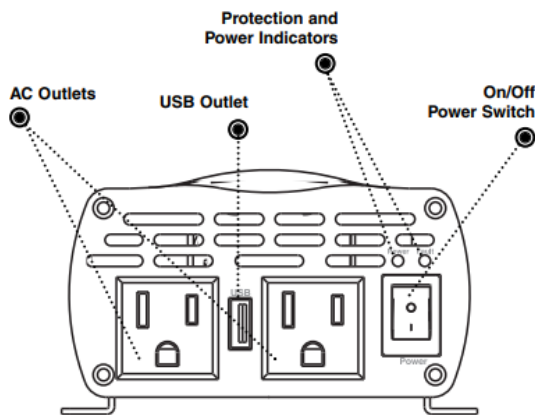
#### General specifications

Specification	600	1000	2000
Operating temperature range	32°F - 104°F (0°C - 40°C)	32°F - 104°F (0°C - 40°C)	32°F - 104°F (0°C - 40°C)
AC receptacle	Dual GFCI	Dual GFCI	Dual GFCI
USB receptacle	Single port (Type A)	Single port (Type A)	Single port (Type A)
DC connection	Hardwire	Hardwire	Hardwire
Recommended DC fuse	150 A	150 A	250 A
Digital display	DC voltage AC output power & error codes	DC voltage AC output power & error codes	DC voltage AC output power & error codes
Dimensions (H x W x L)	3.5 x 8.7 x 12.2" (89 x 220 x 310 mm)	3.5 x 8.7 x 13.4" (89 x 220 x 339 mm)	3.9 x 11.8 x 13.7" (100 x 299 x 348 mm)
Weight	6.5 lb (3.0 kg)	7.2 lb (3.3 kg)	10.7 lb (4.9 kg)
Warranty	Two year	Two year	Two year
Part number	806-1206	806-1210	806-1220

Inversor onda modificada Cobra CPI 480

**Specifications**

Continuous output power (1 hour) .....	400W
Surge rating (0.1 second) .....	800W
Peak efficiency (12V – 1/2 load) .....	> 88%
Efficiency (full load, 12V) .....	> 83%
No load current draw .....	< 0.5A (12.6V)
Output waveform (resistive load) ...	Modified sine wave
Output frequency .....	58HZ – 62HZ
Output voltage .....	109V – 120V
USB output .....	5V
Input voltage .....	10.4VDC – 14.4VDC
Alarm voltage (unload) .....	10.2V – 10.8V
Shutdown voltage (unload) .....	9.2V – 9.8V
Operating temperature range .....	0°C – 40°C (32°F – 104°F)
Storage temperature range .....	-40°C – 85°C (-40°F – 185°F)
Protection .....	Overload, short-circuit, overtemp, reverse polarity, under/over voltage



## Apéndice F. Medidores

### Medidor SOCOMEC DIRIS A40

#### DIRIS A-40 characteristics

##### Electrical characteristics

Auxiliary power supply	
Alternative voltage	110/400 VAC or 120/300 VDC - Cat III
Frequency	50/60 Hz
Power consumption	5VA AC / 1,5VA DC (48250500) 8VA AC / 2,5VA DC (48250501 & 48250502)
Connection	Removable spring-cage terminal block, 2x 2 positions, 0.5 - 2.5 mm <sup>2</sup> solid cable or 0.25 - 1.5 mm <sup>2</sup> stranded cable with end piece

##### Measurement characteristics

Power and energy measurement	
Accuracy	Class 0.2 DIRIS A-40 only
Active energy and active power	Class 0.5 with TE, TF or ITR sensors Class 1 with TR sensors
Accuracy of reactive energy	Class 2 with TE, TR/ITR or TF sensors

##### Power factor measurement

Accuracy	Class 0.5 with TE, TF or ITR sensors Class 1 with TR sensors
----------	---

##### Voltage measurement

Characteristics of the network measured	50-300VAC (Ph/N) - 87-520VAC (Ph/Ph) - CAT III
Frequency range	45 to 65Hz
Frequency accuracy	Class 0.02
Network type	Single-phase/ Two-phase / Two-phase with neutral / Three-phase / Three-phase with neutral
Measurement by voltage transformer	Primary: 400 000 VAC Secondary: 60, 100, 110, 173, 190 VAC
Input consumption	≤ 0,1 VA
Accuracy of voltage measurement	Class 0.2
Connection	Removable spring-cage terminal block, 4 positions, 0.5 - 2.5 mm <sup>2</sup> solid cable or 0.25 - 1.5 mm <sup>2</sup> stranded cable with end piece

##### Current measurement

Number of current inputs	3
Associated current sensors	Solid TE, split-core TR/ITR, flexible TF current sensors
Accuracy	0.2 DIRIS A-40 class only Class 0.5 with TE, TF or ITR sensors Class 1 with TR sensors
Connection	Specific Socomec cable with RJ12 connectors

##### Input characteristics

Number	3
Type / Power supply	Optocoupler with internal (12 VDC ± 10%) or external (12-24 VDC ± 20%) polarisation
Input function	Logic status, status of circuit breaker, synchronization topography, multifluid pulse metering
Connection	Removable screw terminal block, 5 positions, stranded or solid 0.14 - 1.5 mm <sup>2</sup> cable

##### Output characteristics

Number	2
Type	Optocoupler 30 Vd.c. max 20mA max - SELV
Output function	Command, energy pulse output, load shedding, alarm
Connection	Removable screw terminal block, 4 positions, stranded or solid 0.14 - 1.5 mm <sup>2</sup> cable

##### Communication characteristics

DIRIS A-40 RS485	
Link	RS485
Connection type	2 to 3 half duplex wires
Protocol	Modbus RTU
Baud rate	1200 to 115 200 baud
USB	Configuration of DIRIS A-40

Medidor AC ACCUENERGY EV390

**SPECIFICATIONS**

Metering			
PARAMETERS	ACCURACY	RESOLUTION	RANGE
Voltage	0.5%	0.1V	10V–500kV
Current	0.5%	0.001A	0–99990A
Power	0.5%	1W	-9999MW–9999MW
Reactive Power	0.5%	1var	-9999Mvar–9999Mvar
Apparent Power	0.5%	1VA	0–9999MVA
Power Factor	0.5%	0.001	-1.000–1.000
Frequency	0.2%	0.01Hz	45–65Hz
Energy	0.5%	0.1kWh	0–99999999.9kWh
Reactive Energy	0.5%	0.1kvarh	0–99999999.9kvarh
Temperature Coefficient	<100 ppm/°C (0–50°C)		

Input		I/O Options	
<b>CURRENT INPUTS (Each Channel)</b>		<b>DIGITAL INPUT (Switch Status)</b>	
Nominal Current Options	5A/1A	Optical Isolated Voltage	2500Vac RMS
Metering Range	0–6A / 0–2A	Input Type	Wet
Pickup Current	5mA / 1mA	Input Resistance	4kΩ (Typical)
Withstand	20Arms continuous 100Arms for 1 second, non-recurring	Input Voltage Range	16–30Vdc
Burden	0.05VA (Typical) @ 5Arms	Input Current (Max)	7.5mA
Accuracy	0.5% Full Scale	<b>DIGITAL OUTPUT (DO) (Photo-MOS)</b>	
<b>VOLTAGE INPUTS (Each Channel)</b>		Voltage Range	0–250Vac/dc
Nominal Full Scale	230Vac L-N, 400Vac L-L (+20%)	Load Current	100mA (Max)
Withstand	1500Vac Continuous 2500Vac, 50/60Hz for 1 Minute	Output Frequency	25Hz, 50% Duty Ratio (20ms ON, 20ms OFF)
Input Impedance	2MΩ per Phase	Isolation Voltage	2500Vac
Metering Frequency	45Hz–65Hz	<b>RELAY OUTPUT (RO)</b>	
Pickup Voltage	10Vac	Switching Voltage (Max)	250Vac, 30Vdc
Accuracy	0.5% Full Scale	Load Current	5A(R), 2A(L)
<b>ENERGY ACCURACY</b>		Set Time	10ms (Max)
Active	Class 0.5s (According to IEC 62053-22) Class 0.5 (According to ANSI C12.20)	Contact Resistance	30mΩ (Max)
Reactive	Class 2 (According to IEC 62053-23)	Isolation Voltage	2500Vac
<b>HARMONIC RESOLUTION</b>		Mechanical Life	1.5x10 <sup>7</sup>
Metered Value	2nd–31st harmonics	<b>ALARM OUTPUT</b>	
<b>Communications</b>		Alarm Parameters	V1, V2, V3, V12, V23, V31, I1, I2, I3, Vavg, V1avg, Iavg, In, P, Q, S, F and PF
<b>RS-485</b>		Output Type	RO/DO
Half-duplex, Optically Isolated 1200 to 57600bps		<b>ANALOGUE OUTPUT (AO)</b>	
<b>PROTOCOLS</b>		Output Range	4–20mA/0–20mA
Modbus-RTU		Resolution	12-bit
<b>Control Power</b>		Output Capability	Max Load: 750Ω
Universal		Accuracy	0.50%
<b>AC/DC CONTROL POWER</b>		Temperature Drift	50ppm/°C Typical
Operating Range	100–240Vac, 50/60Hz; 100–300Vdc	Isolation Voltage	500Vdc
Burden	2W	Open Circuit Voltage	15V
Frequency	50/60Hz	<b>POWER SUPPLY FOR DI (24 Vdc)</b>	
Withstand	2500Vac, 50/60Hz for 1 minute	Output Voltage	24Vdc
Installation Category III (Distribution)		Output Current	42mA
		Load (Max)	6 DIs

Medidor DC AcuDC 240

**SPECIFICATIONS**

Metering			
PARAMETERS	ACCURACY	RESOLUTION	RANGE
Voltage	0.2%	0.001V	0~9999V
Current	0.2%	0.001A	0~±50000A
Power*	0.5%	0.001kW	0~±60000kW
Energy*	0.5%	0.01kWh	0~9999999.99kWh
Drift with Temperature	<100ppm/°C		
Stability	0.5%/year		

\* 0.2% accuracy on Power and Energy available upon request

Input	
<b>CURRENT INPUTS (Each Channel)</b>	
Nominal Current Options	0~±10A(Direct Input, pick up current 0.01A) 0~±50000A (via Shunt or Hall Effect Sensor, programmable range)
Shunt	50~100mV (programmable)
Hall Effect Sensor	0~±5V/0~±4V, 4~20mA/12mA±8mA
Power Consumption	2W (Max)
Accuracy	0.20%
<b>VOLTAGE INPUTS (Each Channel)</b>	
Nominal Full Scale	Direct Input: 0~1000V Via Hall Effect Sensor: 0~9999V
Input Impedance	2MΩ
Load	<0.6W
Accuracy	0.20%
<b>ENERGY ACCURACY</b>	
Active	0.50%

Communications	
<b>RS-485</b>	
2-Wire Shielded Twisted Pair Cable Connection	
Half duplex, Optically Isolated	
1200 to 38400bps	
Isolation Voltage: 2500Vac	

PROTOCOLS	
Modbus-RTU	

Control Power	
<b>AC/DC CONTROL POWER</b>	
Operating Range	(P1) 100-240Vac, 50/60Hz, 100-300Vdc (P2) 20-60Vdc
Power Consumption	3W (typical)

Operating Environment	
Operating Temperature	-25°C to 70°C -13°F to 158°F
Storage Temperature	-40°C to 85°C -40°F to 176°F
Relative Humidity	5% to 95% Non-Condensing

I/O Options	
<b>DIGITAL INPUT</b>	
Optical Isolated Voltage	2500Vac
Input Type	Dry
Input Resistance	100kΩ
Input Voltage Range	20~160 Vac/dc
Input Current (Max)	2mA
Start Voltage	15V
Stop Voltage	5V
Pulse Frequency (Max)	100Hz, 50% Duty Ratio (5ms ON and 5ms OFF)
SOE Resolution	2ms
<b>DIGITAL OUTPUT (Photo-Mos)</b>	
Voltage Range	0~250Vac/dc
Load Current	100mA (Max)
Output Frequency	25Hz, 50% Duty Ratio (20ms ON, 20ms OFF)
Isolation Voltage	2500Vac

RELAY OUTPUT (RO)	
Type	Mechanical contact, Form A
Switching Voltage (Max)	250Vac, 30Vdc
Load Current	5A(R), 2A(L)
Set Time	10ms (Max)
Contact Resistance	30mΩ (Max)
Isolation Voltage	2500Vac
Mechanical Life	1.5x10 <sup>7</sup>

ANALOGUE OUTPUT (AO)	
Output Range	0~5V/1~5V, 0~20mA/4~20mA (Optional)
Accuracy	0.50%
Temperature Drift	50ppm/°C Typical
Isolation Voltage	500Vdc
Open Circuit Voltage	15V
Load Capacity	Current type, max load resistance: 750 Ohm Voltage type, max load current: 20 mA

Standard Compliance & Certifications	
Safety Standard	IEC 61010-1
EMC Standard	IEC 55011, IEC 61000-6-2, IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-3

Medidor DC PWR check

<b>Brand:</b>	West Mountain Radio
<b>Manufacturer's Part Number:</b>	PWRCHECK
<b>Part Type:</b>	DC Power Analyzers
<b>Product Line:</b>	West Mountain Radio PWRcheck Integrated DC Power Analyzer
<b>DXE Part Number:</b>	WMT-58430-1286
<b>Meter Style:</b>	LCD Multi-function display
<b>Connector Type:</b>	Powerpoles
<b>DC Power Required:</b>	Yes
<b>Analyzer Width:</b>	4.500 in.
<b>Analyzer Height:</b>	3.000 in.
<b>Analyzer Depth:</b>	0.875 in.
<b>Analyzer Weight:</b>	1.00 lbs.
<b>Quantity:</b>	Sold individually.

## Apéndice G. Dimensionamiento de sistema fotovoltaico en PVsyst

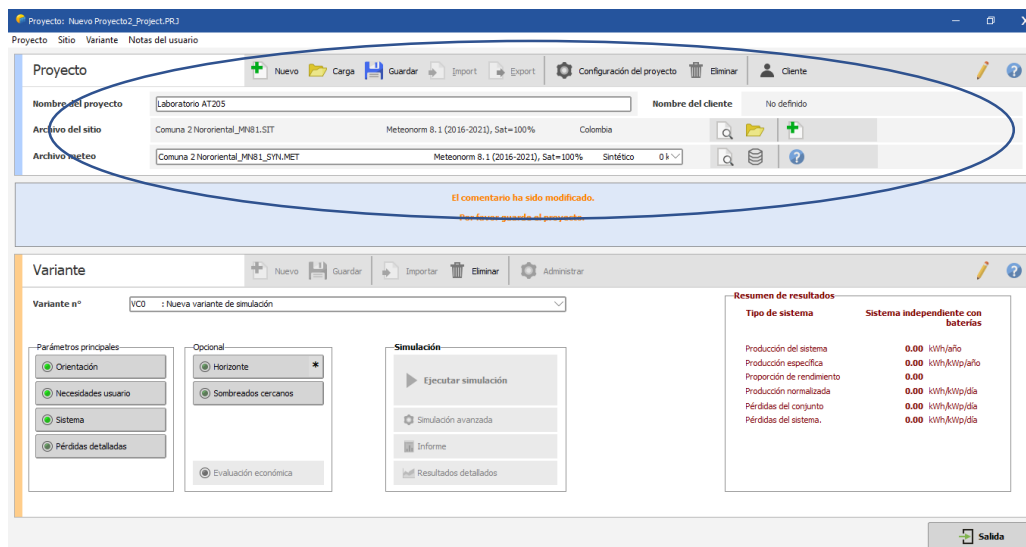
### Diseño y simulación del sistema fotovoltaico aislado para una carga residencial

#### a) Localización

El primer criterio para considerar al dimensionar el sistema solar fotovoltaico es la ubicación, depende mucho de la ubicación medir el comportamiento de nuestro sistema fotovoltaico ya que nos dará los datos los ejemplos incluyen la radiación incidente, la temperatura y la velocidad del viento.

**Figura G1.**

*Localización del proyecto Laboratorio AT 205*

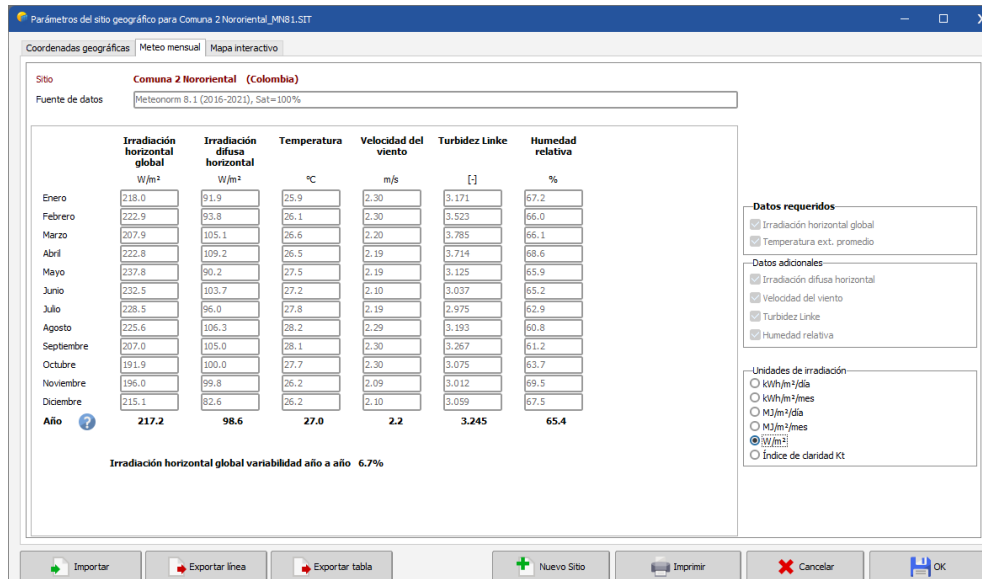


#### b) Datos meteorológicos

Es importante contar con los datos meteorológicos mínimos que se deben utilizar para la evaluación simulación. Estos son en particular: Radiación global a nivel mensual, media Valores adicionales como temperatura ambiente mensual e irradiancia horizontal difusa por mes.

**Figura G2.**

*Datos meteorológicos del proyecto.*

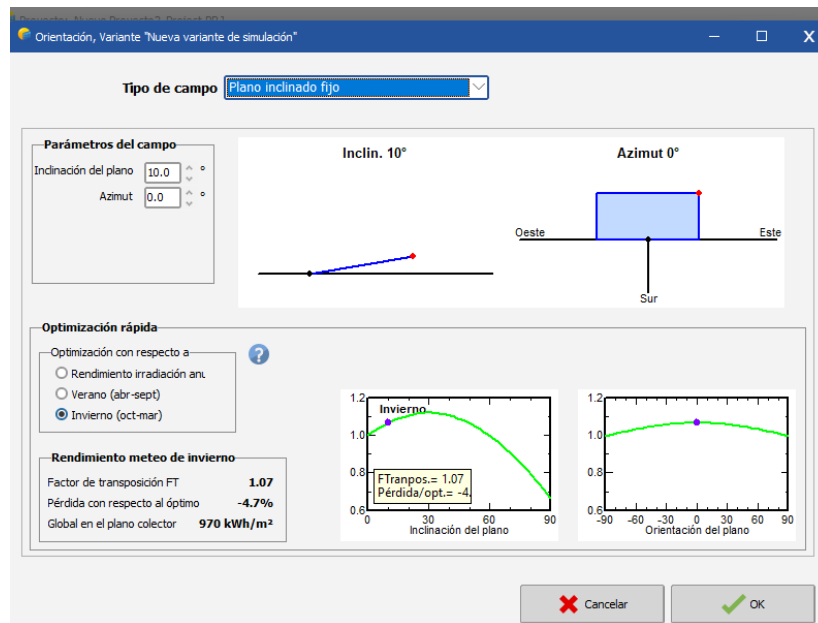


**c) Orientación**

Luego de registrar la ubicación se procede a seleccionar la opción de orientación donde se determina el tipo de campo, la inclinación (definida anteriormente 10° hacia el sur) y el azimut que forman los paneles solares.

**Figura G3.**

*Orientación del panel FV.*



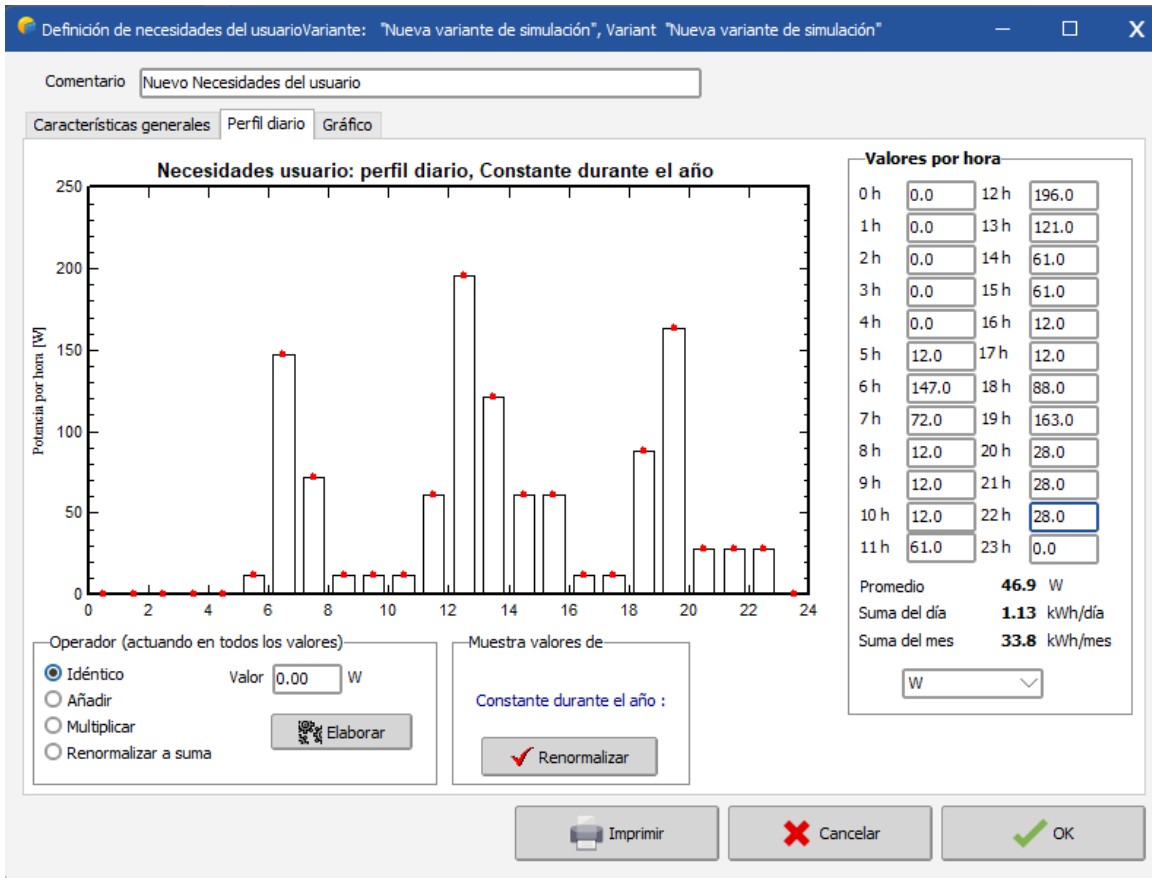
**d) Cuadro de carga**

Seguidamente se ingresan las necesidades del usuario lo que se refiere al consumo diario de las cargas residenciales que se conectan al sistema como se observa en la Figura 26, se tuvieron en cuenta las cargas descritas en el capítulo 2.

La carga residencial tiene una potencia promedio de 46.9W, al día presenta un consumo de 1.13 kWh/día y al mes un consumo de 33.8 kWh/mes.

**Figura G4.**

*Perfil diario en PVSYT.*



Una vez ingresadas las necesidades del usuario se procede a la opción sistema la cual me permite ingresar los siguientes datos: Porcentaje de días a trabajar sin energía solar, marca y modelo del panel FV, voltaje del SF y el controlador de carga.

Figura G5.

Batería del sistema fotovoltaico.

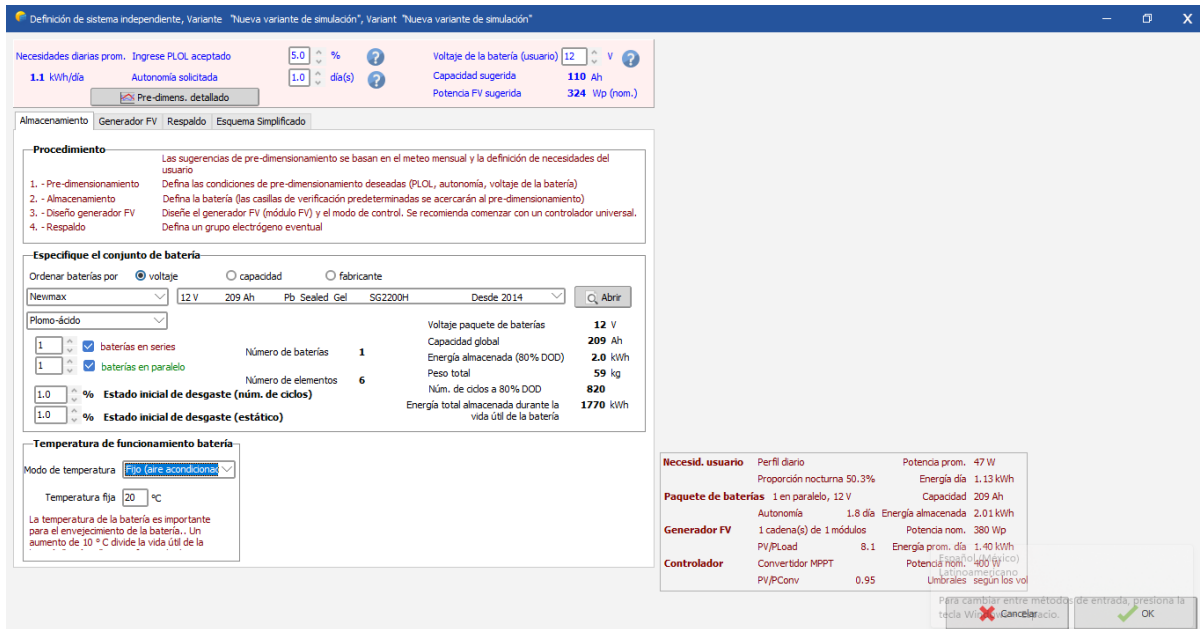
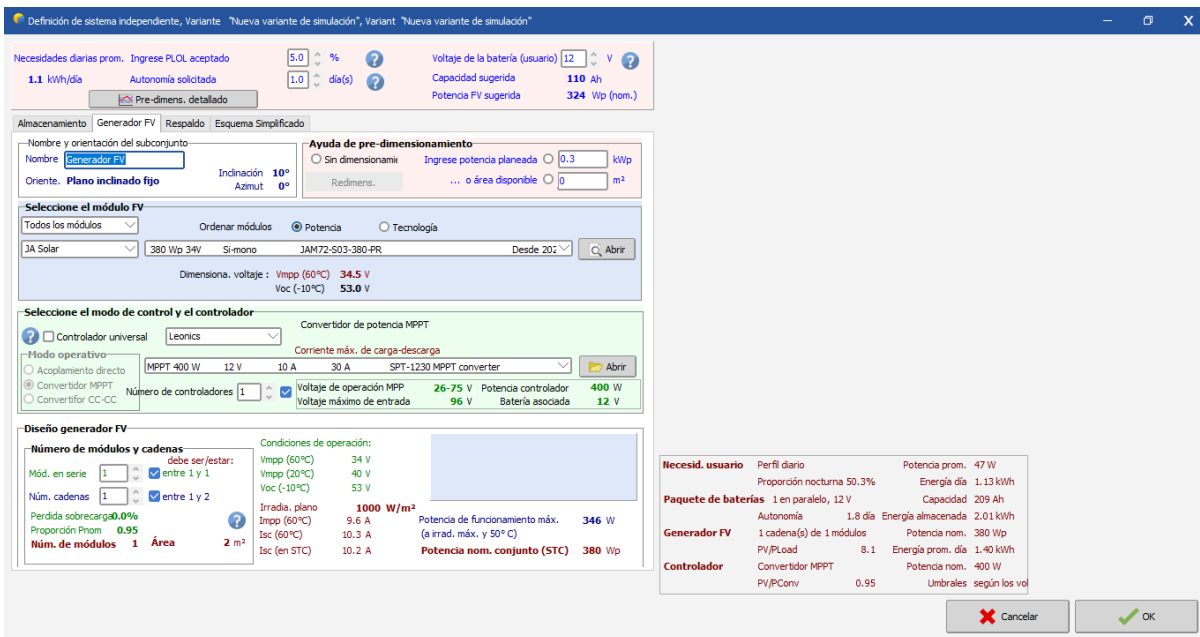


Figura G6.

Panel solar y controlador del sistema fotovoltaico.



## Panel Fotovoltaico:

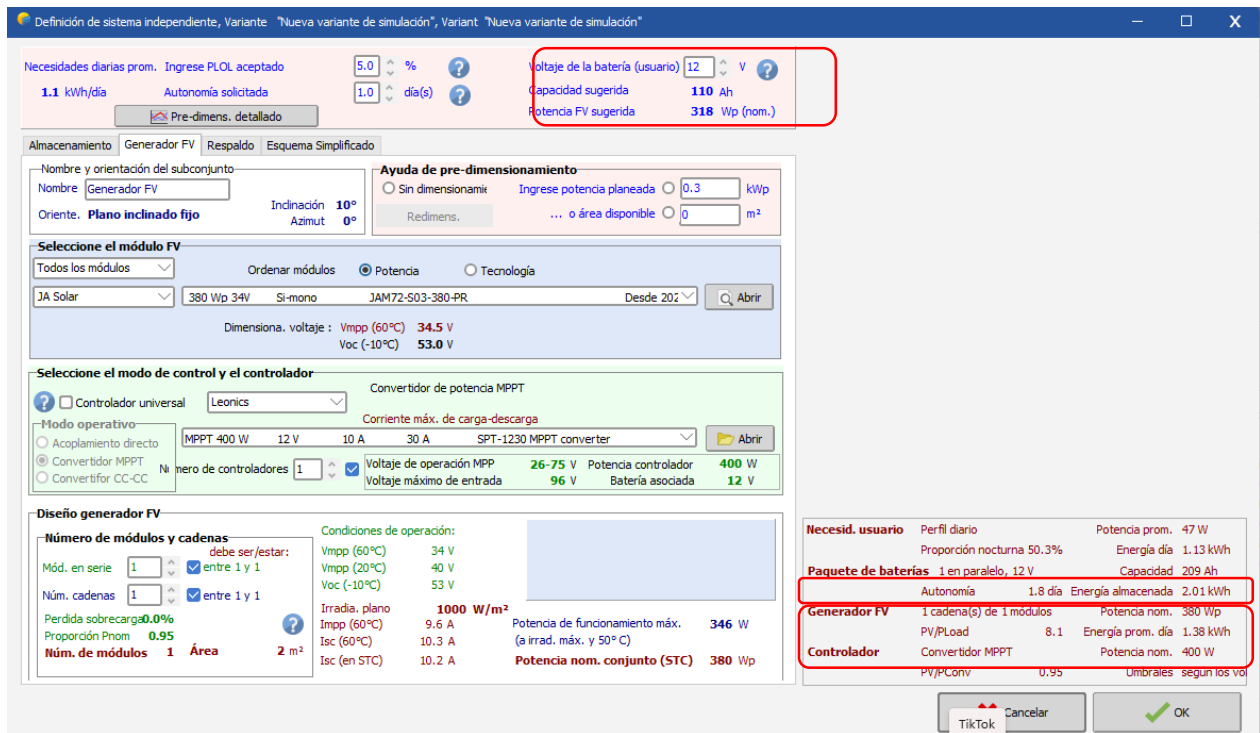
- Fabricante: Generic
- Modelo: JAM72-S03-380-PR
- Potencia: 380 Wp
- Unidades: 1
- Área: 2m<sup>2</sup>
- Controlador
- Fabricante: Generic
- Modelo: SPT-1230 MPPT converter
- Tecnología: MPPT converter

## Batería:

- Fabricante: Generic
- Modelo: SG2200H
- Tecnología: Lead-acid, sealed, Gel
- Unidades: 1
- Voltaje: 12V
- Capacidad nominal: 209Ah

**Figura G7.**

*Resultados obtenidos en PVSYSY.*



Es necesario destacar los resultados obtenidos con el software PVSYSY, que muestran que la capacidad recomendada del sistema de almacenamiento de energía es de 110 Ah y el módulo fotovoltaico 318Wp. las cifras indicadas en las celdas y módulos cubren la Software recomendado ya que 1vbaterías tienen 209Ah y 1 paneles solares 380 Wp, como se muestra en la Figura 29, también es importante recalcar que el panel genera una energía prom. Día de 1.38kWh y la carga demanda 1.13kWh.

Una vez que se completa el proceso de ingreso de datos requerido para diseñar el software, se realizan simulaciones para obtener resultados de diseño e informes finales, finalmente ver el Anexo H para los resultados de la simulación.

**e) Análisis en Pvsyst considerando el sombreado**

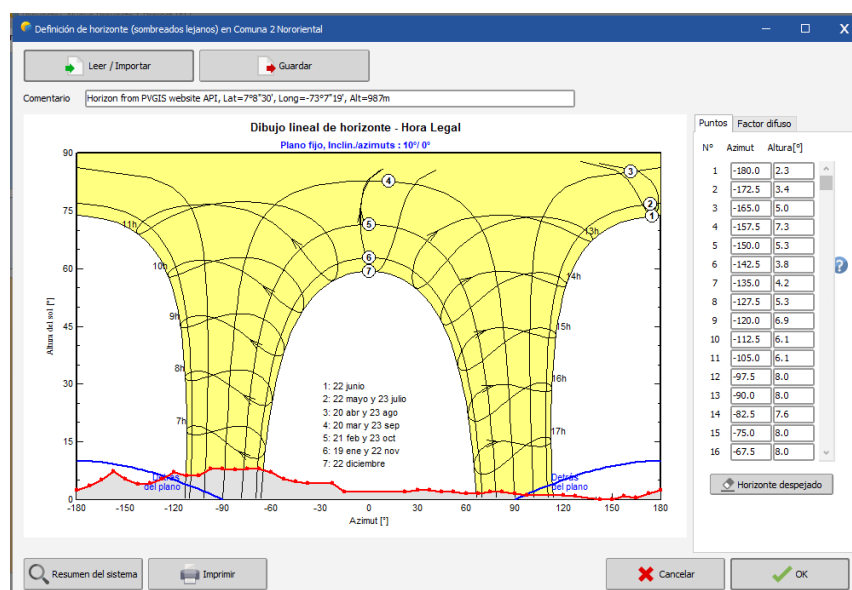
El procedimiento del estudio consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudiada, con el diagrama de trayectorias aparentes del Sol. Cabe añadir que para sistemas FV que abarcan grandes superficies resulta un trabajo muy laborioso, por ello PVSYST dispone de herramientas que nos permiten realizar un estudio del horizonte de la instalación y su posible generación de sombras en momentos determinados del día y del año. Las sombras pueden ser de dos tipos: lejanas (más de 30 km) o cercanas.

**f) Sombras lejanas**

PVsyyst es una herramienta muy completa en donde ofrece un horizonte en el cual mediante la posición de puntos pueden diseñarse las sombras que se requieran o también se pueden exportar de "PVGIS Horizon from Web" tantos puntos como se desee. En la figura 11 se muestra cómo queda diseñada la sombra en el programa.

**Figura G8.**

*Horizonte sombras lejanas.*

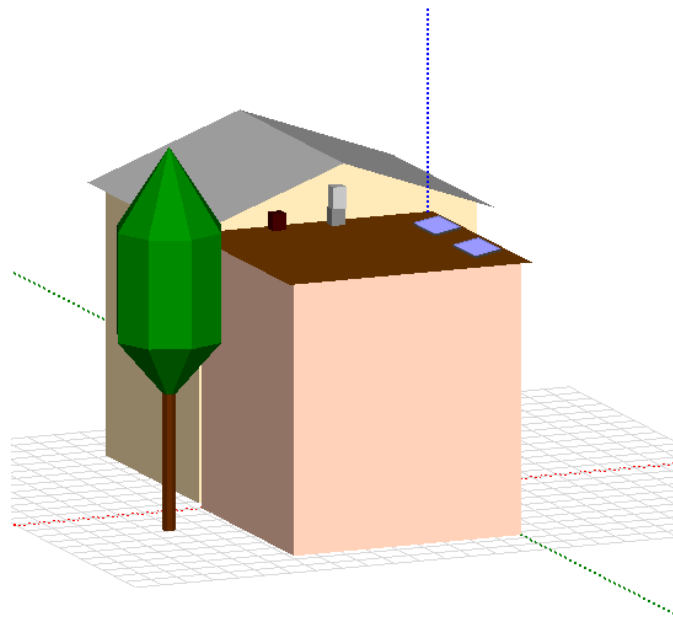


**g) Sombras cercanas**

Al considerar el sombreado se utiliza la herramienta 3D que incluye PVSYST, en la figura 10 se presenta un modelo de la situación, en donde se observa que existen varios objetos que pueden generar sombra (Árbol, condensadores, techo) por lo cual se considera pertinente realizar el dimensionamiento teniendo en cuenta el sombreado.

**Figura G9.**

*Sombreamientos cercanos.*



Luego de completar las variantes de horizonte y sombreados cercanos, se realizan las simulaciones y se obtiene el informe final considerando el sombreado ver Anexo H.

**Apéndice H. Informes PVSYST**

a) Sin considerar sombreadamiento

Variant: Nueva variante de simulación

**PVsyst V7.3.1**  
 VCO, Simulation date:  
 20/01/23 20:35  
 with v7.3.1

**Project summary**

<b>Geographical Site</b>	<b>Situation</b>	<b>Project settings</b>
Comuna 2 Nororiental	Latitude 7.14 °N	Albedo 0.20
Colombia	Longitude -73.12 °W	
	Altitude 987 m	
	Time zone UTC-5	

**Meteo data**  
 Comuna 2 Nororiental  
 Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100% - Sintético

**System summary**

<b>Standalone system</b>	<b>Standalone system with batteries</b>
<b>PV Field Orientation</b>	<b>User's needs</b>
Fixed plane	Daily profile
Tilt/Azimuth 10 / 0 °	Constant over the year
	Average 1.1 kWh/Day

<b>System information</b>	<b>Battery pack</b>
<b>PV Array</b>	Technology Lead-acid, sealed, Gel
Nb. of modules 1 unit	Nb. of units 1 unit
Prnom total 380 Wp	Voltage 12 V
	Capacity 209 Ah

**Results summary**

Available Energy 583.2 kWh/year	Specific production 1535 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 56.56 %
Used Energy 410.6 kWh/year		Solar Fraction SF 99.92 %

**Table of contents**

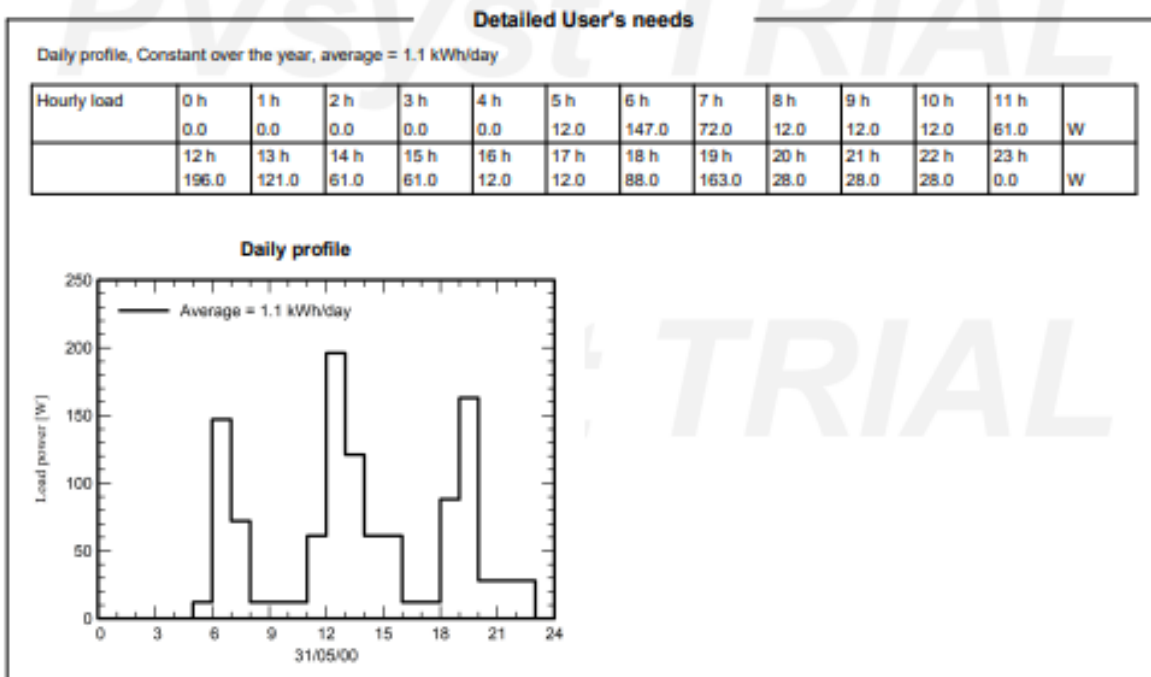
Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Detailed User's needs	5
Main results	6
Loss diagram	7
Pref. graphs	8

General parameters																	
Standalone system							Standalone system with batteries										
<b>PV Field Orientation</b>							<b>Sheds configuration</b>							<b>Models used</b>			
Orientation							No 3D scene defined							Transposition		Perez	
Fixed plane														Diffuse		Perez, Meteorom	
Tilt/Azimuth							10 / 0 °							Circumsolar		separate	
<b>User's needs</b>																	
Daily profile																	
Constant over the year																	
Average							1.1 kWh/Day										
Hourly load	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h	10 h	11 h					
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	147.0	72.0	12.0	12.0	12.0	61.0	W				
	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h	20 h	21 h	22 h	23 h					
	196.0	121.0	61.0	61.0	12.0	12.0	88.0	163.0	28.0	28.0	28.0	0.0	W				

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Battery</b>	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	JAM72-S03-380-PR	Model	SG2200H
(Original PVsyst database)		Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Unit Nom. Power	380 Wp	Nb. of units	1 Unit
Number of PV modules	1 unit	Discharging min. SOC	20.0 %
Nominal (STC)	380 Wp	Stored energy	2.1 kWh
Modules	1 String x 1 In series	<b>Battery Pack Characteristics</b>	
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Voltage	12 V
Pmpp	346 Wp	Nominal Capacity	209 Ah (C10)
U mpp	36 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	9.6 A	<b>Battery Management control</b>	
<b>Controller</b>		Threshold commands as	Battery voltage
Manufacturer	Generic	Charging	13.8 / 12.7 V
Model	SPT-1230 MPPT converter	Corresp. SOC	0.90 / 0.76
Technology	MPPT converter	Discharging	11.6 / 12.4 V
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	Corresp. SOC	0.15 / 0.46
<b>Converter</b>			
Maxi and EURO efficiencies	96.0 / 94.0 %		
<b>Total PV power</b>			
Nominal (STC)	0.380 kWp		
Total	1 modules		
Module area	2.0 m²		
Cell area	1.8 m²		

**Array losses**

<b>Thermal Loss factor</b>		<b>DC wiring losses</b>		<b>Serie Diode Loss</b>				
Module temperature according to irradiance		Global array res.		Voltage drop				
Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Loss Fraction	62 mΩ	Loss Fraction	0.7 V			
Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s		1.5 % at STC		1.8 % at STC			
<b>Module Quality Loss</b>		<b>Module mismatch losses</b>		<b>Strings Mismatch loss</b>				
Loss Fraction		Loss Fraction		Loss Fraction				
-0.8 %		0.0 % at MPP		0.1 %				
<b>IAM loss factor</b>								
Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000



**Main results**

**System Production**

Available Energy 583.17 kWh/year  
 Used Energy 410.64 kWh/year  
 Excess (unused) 150.80 kWh/year

Performance Ratio PR 56.56 %  
 Solar Fraction SF 99.92 %

**Loss of Load**

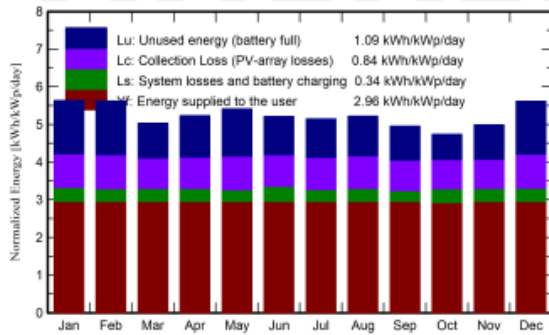
Time Fraction 0.1 %  
 Missing Energy 0.35 kWh/year

**Battery aging (State of Wear)**

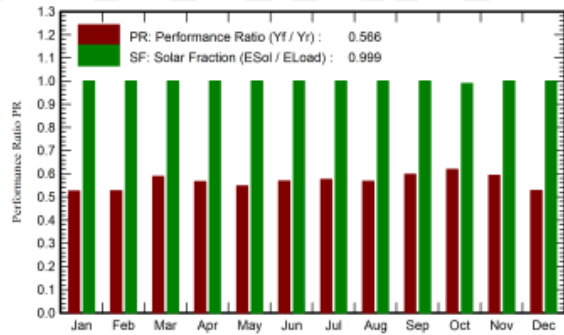
Cycles SOW 1.0 to 87.7 %  
 Static SOW 1.0 to 94.0 %  
 Battery lifetime 7.5 years

On 04/02/90 : El estado de desgaste debido al número de ciclos ha alcanz

**Normalized productions (per installed kWp)**



**Performance Ratio PR**

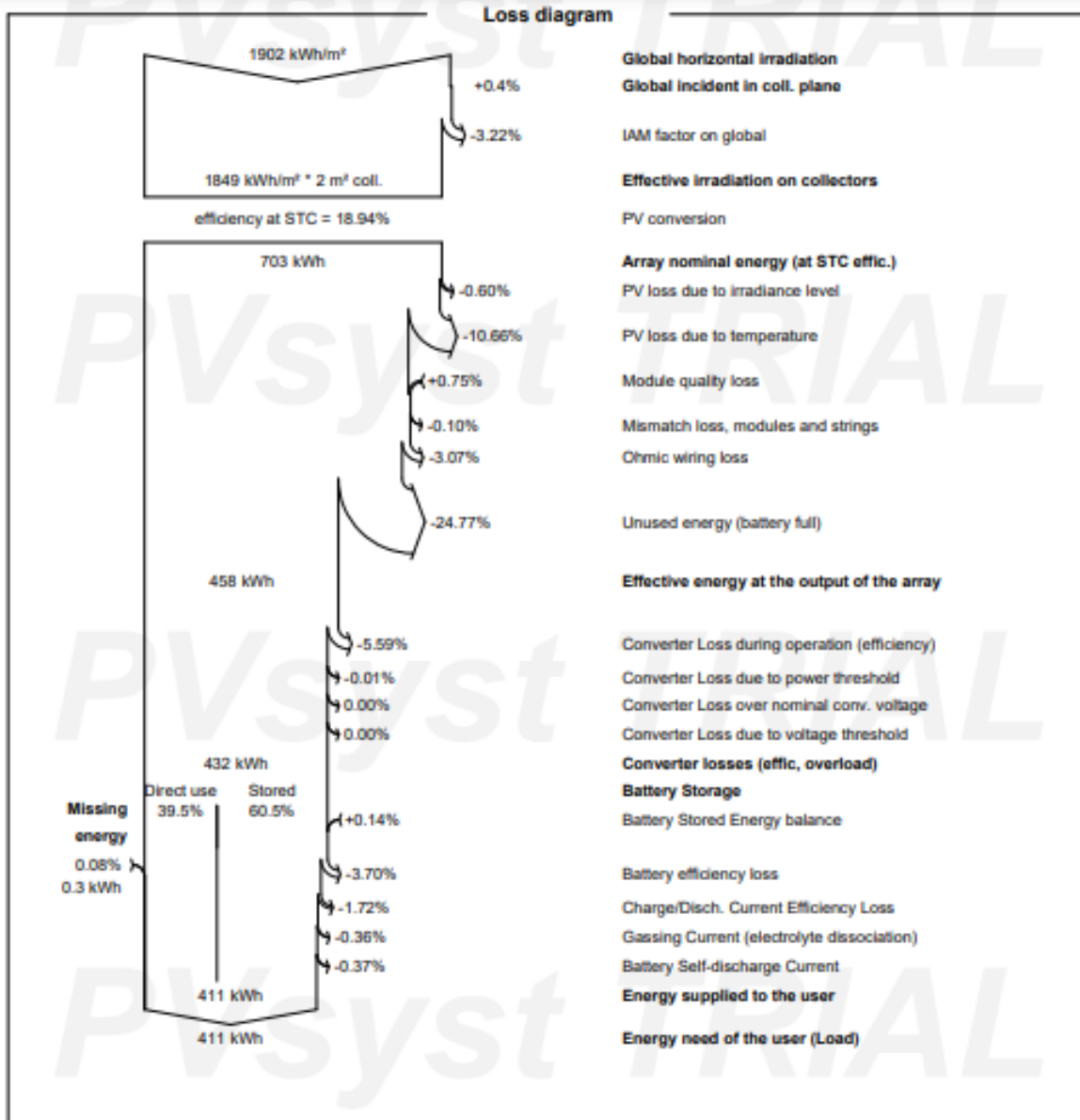


**Balances and main results**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	162.2	170.2	53.91	16.69	0.000	34.91	34.91	1.000
February	149.8	153.2	48.36	15.14	0.000	31.53	31.53	1.000
March	154.7	151.4	47.56	10.86	0.000	34.91	34.91	1.000
April	160.4	152.1	48.13	12.53	0.000	33.78	33.78	1.000
May	176.9	162.1	50.97	14.67	0.000	34.91	34.91	1.000
June	167.4	150.1	47.74	11.51	0.000	33.78	33.78	1.000
July	170.0	153.3	48.38	11.98	0.000	34.91	34.91	1.000
August	167.9	156.0	49.10	12.36	0.000	34.91	34.91	1.000
September	149.0	144.1	45.13	10.24	0.000	33.78	33.78	1.000
October	142.8	142.2	44.46	7.90	0.347	34.56	34.91	0.990
November	141.1	145.0	45.98	10.42	0.000	33.78	33.78	1.000
December	160.0	169.1	53.46	16.50	0.000	34.91	34.91	1.000
Year	1902.3	1849.0	583.17	150.80	0.347	410.64	410.99	0.999

**Legends**

GlobHor Global horizontal irradiation  
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings  
 E\_Avail Available Solar Energy  
 EUnused Unused energy (battery full)  
 E\_Miss Missing energy  
 E\_User Energy supplied to the user  
 E\_Load Energy need of the user (Load)  
 SolFrac Solar fraction (EUsed / ELoad)



b) Considerando sombreado

Project summary			
<b>Geographical Site</b>		<b>Situation</b>	
Comuna 2 Nororiental		Latitude	7.14 °N
Colombia		Longitude	-73.12 °W
		Altitude	987 m
		Time zone	UTC-5
<b>Project settings</b>			
		Albedo	0.20
<b>Meteo data</b>			
Comuna 2 Nororiental			
Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100% - Sintético			

System summary			
<b>Standalone system</b>		<b>Standalone system with batteries</b>	
<b>PV Field Orientation</b>		<b>Near Shadings</b>	
Fixed plane		Linear shadings	
Tilt/Azimuth			
10 / 90 °			
<b>User's needs</b>			
Daily profile			
Constant over the year			
Average			
1.1 kWh/Day			
<b>System information</b>			
<b>PV Array</b>			
Nb. of modules		1 unit	
Pnom total		380 Wp	
<b>Battery pack</b>			
Technology		Lead-acid, sealed, Gel	
Nb. of units		1 unit	
Voltage		12 V	
Capacity		209 Ah	

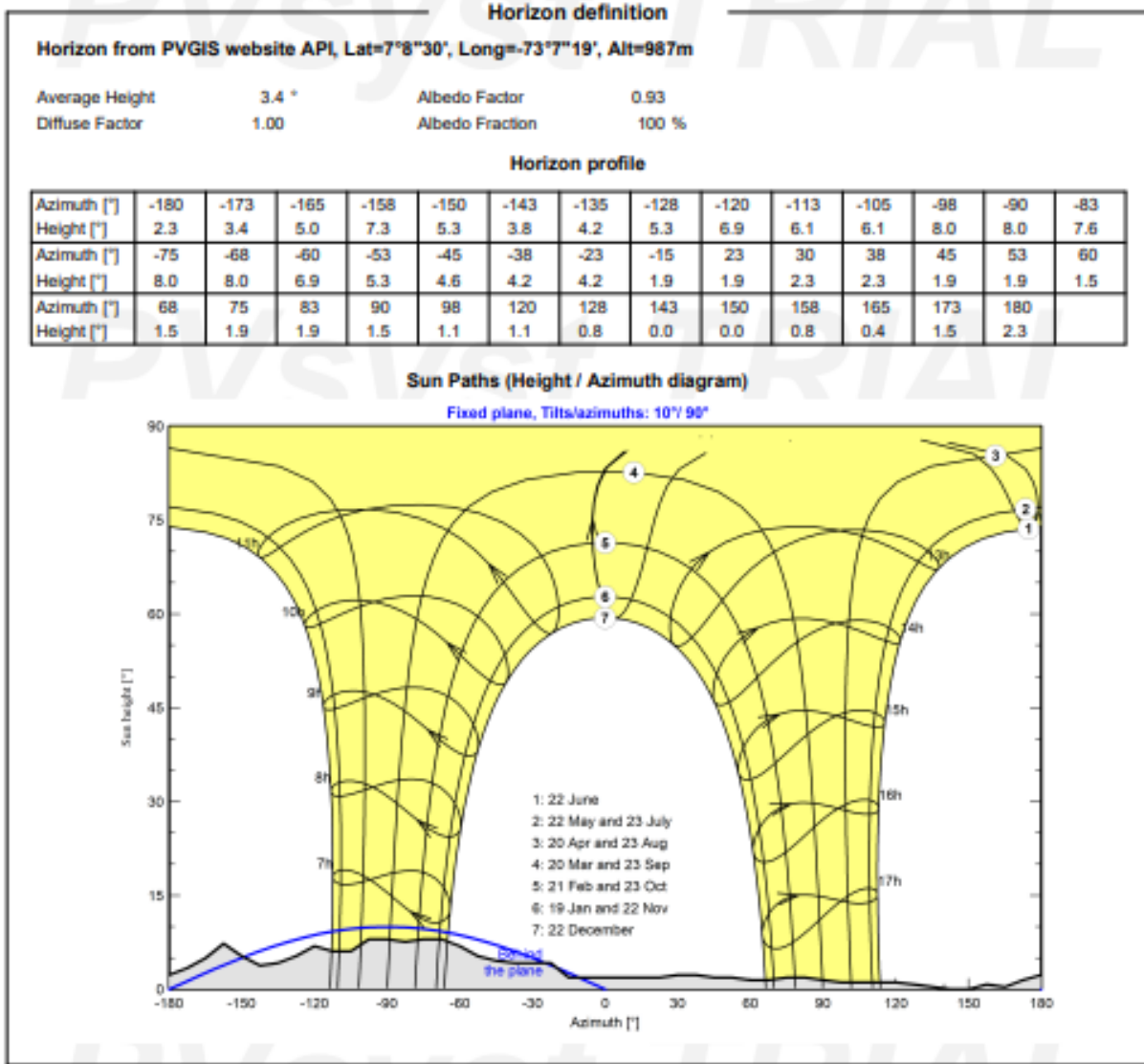
Results summary					
Available Energy	565.1 kWh/year	Specific production	1487 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	57.76 %
Used Energy	410.7 kWh/year			Solar Fraction SF	99.94 %

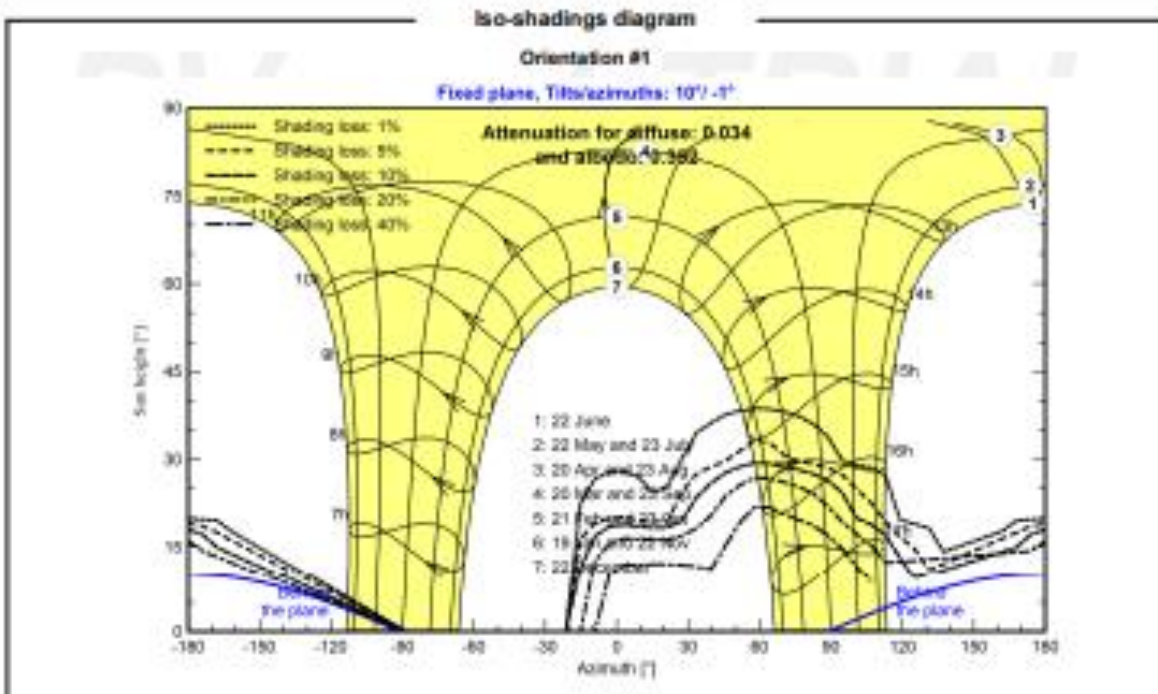
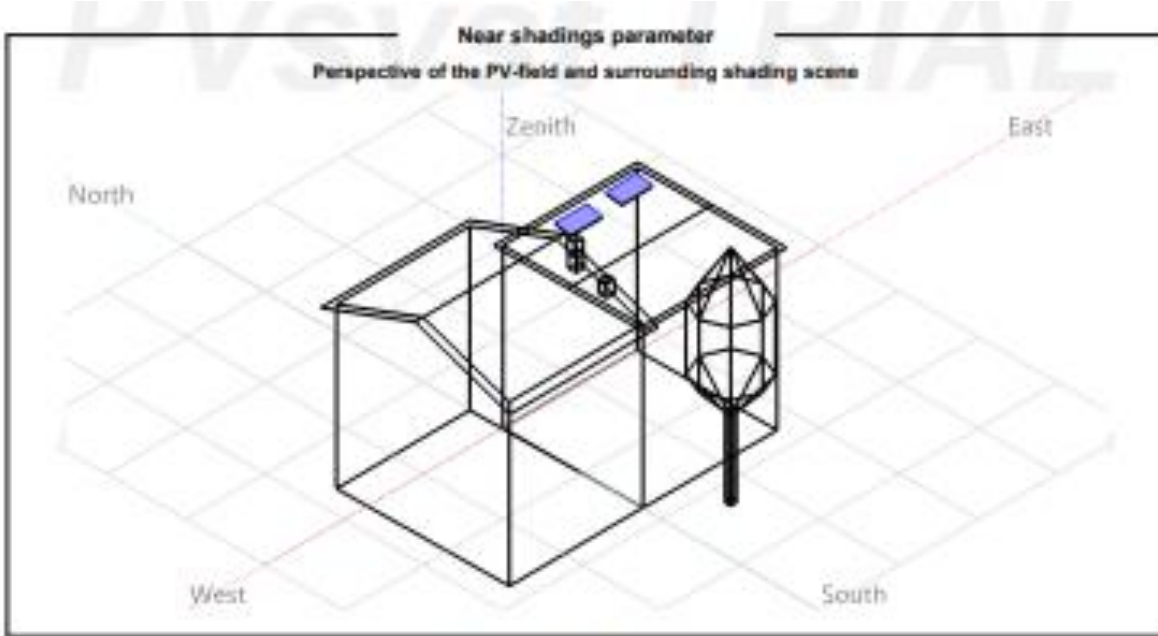
Table of contents	
Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Horizon definition	5
Near shading definition - Iso-shadings diagram	6
Detailed User's needs	7
Main results	8
Loss diagram	9
Predef. graphs	10

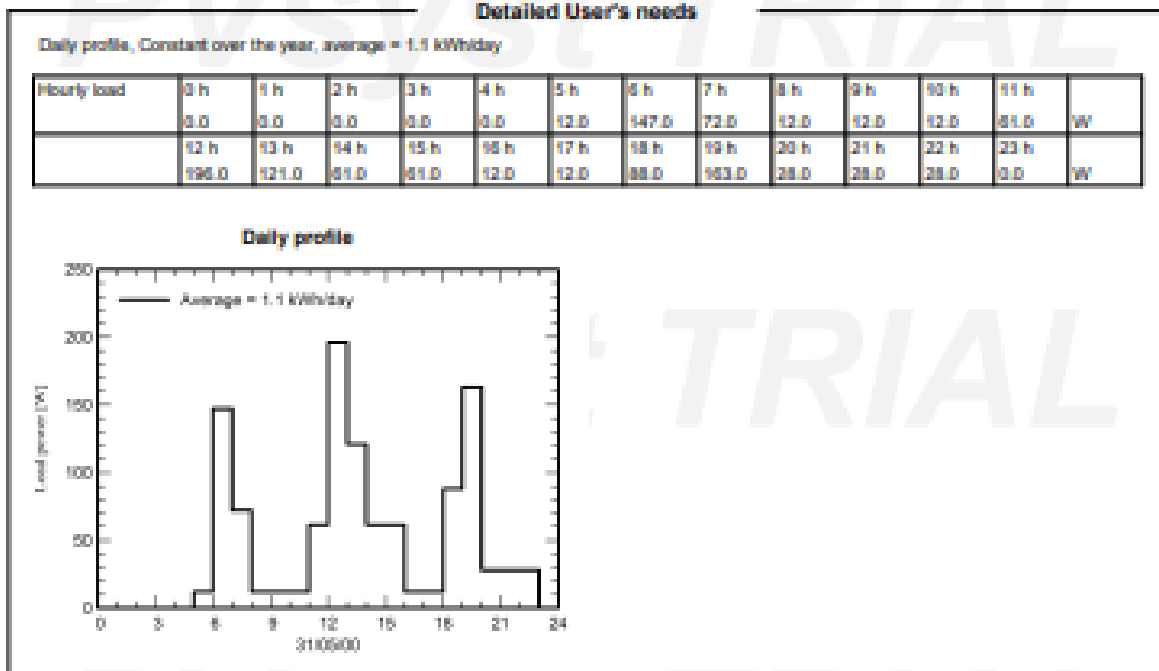
General parameters													
<b>Standalone system</b>					<b>Standalone system with batteries</b>								
<b>PV Field Orientation</b>					<b>Sheds configuration</b>				<b>Models used</b>				
Orientation									Transposition Perez				
Fixed plane									Diffuse Perez, Meteonorm				
Tilt/Azimuth					10 / 90 °				Circumsolar separate				
<b>Horizon</b>					<b>Near Shadings</b>				<b>User's needs</b>				
Average Height					3.4 °				Linear shadings				
									Daily profile				
									Constant over the year				
									Average 1.1 kWh/Day				
Hourly load	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h	10 h	11 h	
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	147.0	72.0	12.0	12.0	12.0	61.0	W
	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h	20 h	21 h	22 h	23 h	
	196.0	121.0	61.0	61.0	12.0	12.0	88.0	163.0	28.0	28.0	28.0	0.0	W

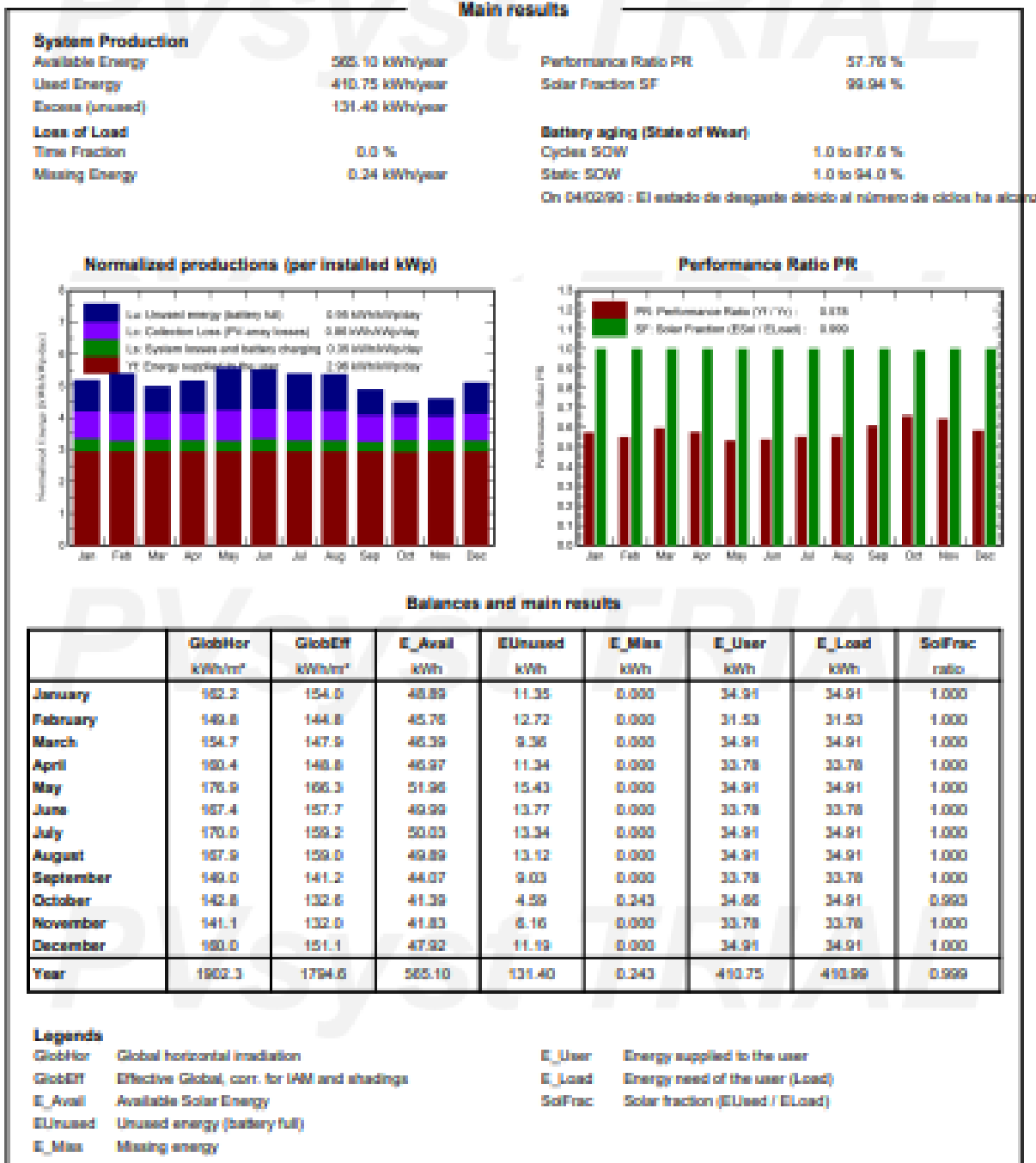
PV Array Characteristics													
<b>PV module</b>					<b>Battery</b>								
Manufacturer					Generic								
Model					JAM72-S03-380-PR								
(Original PVsyst database)													
Unit Nom. Power					380 Wp								
Number of PV modules					1 unit								
Nominal (STC)					380 Wp								
Modules					1 String x 1 In series								
<b>At operating cond. (50°C)</b>													
Pmpp					346 Wp								
U mpp					36 V								
I mpp					9.6 A								
<b>Controller</b>					<b>Battery Pack Characteristics</b>								
Manufacturer					Generic								
Model					SPT-1230 MPPT converter								
Technology					MPPT converter								
Temp coeff.					-5.0 mV/°C/Elem.								
<b>Converter</b>					<b>Battery Management control</b>								
Maxi and EURO efficiencies					96.0 / 94.0 %								
<b>Total PV power</b>													
Nominal (STC)					0.380 kWp								
Total					1 modules								
Module area					2.0 m²								
Cell area					1.8 m²								
					Threshold commands as Battery voltage								
					Charging 13.8 / 12.7 V								
					Corresp. SOC 0.90 / 0.76								
					Discharging 11.6 / 12.4 V								
					Corresp. SOC 0.15 / 0.46								
					Temperature Fixed 20 °C								

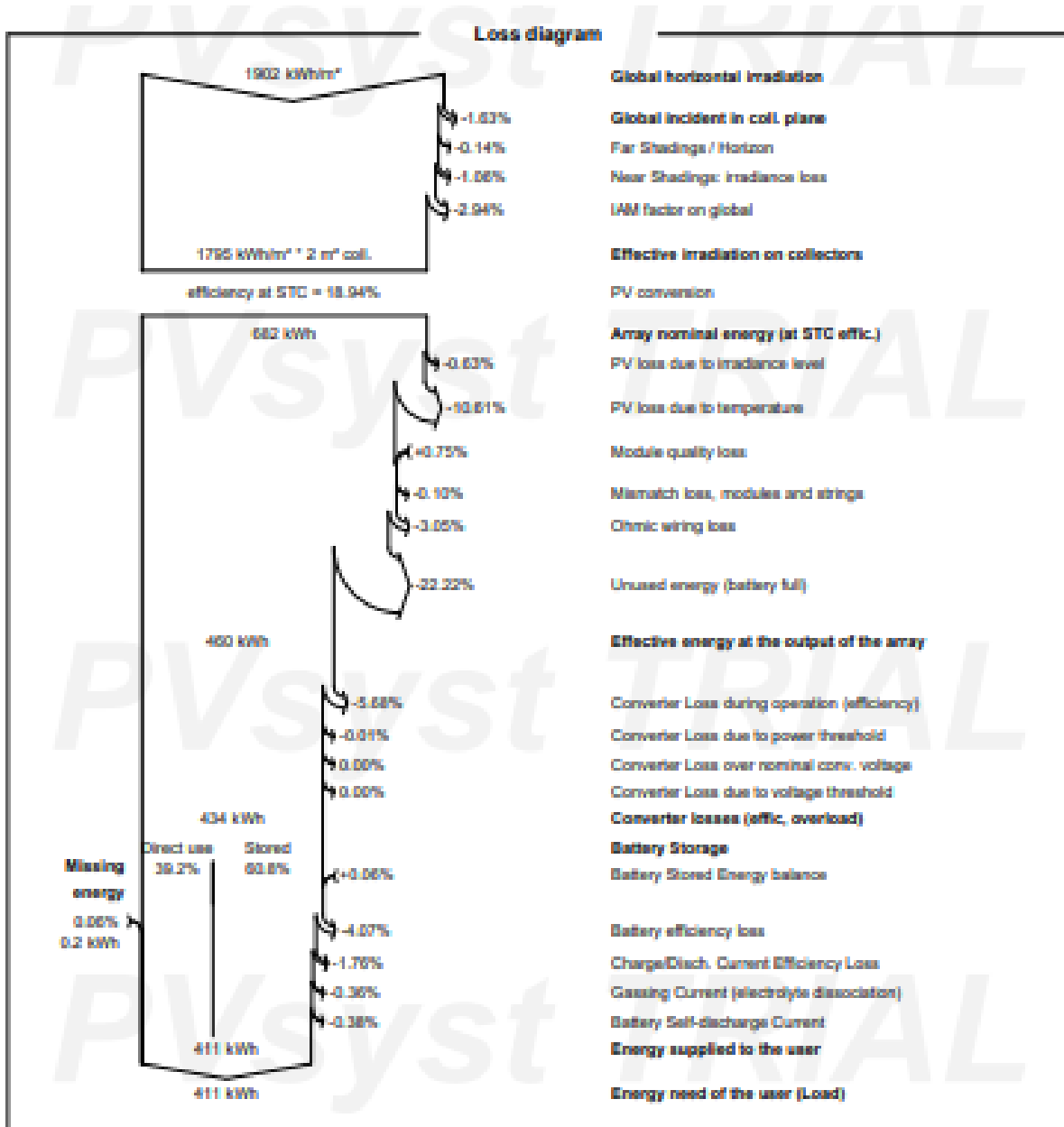
Array losses													
<b>Thermal Loss factor</b>				<b>DC wiring losses</b>				<b>Serie Diode Loss</b>					
Module temperature according to irradiance				Global array res.				62 mΩ					
Uc (const)				20.0 W/m²K				Loss Fraction 1.5 % at STC					
Uv (wind)				0.0 W/m²K/m/s				Voltage drop 0.7 V					
								Loss Fraction 1.8 % at STC					
<b>Module Quality Loss</b>				<b>Module mismatch losses</b>				<b>Strings Mismatch loss</b>					
Loss Fraction				-0.8 %				Loss Fraction 0.0 % at MPP					
								Loss Fraction 0.1 %					
<b>IAM loss factor</b>													
Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526													
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°					
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000					











**Apéndice I. Curva de Demanda**

Los datos que se observan en la tabla son la base para realizar la curva de demanda en el software de Excel.

<b>Hora</b>	<b>P (W)</b>	<b>S (VA)</b>	<b>Q (VAR)</b>		<b>FP</b>
0:00	0	0.00	0.00	0.000	adelanto
1:00	0	0.00	0.00	0.000	adelanto
2:00	0	0.00	0.00	0.000	adelanto
3:00	0	0.00	0.00	0.000	adelanto
4:00	0	0.00	0.00	0.000	adelanto
5:00	12	12.24	-2.44	0.980	adelanto
6:00	147	148.59	21.70	0.989	atraso
7:00	72	73.47	-14.62	0.980	adelanto
8:00	12	12.24	-2.44	0.980	adelanto
9:00	12	12.24	-2.44	0.980	adelanto
10:00	12	12.24	-2.44	0.980	adelanto
11:00	61	67.78	29.54	0.900	atraso
12:00	196	203.22	53.68	0.964	atraso
13:00	121	122.24	17.36	0.990	atraso
14:00	61	67.78	29.54	0.900	atraso
15:00	61	67.78	29.54	0.900	atraso
16:00	12	12.24	-2.44	0.980	adelanto
17:00	12	12.24	-2.44	0.980	adelanto
18:00	88	89.80	-17.87	0.980	adelanto
19:00	163	164.04	18.45	0.994	atraso
20:00	28	28.57	-5.69	0.980	adelanto
21:00	28	28.57	-5.69	0.980	adelanto
22:00	28	28.57	-5.69	0.980	adelanto
23:00	0	0.00	0.00	0.000	adelanto

**Apéndice J. Tabla de carga de batería**

Los datos que se especifican en la siguiente tabla son los obtenidos al realizar las pruebas de carga en la batería, dichos datos fueron utilizados para realizar las curvas de carga de batería.

<b>Hora</b>	<b>I [A]</b>	<b>V [V]</b>	<b>P [W]</b>	<b>dE [Wh]</b>
8:25	9.98	12.31	122.8538	10.24
8:30	9.93	12.57	124.8201	20.64
8:35	9.9	12.63	125.037	31.06
8:40	9.87	12.66	124.9542	41.47
8:45	7.12	12.61	89.7832	48.95
8:50	6.91	12.61	87.1351	56.22
8:55	6.91	12.61	87.1351	63.48
9:00	6.91	12.61	87.1351	70.74
9:05	6.9	12.61	87.009	77.99
9:10	6.86	12.61	86.5046	85.20
9:15	6.86	12.61	86.5046	92.41
9:20	6.85	12.62	86.447	99.61
9:25	6.84	12.62	86.3208	106.80
9:30	6.83	12.62	86.1946	113.99
9:35	6.81	12.62	85.9422	121.15
9:40	6.79	12.63	85.7577	128.29
9:45	6.78	12.63	85.6314	135.43
9:50	6.75	12.64	85.32	142.54
9:55	6.71	12.64	84.8144	149.61
10:00	6.7	12.64	84.688	156.67
10:05	6.69	12.65	84.6285	163.72
10:10	6.67	12.65	84.3755	170.75
10:15	6.66	12.66	84.3156	177.78
10:20	6.63	12.66	83.9358	184.77
10:25	6.58	12.66	83.3028	191.71
10:30	6.56	12.67	83.1152	198.64
10:35	6.53	12.67	82.7351	205.53
10:40	6.34	12.68	80.3912	212.23
10:45	6.349	12.68	80.50532	218.94
10:50	6.337	12.69	80.41653	225.64
10:55	6.317	12.69	80.16273	232.32

<b>Hora</b>	<b>I [A]</b>	<b>V [V]</b>	<b>P [W]</b>	<b>dE [Wh]</b>
11:00	6.285	12.7	79.8195	238.97
11:05	6.192	12.7	78.6384	245.53
11:10	6.16	12.71	78.2936	252.05
11:15	6.147	12.71	78.12837	258.56
11:20	6.124	12.72	77.89728	265.05
11:25	5.94	12.72	75.5568	271.35
11:30	5.944	12.72	75.60768	277.65
11:35	5.928	12.73	75.46344	283.94
11:40	5.904	12.73	75.15792	290.20
11:45	5.893	12.74	75.07682	296.46
11:50	5.857	12.74	74.61818	302.68
11:55	5.845	12.75	74.52375	308.89
12:00	5.83	12.76	74.3908	315.09
12:05	5.812	12.76	74.16112	321.27
12:10	5.788	12.77	73.91276	327.43
12:15	5.684	12.77	72.58468	333.48
12:20	5.665	12.77	72.34205	339.50
12:25	5.642	12.78	72.10476	345.51
12:30	5.622	12.78	71.84916	351.50
12:35	5.597	12.79	71.58563	357.47
12:40	5.525	12.79	70.66475	363.35
12:45	2.757	12.67	34.93119	366.27
12:50	2.826	12.67	35.80542	369.25
12:55	2.831	12.67	35.86877	372.24
13:00	2.784	12.67	35.27328	375.18
13:05	2.78	12.67	35.2226	378.11
13:10	2.765	12.67	35.03255	381.03
13:15	2.755	12.68	34.9334	383.94
13:20	2.746	12.68	34.81928	386.84
13:25	2.723	12.68	34.52764	389.72
13:30	2.714	12.68	34.41352	392.59
13:35	2.705	12.69	34.32645	395.45
13:40	2.694	12.69	34.18686	398.30
13:45	2.678	12.69	33.98382	401.13
13:50	2.673	12.69	33.92037	403.96
13:55	2.661	12.69	33.76809	406.77
14:00	2.654	12.7	33.7058	409.58
14:05	2.646	12.7	33.6042	412.38
14:10	2.637	12.7	33.4899	415.17

<b>Hora</b>	<b>I [A]</b>	<b>V [V]</b>	<b>P [W]</b>	<b>dE [Wh]</b>
14:15	2.635	12.7	33.4645	417.96
14:20	2.631	12.7	33.4137	420.75
14:25	2.622	12.71	33.32562	423.52
14:30	2.59	12.71	32.9189	426.27
14:35	2.587	12.71	32.88077	429.01
14:40	2.578	12.71	32.76638	431.74
14:45	2.573	12.71	32.70283	434.46
14:50	2.568	12.71	32.63928	437.18
14:55	2.546	12.72	32.38512	439.88
15:00	2.549	12.72	32.42328	442.58
15:05	2.545	12.72	32.3724	445.28
15:10	2.538	12.72	32.28336	447.97
15:15	2.531	12.72	32.19432	450.65
15:20	2.534	12.72	32.23248	453.34
15:25	2.5	12.73	31.825	455.99
15:30	2.496	12.73	31.77408	458.64
15:35	2.486	12.73	31.64678	461.28
15:40	2.482	12.73	31.59586	463.91
15:45	2.395	12.73	30.48835	466.45
15:50	2.401	12.73	30.56473	469.00
15:55	2.397	12.73	30.51381	471.54
16:00	2.391	12.73	30.43743	474.08
16:05	2.383	12.74	30.35942	476.61
16:10	2.367	12.74	30.15558	479.12
16:15	2.366	12.74	30.14284	481.63
16:20	2.36	12.74	30.0664	484.14
16:25	2.353	12.74	29.97722	486.63
16:30	2.345	12.74	29.8753	489.12
16:35	2.312	12.74	29.45488	491.58
16:40	2.314	12.75	29.5035	494.04
16:45	2.308	12.75	29.427	496.49
16:50	2.302	12.75	29.351	498.94

**Apéndice K. Tabla de descarga de batería**

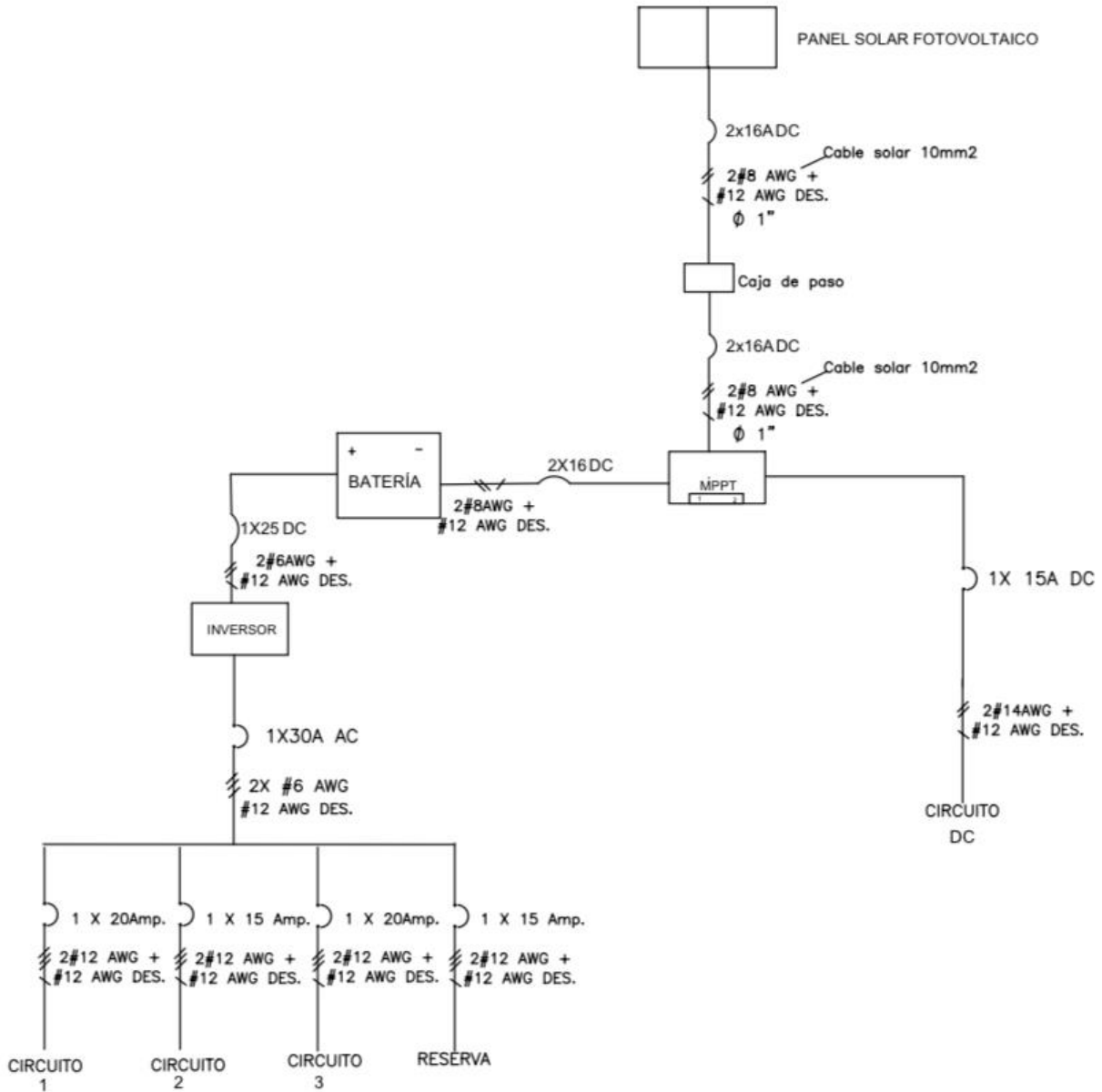
Los datos que se especifican en la siguiente tabla fueron obtenidos al realizar las pruebas de descarga de la batería. Estos fueron utilizados en el software de Excel para realizar la curva de descarga de la batería.

<b>Hora</b>	<b>I</b>	<b>V</b>
10:20	9.48	11.91
10:25	8.9	11.91
10:30	8.84	11.9
10:35	8.88	11.899
10:40	8.86	11.893
10:45	8.85	11.896
10:50	10.1	11.87
10:55	10.05	11.86
11:00	6.41	11.952
11:05	6.31	11.925
11:10	6.29	11.922
11:15	6.31	11.914
11:20	6.3	11.91
11:25	6.28	11.909
11:30	6.28	11.904
11:35	6.29	11.898
11:40	6.29	11.893
11:45	6.3	11.888
11:50	1.1	11.88
11:55	1.1	11.878
12:00	1.11	11.873
12:05	6.31	11.851
12:10	6.3	11.847
12:15	6.29	11.837
12:20	6.3	11.841
12:25	6.3	11.838

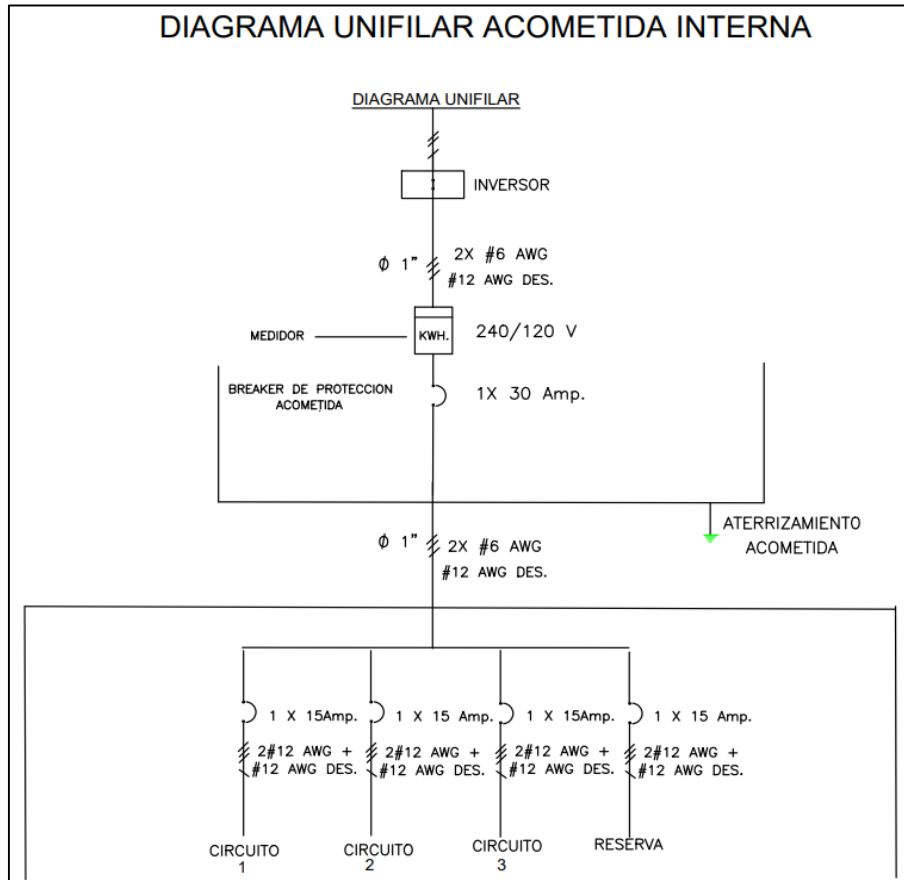
Apéndice **L. Planos eléctricos**

a) Diagrama unifilar de los módulos de entrenamiento

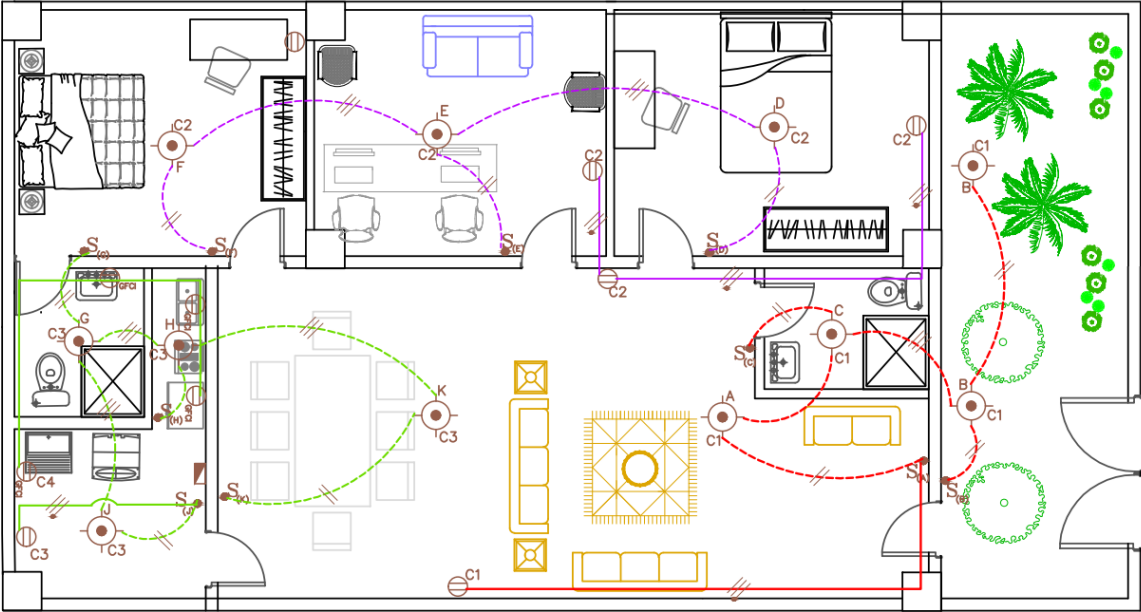
DIAGRAMA UNIFILAR SISTEMA SOLAR



b) Diagrama unifilar vivienda



c) Plano de la vivienda



## Apéndice M. Cálculo de sección transversal del conductor por caída de tensión, protecciones y canalización.

### 1. Especificaciones de los módulos de entrenamiento

Los módulos de entrenamiento instalados en el edificio de AT de la Universidad Industrial de Santander están conformados por dos paneles solares, un controlador, un inversor y batería. La Tabla M1 muestra las especificaciones de cada equipo.

**Tabla M1.**

*Especificaciones técnicas de los módulos fotovoltaicos.*

<b>Equipo</b>	<b>Descripción módulo de entrenamiento 1</b>	<b>Descripción módulo de entrenamiento 2</b>
Panel fotovoltaico	Panel Fotovoltaico JAM72S01 380/PR Potencia: 380 W Tensión circuito abierto: 48.71 V Imáx: 9.5 A	Panel Fotovoltaico JAM72S01 380/PR Potencia: 380 W Tensión circuito abierto: 48.71V Imáx: 9.5 A
Controlador	Regulador de carga solar Steca PR 10-30 Tensión: 12 V Imáx: 30 A	PWM SOLAR CONTROLLER S2460 Tensión: 12 V Imáx: 20 A
Inversor	Inversor onda pura Xantrex PROwatt SW 600 Potencia: 540 W Tensión: 12V Isalida: 104-127 A Ientrada: 10,5-15,5 A	Inversor onda modificada Cobra CPI 480 Potencia: 400 W Tensión: 12 V Isalida: 109-120 A Ientrada: 10,4-14,4 A
Batería	Batería en gel SEC 12 TSG-250 Capacidad: 202 Ah Imax: 40,4 A Tensión: 12V,	Batería en gel SEC 12 TSG-250 Capacidad: 202 Ah Imax: 40,4 A Tensión: 12V,

## 2. Estimación del conductor eléctrico y las protecciones

El dimensionado de los conductores se realizará cumpliendo el criterio de la caída de tensión en los rangos admisibles, de no cumplirse el requisito de caída de tensión se procederá a aumentar la sección de los conductores. Se asume de aquí en adelante que los conductores empleados son de cobre (ICONTEC, 2020).

Para determinar el conductor y las protecciones de los módulos fotovoltaicos se tiene en cuenta las especificaciones de los equipos descritas en la Tabla M1. La sección del conductor de los paneles fotovoltaicos, controlador, inversor y batería se determina considerando las siguientes caídas de tensión admisibles que muestra la Tabla M2:

**Tabla M2.**

*Caída de tensión admisible para sistemas fotovoltaicos.*

<b>Línea</b>	<b>Porcentaje máximo</b>	<b>Porcentaje recomendado</b>
Paneles-controlador	3%	1%
Controlador-batería	1%	0.5%
Batería-inversor	1%	1%

Teniendo en cuenta las disposiciones que presenta el RETIE y la NTC 2050 Sección 690-31 b, en el cual se indica que los cables unipolares recomendables son de tipos SE, UF y USE, de tal manera que se instalen de la misma forma que los cables multiconductores de tipo UF. El cable que se seleccionó para todo el sistema eléctrico en DC el cable Exzhellent-Solar con chaqueta en material termoplástico 90°C, puede utilizarse en lugares secos y húmedos, disponibles desde 4mm<sup>2</sup> hasta 16mm<sup>2</sup>, marca Procables, certificado bajo la norma UL 4703 (Nexans , 2018). Las líneas que comprenden el sistema en DC son: paneles fotovoltaicos - controlador, controlador – batería, controlador – inversor, carga DC – inversor.

Teniendo en cuenta las normas eléctricas RETIE y NTC 2050 para el cálculo de la sección del conductor se utiliza la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2 * L * I}{56 * Ct} \qquad \text{Ecuación M1}$$

En donde:

S: sección del conductor

L: longitud del conductor

56: constante (para el cobre 56, aluminio 35)

I: corriente que pasara por el conductor

Ct: caída de tensión admitida a 12 V

En las tablas M1, M2 y M3 se especifica el amperaje que soportan los conductores, los calibres de los conductores y la canalización dependiendo del calibre del conductor. De acuerdo con los cálculos realizados se selecciona los calibres de los conductores teniendo en cuenta dichas tablas. La temperatura a tener en cuenta para la selección será de 60°C.

**Tabla M3.**

*Amperaje que soportan los conductores a diferentes temperaturas.*

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A	18 AWG	10 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A		
6 AWG	55 A	65 A	75 A	16 AWG	13 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A	14 AWG	18 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A	12 AWG	25 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

**Tabla M4.**

*Calibres de conductor – mm<sup>2</sup>.*

AWG	mm <sup>2</sup>
18	0.75
17	1.0
16	1.5
14	2.5
12	4.0
10	6.0
8	10
6	16
4	25
2	35
1	50
1/0	55
2/0	70
3/0	95

**Tabla M5.**

*Diámetro de tubos tipo IMC.*

CALIBRE DEL CONDUCTOR		DIÁMETRO DEL TUBO TIPO IMC						
AWG/Kcmil	mm <sup>2</sup> ( * )	1"	1-1/4"	1-1/2"	2"	2-1/2"	3"	4"
10	5.25	11	19	26	43	61	95	163
8	8.63	7	12	16	26	37	57	98
6	13	5	9	12	20	28	43	75
4	21	4	6	9	15	21	32	56
2	33	3	5	6	11	15	23	41
1	42.20	1	3	4	7	11	16	28
1/0	53.50	1	3	4	6	9	14	24
2/0	67	1	2	3	5	8	12	20
3/0	85	1	1	3	4	6	10	17
4/0	107	1	1	2	4	5	8	14
250	126.7	1	1	1	3	4	7	12
300	152	1	1	1	2	4	6	10
350	177	1	1	1	2	3	5	9
400	202	0	1	1	1	3	4	8
500	253	0	1	1	1	2	4	7

**a) Cálculo de conductor panel – controlador****• Módulo de entrenamiento 1:**

Para determinar el calibre y las protecciones del panel fotovoltaico hasta el controlador se utiliza la Ecuación M1. Antes de llegar al controlador estará una caja de paso en donde la distancia entre el panel fotovoltaico hasta donde se ubicará la caja de paso es de 6 m y la máxima corriente que pasara por el conductor es 9,85 A (ver Anexo B. Ficha técnica del panel solar), y la distancia de la caja de paso hasta el controlador es de 3m. Además, se debe considerar un 3% de caída admitida que a 12 voltios son 0.36V

$$S = \left( \frac{2 * 9 * 9.85}{56 * 0.36} \right) = 8,79 \text{ mm}^2$$

Para seleccionar el calibre a utilizar se toma un valor superior al obtenido en el cálculo realizado en la anterior ecuación. Según la Tabla M4, la sección recomendada es de 10 mm<sup>2</sup> siendo un calibre de 8 AWG para el conductor que va desde el panel fotovoltaico hasta el controlador.

Según la Tabla M3, la máxima corriente que soporta el conductor TW a 60 °C para un calibre 8 AWG es de 40 A la protección debe ser de 16 amperios DC debido a que la máxima corriente que pasara es la de los paneles de 9,85.

La tubería IMC a utilizar para un conductor de calibre 8 AWG es de un diámetro de 1” como se muestra en la Tabla M3.

**• Módulo de entrenamiento 2:**

Para determinar el calibre y las protecciones del panel fotovoltaico hasta el controlador se utiliza la ecuación M1. Antes de llegar al controlador estará una caja de paso en donde la distancia entre el panel fotovoltaico hasta donde se ubicará la caja de paso es de 4 m y la máxima corriente que pasara por el conductor es 9,85 A ver (Anexo B. Ficha técnica del panel solar), y la distancia

de la caja de paso hasta el controlador es de 3 m. Además, se debe considerar un 3% de caída admitida que a 12 V son 0.36 V

$$S = \left( \frac{2 * 7 * 9.85}{56 * 0.36} \right) = 6,84 \text{ mm}^2$$

Para seleccionar el calibre a utilizar se toma un valor superior al obtenido en el cálculo realizado en la anterior ecuación. Según la Tabla M4, la sección recomendada es de 10 mm<sup>2</sup> siendo un calibre de 8 AWG para el conductor que va desde el panel fotovoltaico hasta el controlador.

Según la tabla M3 la máxima corriente que soporta el conductor TW a 60 °C para un calibre 8 AWG es de 40 A la protección debe ser de 16 amperios DC debido a que la máxima corriente que pasara es la de los paneles de 9,85 A. <sup>i23</sup>

La tubería IMC a utilizar para un conductor de calibre 8 AWG es de un diámetro de 1” como se muestra en la Tabla M5.

#### **b) Cálculo de conductor batería – controlador**

- **Módulo de entrenamiento 1 y 2:**

Para determinar el calibre y las protecciones de la batería hasta el controlador se utiliza la Ecuación M1. Se tiene en cuenta que la distancia entre la batería hasta donde se ubicara el controlador es de 3 m y la máxima corriente que pasara por el conductor es 9,85 A ver (Anexo B. Ficha técnica de los paneles solares). Además, se debe considerar un 1% de caída admitida que a 12 V son 0.12 V

$$S = \left( \frac{2 * 3 * 9.85}{56 * 0.12} \right) = 8,79 \text{ mm}^2$$

Para seleccionar el calibre a utilizar se toma un valor superior al obtenido en el cálculo realizado en la anterior ecuación. Según la Tabla M4, la sección recomendada es de 10 mm<sup>2</sup> siendo un calibre de 8 AWG para el conductor que va desde los bornes de la batería hasta el controlador.

Según la tabla M3 la máxima corriente que soporta el conductor TW a 60 °C para un calibre 8 AWG es de 40 A la protección debe ser de 16 A DC debido a que la máxima corriente que pasara es la de los paneles de 9,85 A.

Para la instalación se recomienda utilizar cable encauchetado 4 x 14 AWG ya que supera la corriente máxima que soporta el cable 8 AWG cumpliendo con los resultados obtenidos en el cálculo del calibre del conductor.

### c) Cálculo de conductor batería– inversor

- **Módulo de entrenamiento 1 y 2:**

Para determinar el calibre y las protecciones de la batería hasta el inversor se utiliza la ecuación M1. Se tiene en cuenta que la distancia entre el inversor hasta donde se ubicada la batería es de 3m y la máxima corriente que pasara por el conductor es 15 A. Además, se debe considerar un 1% de caída admitida que a 12 voltios son 0.12V

$$S = \left( \frac{2 * 3 * 15}{56 * 0.12} \right) = 13.39mm^2$$

Para seleccionar el calibre a utilizar se toma un valor superior al obtenido en el cálculo realizado en la anterior ecuación. Según la tabla M4 la sección recomendada es de 16 mm<sup>2</sup> siendo un calibre de 6 AWG para el conductor que va desde el inversor hasta la batería.

Según la tabla M3 la máxima corriente que soporta el conductor TW a 60 °C para un calibre 6 AWG es de 55 A la protección debe ser de 25 amperios DC para proteger el inversor.

### d) Cálculo de conductor de la carga DC – inversor

- **Módulo de entrenamiento 1 y 2:**

Para determinar el calibre y las protecciones de la carga DC hasta el inversor se utiliza la ecuación M1. Se tiene en cuenta que la distancia entre la carga DC hasta donde se ubicara el

inversor es de 3m y la máxima corriente que pasara por el conductor es 2 A. Además, se debe considerar un 1% de caída admitida que a 12 voltios son 0.12V

$$S = \left( \frac{2 * 3 * 2}{56 * 0.12} \right) = 1.78mm^2$$

Para seleccionar el calibre a utilizar se toma un valor superior al obtenido en el cálculo realizado en la anterior ecuación. Según la tabla M4 la sección recomendada es de 2.5 mm<sup>2</sup> siendo un calibre de 14 AWG para el conductor que va desde el inversor hasta la batería.

Según la tabla M3 la máxima corriente que soporta el conductor TW a 60 °C para un calibre 14 AWG es de 15 A la protección debe ser de 15 amperios DC para proteger la carga.

La Tabla 18 describe las líneas y valores obtenidos, los cuales cumplen para los dos módulos de entrenamiento.

### Tabla M6.

*Conductor y protecciones por líneas. Fuente: Propia.*

Línea	Descripción
Paneles - controlador	Conductor: cable solar de 10 mm <sup>2</sup> – 8 AWG Protección: breaker de dos polos 16 A DC Ducto: tubo IMC de 1”
Controlador - batería	Conductor: cable solar de 10 mm <sup>2</sup> – 8 AWG Protección: breaker 16 A DC
Batería - inversor	Conductor: cable solar de 16 mm <sup>2</sup> – 6 AWG Protección: breaker 25 A DC
Inversor - carga DC	Conductor: cable de 2.5 mm <sup>2</sup> – 14 AWG Protección: breaker 15 A DC

La Sección 338-1 de la NTC 2050, especifica que un cable de acometida es un conjunto de uno o varios conductores con o sin cubierta exterior, utilizado fundamentalmente para acometidas y que puede ser de uno de los tipos siguientes: a) De tipo SE: con cubierta retardante

de la llama y resistente a la humedad. b) De tipo USE: identificado para uso subterráneo, con cubierta resistente a la humedad, pero no necesariamente retardante de la llama (Expo Solar Colombia, 2017). Teniendo en cuenta lo anterior y que el cableado AC comprende la línea desde la salida AC del inversor hasta el tablero general de la vivienda el cable seleccionado para el sistema AC es el conductor THHN/THWN-2 600V CT RoHS CABLE resistente a la humedad, el calor, abrasión, elementos químicos, aceites, gasolina y retardante a la llama (Nexans , 2018).

La protección de la línea de la salida del inversor hasta el tablero general de la vivienda es de 30Amp AC esto se calcula teniendo en cuenta la carga de la vivienda. En el diagrama unifilar de la vivienda se describe dicha protección.

## Apéndice N. Aspectos generales de la instalación

### 1. Puesta a tierra

El Artículo 15 del RETIE establece que las funciones de un sistema de puesta a tierra (SPT) son (ICONTEC, 2020):

- Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.
- Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas.
- Servir de referencia común al sistema eléctrico.

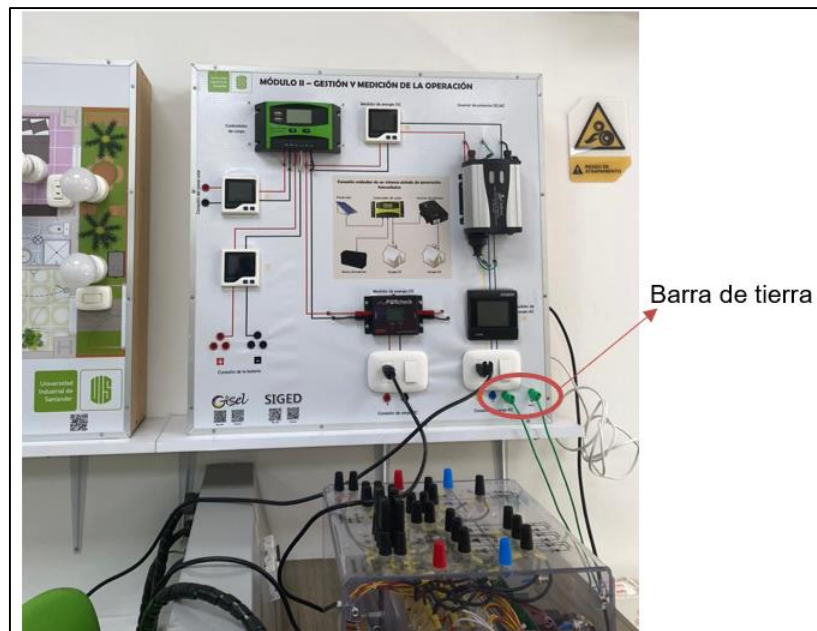
La NTC 2050 Sección 690 Literal E, especifica que se debe poner a tierra permanente (Expo Solar Colombia, 2017):

- Todas las partes metálicas expuestas no portadoras de corriente, como elementos metálicos que actúan de refuerzo estructural, gabinetes, tableros, etc.
- Equipos o dispositivos eléctricos, esto es, conectar el neutro proveniente de los PFV a tierra además de los inversores y descargadores de sobretensión.

Cumpliendo con la normativa colombiana la estructura de soporte del panel FV y los equipos que conforman los módulos de entrenamiento deben estar aterrizados a tierra. La puesta a tierra se realiza tomando como referencia la tierra del edificio de Alta tensión, en donde la estructura de los paneles se aterriza en el barraje de tierra que está ubicado como muestra la Figura Ñ1 conectando el conductor de tierra de los equipos que conforman el módulo de entrenamiento y de ahí se lleva un conductor de tierra que se aterriza a la tierra del tomacorriente más cercano del laboratorio de alta tensión.

**Figura N1.**

*Ubicación de la barra de tierra en los módulos de entrenamiento.*

**2. Guía de instalación de los equipos**

La instalación de sistemas fotovoltaicos debe realizarse teniendo en cuenta las especificaciones de la normativa Colombia para instalaciones eléctricas tanto residenciales como de generación fotovoltaica. Cumpliendo con todo lo establecido tanto en la conformidad de la instalación como en el personal capacitado para realizar el trabajo de instalación.

**2.1 Normativa de las instalaciones eléctricas**

Las principales normas que se deben tener en cuenta al momento de realizar una instalación eléctrica se mencionan a continuación:

- RETIE: reglamento técnico de instalaciones eléctricas, Capítulo 28.3.10 Sistemas integrados y sistemas solares fotovoltaicos (ICONTEC, 2020).

- NTC 2050: norma técnica colombiana, Sección 690. La cual debe cumplirse para las instalaciones de sistemas fotovoltaicos de generación de energía eléctrica, incluyendo sus los reguladores de tensión, cargadores e inversores. (Expo Solar Colombia, 2017)

## 2.2 Instalación de los módulos fotovoltaicos

La persona encargada de ejecutar la instalación de los paneles FV deberá conocer y poseer todos los equipos de protección personal (EPP) y los implementos necesarios de seguridad, Además de conocer las normas básicas de seguridad establecidas en el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo de las Actividades Eléctricas (RESESATAE) (Expo Solar Colombia, 2017).

## 2.3 Equipos, accesorios, herramientas e instrumentos

Para realizar la instalación de los paneles FV de forma segura y eficiente, la persona a cargo de la instalación deberá disponer de los equipos, herramientas y accesorios necesarios, que se especifican en las tablas Ñ1 y Ñ2.

### Tabla N1.

*Equipos y accesorios a utilizar.*

	<b>Equipos y accesorios</b>	<b>Descripcion</b>
1	Panel fotovoltaico	Dos paneles solares de 380 W cada uno
2	Soporte modulo fotovoltaico	Material adecuado, aluminio. Considerar estructura de aluminio
3	Batería	Dos baterías de 202 Ah - 12 VDC
4	Soporte batería	Material de madera para la base
5	Controlador	Un controlador de 30 A Un controlador de 20 A
6	Inversor	Un inversor de 540 W, 12 V (DC) de entrada, 127 V (AC) de salida. Un inversor de 400 W, 12V (DC) de entrada, 120 V (AC) de salida
7	Lámparas Led	Potencia de 7 W cada una
8	Portalámparas	Material adecuado, porcelana

Equipos y accesorios		Descripción
9	Interruptores fijos	Protecciones DC: 2 interruptores dobles de 16 ADC, 1 interruptor sencillo de 16 ADC, 2 interruptores sencillos de 25 ADC. Protecciones AC: 1 interruptor de 30A, 4 interruptores de 15 A
10	Tomacorrientes	120 V, 15 A
11	Conductor o cable solar	Cable solar XL 10 MM. Calibre de cable AWG número 8 (10mm <sup>2</sup> ) para la trayectoria de los paneles solares al regulador, batería hasta el regulador  Cable solar XL 16 MM. Calibre de cable AWG número 6 (16mm <sup>2</sup> ) que va entre el inversor y controlador, inversor y carga DC
12	Cable de cobre aislado	Calibre: 12 AWG (4 mm <sup>2</sup> ). Tipo: THN,
13	Caja de paso	Caja de paso metálica para cuatro circuitos. Medidas de: 29 x 28 x 38 cm
14	Soporte para protecciones	Riel omega X 1m
15	Prensaestopas, cintillos, cuerda.	Solo si es necesario según la persona a cargo de la instalación

**Tabla N2.**

*Herramientas e instrumentos para utilizar.*

HERRAMIENTAS	
1	Alicate de corte
2	Alicate aislado universal
3	Destornillador plano
4	Destornillador estrella
5	Llaves mixtas
6	Multímetro y Amperímetro
7	Brújula
8	Nivel
9	Metro
10	Martillo
11	Cinta aislante

## **2.4 Reconocimiento de estado de equipos**

Por medio de una inspección visual se realiza el reconocimiento del estado de los equipos con el objetivo de verificar que los módulos fotovoltaicos reúnen las condiciones básicas para su instalación. Al encontrar algún defecto en los equipos durante la inspección se sugiere no ejecutar la instalación y verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas en las fichas técnicas de los equipos.

## **2.5 Verificación de los requerimientos básicos**

Es importante verificar en cada equipo antes de realizar la instalación los siguientes requisitos fundamentales:

- Soporte panel FV: el material del soporte del panel debe ser de aluminio o un material que posea las mismas características, el cual debe diseñarse para ser fijado con el panel, formando una sola pieza. La altura recomendada es de 1.0 m.
- Panel FV: el vidrio de la parte frontal y los terminales de conexión no pueden tener grietas o agujeros. La placa de datos del equipo debe ser claros. La caja de paso para las conexiones no debe presentar grietas o golpes.
- Batería: es importante que las borneras y sujetadores de la batería deben estar en buena condición. Se verifica los datos de su etiqueta, y recomendaciones de mantenimiento e instalación.
- Controlador: las borneras de conexión del controlador de carga al instalarse deberán distanciarse 3 cm para que los conductores queden separados. Es importante las etiquetas para su respectiva conexión o especificar en la placa de datos.
- Lámparas DC y AC: deben especificar la información básica tales como: marca, referencia, valor de potencia y tensión, y vida útil. Es necesario identificar las bornera de conexión positivo y negativo.

### **3. Fases del proceso de instalación**

El procedimiento de instalación se divide en dos fases las cuales comprenden los siguientes pasos principales:

- Fase 1: aspectos de instalación
  - Instalación de estructura y los paneles fotovoltaicos
  - Instalación de controlador de carga
  - Instalación de inversor
  - Instalación de bornes de conexión
  - Instalación del soporte para la batería
- Fase 2: aspectos de conexión
  - Conexión entre inversor y controlador
  - Conexión de la batería y el controlador
  - Conexión del panel fotovoltaico con el controlador

#### **3.1 Fase 1: Aspectos de instalación**

En esta fase se describirá la instalación de los aspectos mecánicos como lo son la estructura de soporte de los paneles FV, controlador, inversor, soporte de batería.

##### **a. Instalación del soporte de los paneles fotovoltaicos**

En cuanto a la instalación del soporte o base de los paneles FV, se utilizará una estructura en el techo lo cual presenta las ventajas fácil acceso y facilidad al momento del montaje. Una parte fundamental de un sistema fotovoltaico es la estructura que lo soporta. Debido a que esto facilita que los paneles puedan situarse con el ángulo de inclinación de (10 °) en dirección al sol brindándole seguridad a la instalación. La fuerza del viento juega un papel fundamental a la hora

de fijar el soporte de los paneles ya que dependiendo de la zona esta condición puede llegar a ser considerable. La altura de la estructura debe ser de 1m.

#### **b. Instalación del controlador**

Al momento de realizar la instalación del controlador, se tienen en cuenta las siguientes observaciones:

- La instalación del controlador en la base de madera se realiza separando 3 m en cada lado del controlador. Las borneras del controlador deben estar identificados y verificar las polaridades de los equipos que serán conectados (panel FV, batería, y carga).
- La trayectoria del controlador empieza desde las borneras de controlador hasta el barraje de protecciones DC y la salida de los conductores llega al inversor y baterías. Como especifica el Anexo L inciso a).

#### **c. Instalación del inversor**

Al momento de realizar la instalación del inversor, se tienen en cuenta las siguientes observaciones:

- La instalación del inversor debe realizarse, separando cada 3 m por cada lado del inversor. Los bornes deben indicar la polaridad de la carga a ser conectada.
- La trayectoria del conductor de salida del inversor llega al barraje de protecciones AC de la acometida principal de la vivienda como especifica el Anexo L inciso a).

#### **d. Instalación de soporte de batería**

El soporte de la batería es fundamental en un sistema solar, debido a que los componentes de una batería pueden considerarse como material de riesgo para la humanidad y el medio ambiente. Por lo tanto, es recomendable utilizar un nivel el cual permite verificar que el soporte

de la batería quede situado de forma vertical. El nivel se sitúa sobre el soporte de madera y al momento que la burbuja este centrada indica que la ubicación es correcta.

Los indicadores de electrolito son importantes deben estar visibles y etiquetados en la batería evitando que ocurran derrames del electrolito en las borneras y cables de cobre aislado. El soporte deberá estar aislado con la finalidad de protección para el personal que la manipule.

### **3.2 Fase 2: Aspectos de conexión**

En esta fase se describirá el conexionado de los equipos eléctricos como el controlado, inversor, batería y carga.

#### **a. Conexión entre controlador y batería**

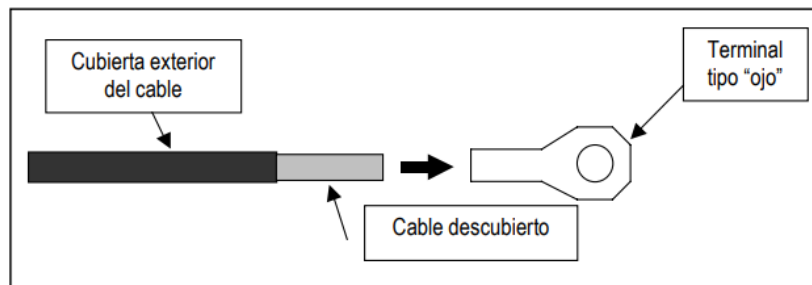
Para realizar la conexión entre el regulador de carga y la batería se debe tener en cuenta las siguientes observaciones:

- Señalizar la polaridad en la batería para los terminales siguiendo las etiquetas positiva y negativa en cada bornera.
- Los cables aislados positivo y negativo, se fijan a la bornera de la batería, los conductores deben tener terminales de batería. El calibre del conductor debe ser mínimo de 8 AWG.
- Se recomienda retirar parte del cable aislado, para dejar expuesto el cable unos 20 cm.

Para conectar las baterías es común utilizar terminales de ojo como se muestra en la Figura Ñ2.

**Figura N2.**

*Utilización de terminal tipo ojo. Fuente: Norma NEMA 5-15R, 120 V, 15 A*



Al efectuar la conexión de la batería hasta el controlador, a través de la bornera de conexiones, se debe tener en cuenta las siguientes especificaciones:

- suspender y fijar el cable de cobre aislado positivo y negativo consideran una distancia de 30 cm, desde la batería y sobre la base de madera hasta el barraje de protecciones, luego desde el barraje de protecciones hacia los bornes del controlador, positivo de la batería y negativo de la batería respectivamente.

Luego de haber realizado las especificaciones anteriores el controlador se activará cuando la batería se encuentre cargada con una tensión nominal del sistema siendo 12 V. mostrando el estado actual al que opera el sistema.

**b. Conexión entre el inversor y controlador**

Para realizar el conexionado entre inversor y el controlador se debe tener en cuenta previamente las siguientes consideraciones:

- Al momento de realizar la conexión desde el inversor hacia el controlador a través de las borneras de conexión se debe tener en cuenta las siguientes observaciones: suspender y fijar los conductores positivos y negativos desde el inversor hasta el barraje de protecciones DC. Luego

se conecta desde el barraje de protecciones DC hacia los terminales del controlador, bornera positiva y bornera negativa, respectivamente para el inversor.

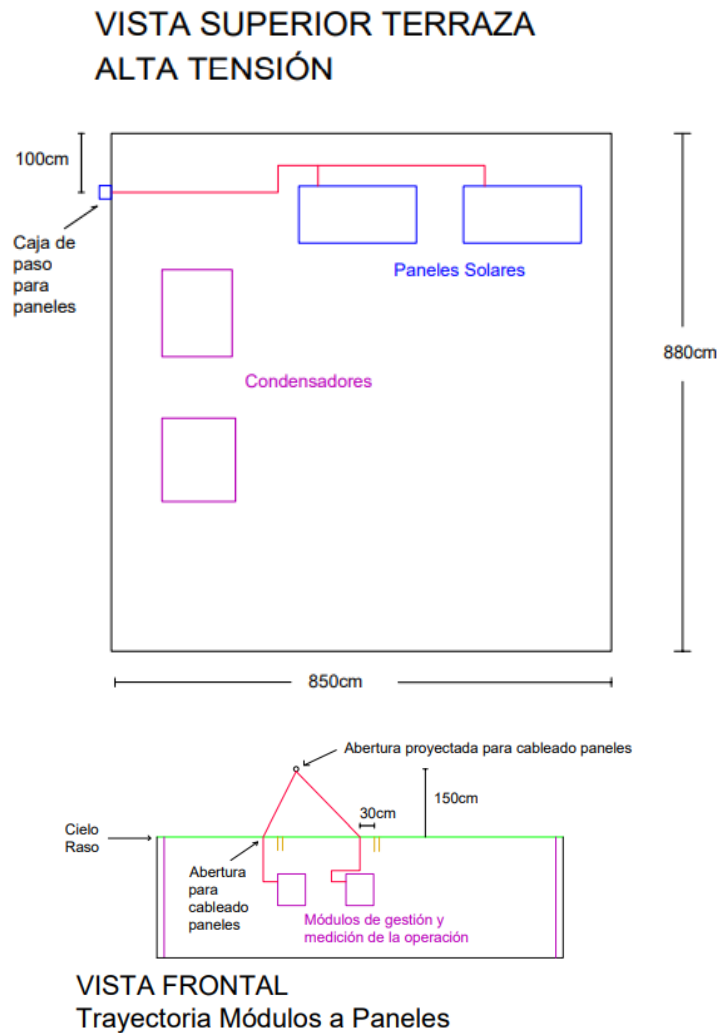
### **c. Conexión entre el panel fotovoltaico y controlador**

Para realizar el conexionado entre el módulo fotovoltaico y el controlador se debe tener en cuenta previamente las siguientes consideraciones:

- Al momento de realizar el conexionado de desde el panel fotovoltaico hacia el controlador a través de las borneras de conexión se debe tener en cuenta las siguientes especificaciones: suspender y fijar los cables positivo y negativo mediante grapas cada 30 cm sobre la estructura de soporte del panel, el conductor solar cruzara una caja de paso hasta llegar al barraje de protección DC, luego se conecta desde el barraje de protecciones DC hacia los terminales del controlador, positivo del panel y negativo del panel, respectivamente. La Figura Ñ3 muestra la trayectoria del conductor solar hasta el módulo de entrenamiento.

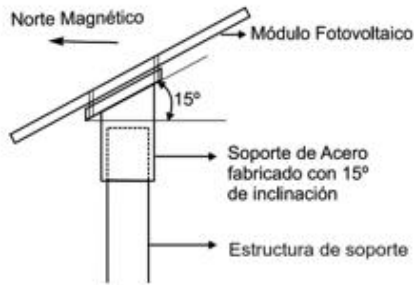
**Figura N3.**

*Trayectoria del conductor solar desde el panel hasta llegar al módulo de entrenamiento*



- El conductor de tierra se aterriza a la estructura y pasa por la caja de paso hasta llegar al barraje de tierra ubicado en los módulos de entrenamiento como se especificó en la Figura Ñ3.

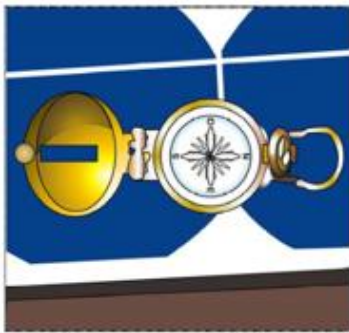
Es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones al realizar la instalación del sistema fotovoltaico.



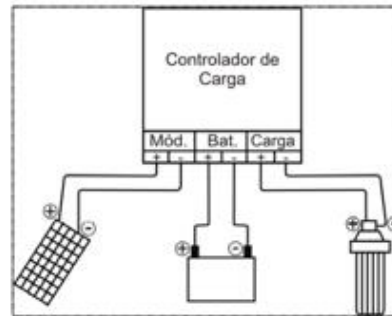
Existen estructuras ya fabricadas con el ángulo de inclinación requerido



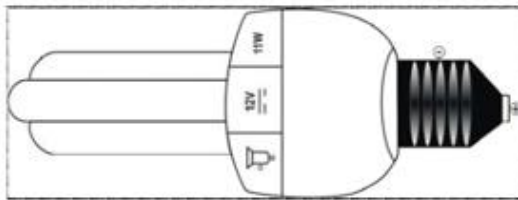
Se debe verificar el ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico, se puede usar un transportador junto con un nivel



Se debe verificar que la cara frontal del módulo fotovoltaico debe estar dirigido hacia el norte magnético, para esto se utiliza una brújula



Se debe verificar la polaridad positiva (+) y negativa (-) en cada uno de los terminales a conectar, y así mismo su correspondencia entre los equipos y/o accesorios.



Se debe considerar que la polaridad en los portalámparas (sockets), deberán coincidir con la polaridad positiva (+) y negativa (-) de las lámparas led.

**Apéndice Ñ. Implementación de Mejoras en los módulos de entrenamiento.**

a) Mejoras realizadas al módulo de entrenamiento 1:

- Se retiró controlador Steca y se instaló controlador Olmo como muestran las Figuras Ñ1 y Ñ2.

**Figura Ñ1.**

*Retiro de controlador Steca*



Figura Ñ2.

Instalación del controlador Olmo



- El controlador STECA fue instalado en el edibon como muestra la Figura Ñ3

**Figura Ñ3.**

*Instalación del controlador Steca.*



- Se retiró inversor Xantrex y se instaló inversor EPEVER IP1000 como muestra la Figura Ñ4.

**Figura Ñ4.**

*Instalación del inversor EPEVER IP1000*



- Se reemplazó tomacorriente convencional por uno GFCI en el módulo de carga como muestra la Figura Ñ5.

**Figura Ñ5.**

*Instalación tomacorriente GFCI en el módulo de carga*



- Se fijan cables entre conexión módulo gestión de la operación y módulo de cargas como muestra la Figura Ñ6.

**Figura Ñ6.**

*Adecuación de cableado.*

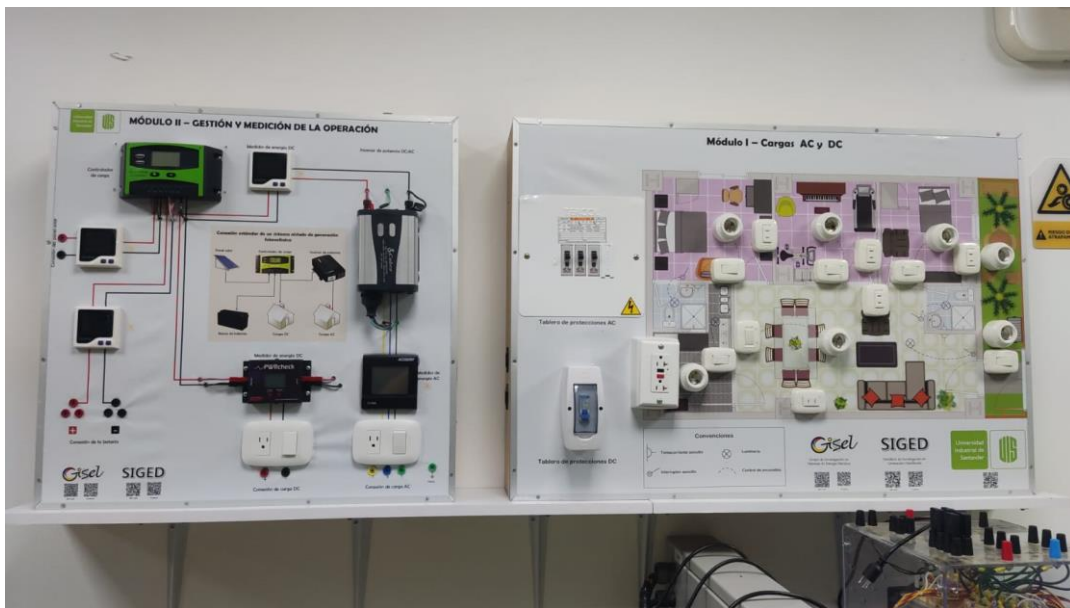


## b) Mejoras realizadas al módulo de entrenamiento 2:

- Se cambió del orden de los módulos gestión de la operación y módulo de cargas como muestra la Figura Ñ7.

**Figura Ñ7.**

*Módulo de entrenamiento 2 reubicado.*



- Se reemplazó toma corriente convencional por uno GFCI en el módulo de carga como muestra la Figura Ñ8.

**Figura Ñ8.**

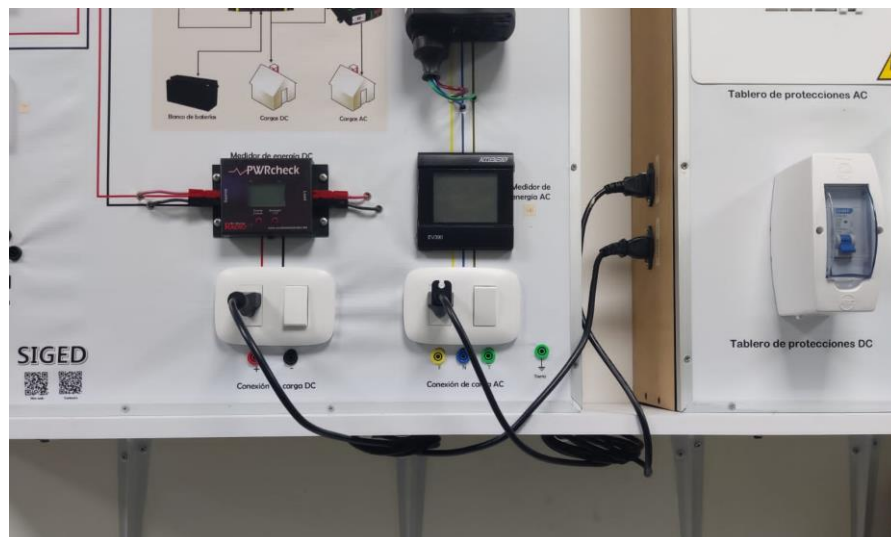
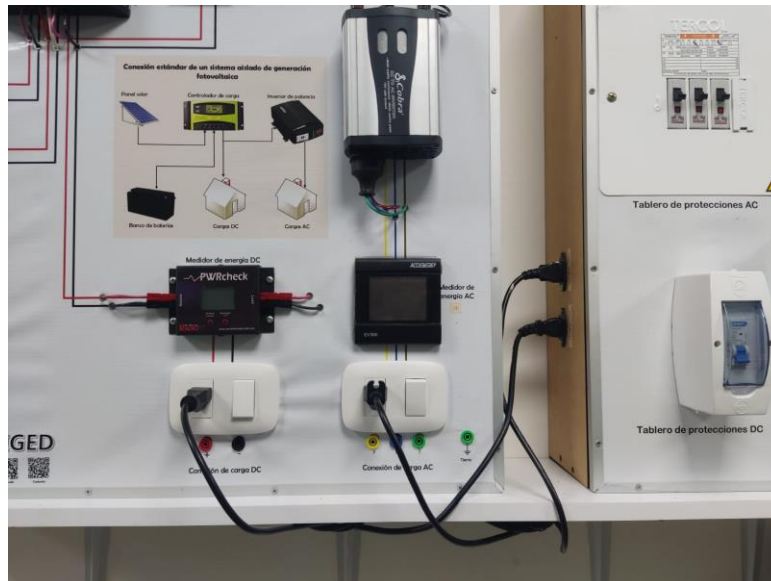
*Instalación de tomacorrientes GFCI en el módulo de carga.*



- Se fijan cables entre conexión módulo gestión de la operación y módulo de cargas como muestra la Figura Ñ9.

**Figura Ñ9.**

*Adecuación de cableado.*



Se instalaron conectores y cables formales para las dos baterías del laboratorio AT205 como muestra la Figura Ñ10.

**Figura Ñ10.**

*Cables de la batería.*



**Apéndice O. Estado de carga de la batería.****Banda de Voltaje de un monobloque de 12V desde completamente descargado hasta completamente cargado.**

Según Isidor Buchmann-Cadex Electronics (2021), permite evidenciar el comportamiento de variación de las baterías representa una función lineal como muestra la Figura O1 describiendo una línea recta en el plano cartesiano en donde se tiene como ordenadas la variable terminal voltage ( $V_{bat}$ ) y como abscisa la variable state of charge (SOC).

Para efectos de modelado de este trabajo se considera una función lineal desde 0 – 100%. Se rige por la expresión matemática:

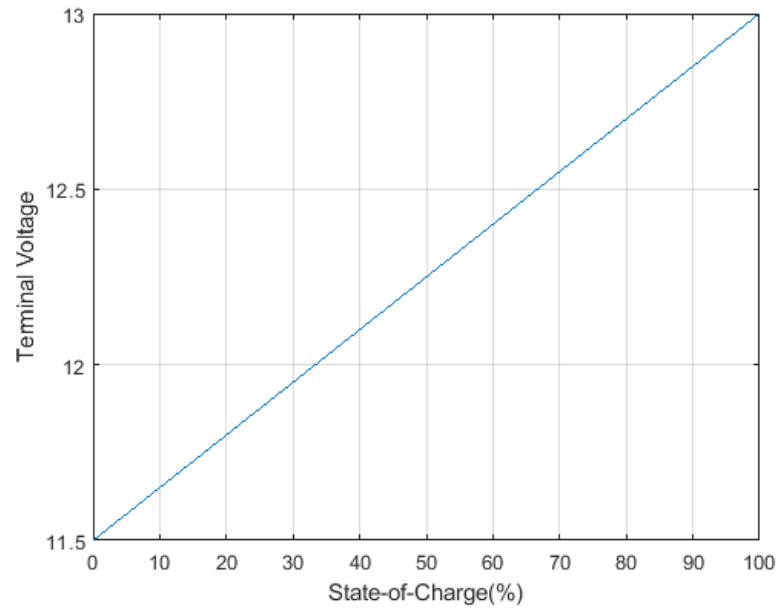
$$V_{bat}(t) = (V_{bb}^{máx} - V_{bb}^{mín}) \cdot SOC(t) + V_{bb}^{mín}$$

$$V_{bat}(t) = (1.5) \cdot SOC(t) + 11.5$$

En la cual se puede evidenciar que la pendiente de la gráfica es de 1.5 y el valor de la ordena al origen es de 11.5

**Figura O1.**

*Estado de carga de la batería.*



**Apéndice P. Ecuaciones para la caracterización de la operación.**

Las siguientes ecuaciones fueron proporcionadas por el profesor Germán Osma Pinto, de la Universidad Industrial de Santander.

$$P_{n1}(t) = \text{Potencia Nodo 1} \quad V_{n1}(t) = \text{Tensión Nodo 1} \quad I_{n1}(t) = \text{Corriente Nodo 1}$$

$$P_{n2}(t) = \text{Potencia Nodo 2} \quad V_{n2}(t) = \text{Tensión Nodo 2} \quad I_{n2}(t) = \text{Corriente Nodo 2}$$

$$P_{n3}(t) = \text{Potencia Nodo 3} \quad V_{n3}(t) = \text{Tensión Nodo 3} \quad P_{\text{pérdida1,2}}(t) = \text{Pérdida Nodo}_{1-2}$$

$$R_{DC1,2} = \text{ResistenciaNodo}_{1-2} \quad R_{DC3,4} = \text{ResistenciaNodo}_{3-4} \quad I_{n3}(t) = \text{Corriente Nodo 3}$$

$$\eta_{RC} = \text{Eficiencia Controlador} \quad P_{\text{pérdida3,4}}(t) = \text{Pérdida Nodo}_{3-4} \quad V_{n4}(t) = \text{Tensión Nodo 4}$$

$$V_{bb}^{\text{máx}} = \text{Tensión máxima bat} \quad V_{bb}^{\text{mín}} = \text{Tensión mínima bat} \quad \text{SOC}(t) = \text{Estado carga batería}$$

$$R_{\text{inv}} = \text{Resistencia del inversor} \quad V_{\text{inv}}^{\text{oc}} = \text{Tensión circuito abierto inversor}$$

$$V_{\text{inv}}^{100\%} = \text{Tensión plena carga inversor} \quad I_{\text{inv}}^{100\%} = \text{Corriente plena carga inversor.}$$

$$P_{\text{inv}}^{\text{nom}} = \text{Potencia nom inversor} \quad R_{\text{carga}}(t) = \text{Resistencia carga} \quad V_{\text{carga}}(t) = \text{Tensión carga}$$

$$P_{\text{carga}}(t) = \text{Potencia carga} \quad R_{\text{inv}} = \text{Resistencia inversor} \quad R_{\text{cond}} = \text{Resistencia conductor}$$

$$I_{n6}(t) = \text{Corriente Nodo 6} \quad P_{n6}(t) = \text{Potencia Nodo 6} \quad V_{n6}(t) = \text{Tensión Nodo 6}$$

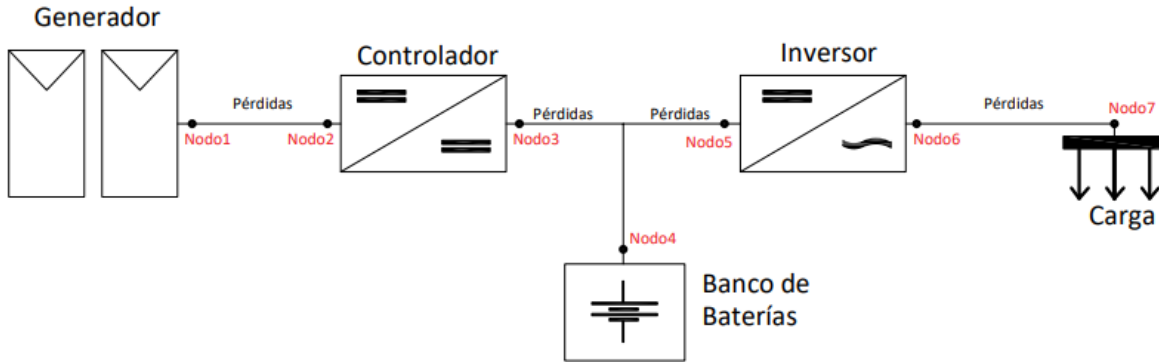
$$P_{n7}(t) = \text{Potencia Nodo 7} \quad V_{n7}(t) = \text{Tensión Nodo 7} \quad I_{n7}(t) = \text{Corriente Nodo 7}$$

$$P_{n5}(t) = \text{Potencia Nodo 5} \quad V_{n5}(t) = \text{Tensión Nodo 5} \quad I_{n5}(t) = \text{Corriente Nodo 5}$$

$$R_{DC4,5} = \text{ResistenciaNodo}_{4-5} \quad P_{\text{pérdida4,5}}(t) = \text{Pérdida Nodo}_{4-5} \quad \eta_{RC} = \text{Eficiencia inv}$$

**Figura P1.**

*Esquema sistema aislado fotovoltaico.*



*Cálculos para Generador FV y Regulador Controlador MPPT:*

$$P_{n1}(t) = V_{n1}(t) \cdot I_{n1}(t)$$

$$I_{n2}(t) = I_{n1}(t)$$

$$P_{pérdidas1,2}(t) = I_{n1}^2(t) \cdot R_{DC1,2}$$

$$P_{n2}(t) = P_{n1}(t) - P_{pérdidas1,2}(t)$$

$$V_{n2}(t) = P_{n2}(t) / I_{n2}(t)$$

*Cálculos para Regulador y banco de baterías:*

$$P_{n3}(t) = P_{n2}(t) \cdot \eta_{RC}$$

$$P_{n3}(t) = V_{n3}(t) \cdot I_{n3}(t)$$

$$I_{n3,n4}(t) = I_{n3}(t)$$

$$P_{pérdidas3,4}(t) = I_{n3}^2(t) \cdot R_{DC3,4}$$

$$P_{n3,n4}(t) = V_{n4}(t) \cdot I_{n3,n4}(t)$$

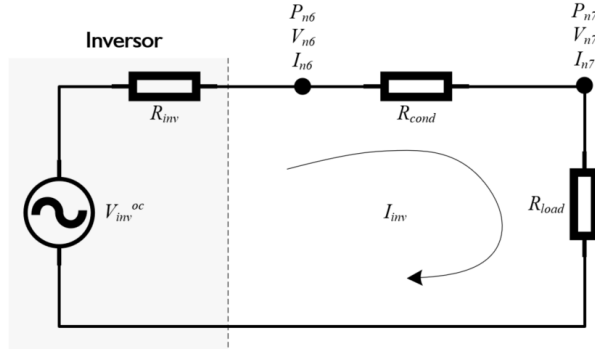
$$V_{n4}(t) = (V_{bb}^{máx} - V_{bb}^{mín}) \cdot SOC(t) + V_{bb}^{mín}$$

$$P_{n3}(t) = P_{n3,n4}(t) + P_{pérdidas3,4}(t)$$

$$P_{n3}(t) = V_{n4}(t) \cdot I_{n3,n4}(t) + I_{n3}^2(t) \cdot R_{DC3,4}$$

$$R_{DC3,4} \cdot I_{n3}^2(t) + V_{n4}(t) \cdot I_{n3}(t) - P_{n3}(t) = 0 \rightarrow aI^2 + bI + c = 0 \rightarrow I \approx P_{n3}/V_{bb}^{nom}$$

Cálculos para Inversor y cargas AC:



$$R_{inv} = \frac{V_{inv}^{oc} - V_{inv}^{100\%}}{I_{inv}^{100\%}} I_{inv}^{100\%} = \frac{P_{inv}^{nom}}{V_{inv}^{100\%}}$$

$$R_{carga}(t) = \frac{V_{carga}^2(t)}{P_{carga}(t)}$$

$$I_{inv}(t) = \frac{V_{inv}^{oc}}{R_{inv} + R_{cond} + R_{carga}(t)}$$

$$P_{inv}(t) = V_{n6}(t) \cdot I_{inv}(t)$$

$$V_{n6}(t) = (R_{cond} + R_{carga}(t)) \cdot I_{inv}(t)$$

$$I_{n6}(t) = I_{n7}(t) = I_{inv}(t)$$

$$P_{n6}(t) = V_{n6}(t) \cdot I_{n6}(t)$$

$$V_{n7}(t) = R_{carga}(t) \cdot I_{inv}(t)$$

$$P_{n7}(t) = V_{n7}(t) \cdot I_{n7}(t)$$

Cálculos para Banco de baterías e inversor:

$$P_{n5}(t) = P_{inv}(t)/\eta_{inv}$$

$$I_{n4,n5}(t) = I_{n5}(t)$$

$$P_{n4,n5}(t) = V_{n4}(t) \cdot I_{n4,n5}(t)$$

$$P_{pérdidas4,5}(t) = I_{n5}^2(t) \cdot R_{DC4,5}$$

$$P_{n4,n5}(t) = P_{pérdidas4,5}(t) + P_{n5}(t)$$

$$V_{n4}(t) \cdot I_{n4,n5}(t) = I_{n5}^2(t) \cdot R_{DC4,5} + P_{n5}(t)$$

$$I_{n5}^2(t) \cdot R_{DC4,5} - V_{n4}(t) \cdot I_{n4,n5}(t) + P_{n5}(t) = 0 \rightarrow aI^2 + bI + c = 0 \rightarrow I \approx P_{n5}/V_{bb}^{nom}$$

$$P_{n4}(t) = P_{n3,n4}(t) - P_{n4,n5}(t)$$

$$I_{n4}(t) = P_{n4}(t)/V_{n4}(t)$$

*Cálculos para SOC:*

$$\Delta E_{bb}(t) = \begin{cases} P_{n4}(t) \cdot \eta_{bat}^{cargando} \cdot \Delta t, & P_{n4}(t) \geq 0 \\ P_{n4}(t) \cdot \Delta t / \eta_{bat}^{descargando} & P_{n4}(t) < 0 \end{cases}$$

$$SOC(t) = SOC(t-1) + \Delta E_{bb}(t-1)/E_{bb}^{nom}$$

$$DOD(t) = 1 - SOC(t)$$

*Cálculos para Caso 1: Generador FV entrega a la batería y a la carga:* Para este caso se cumplen las ecuaciones dadas.

*Cálculos para Caso 2: Generador FV entrega a la carga y la batería está cargada.*

Para este caso se cumplen las ecuaciones dadas; sin embargo, la potencia en la batería y la potencia que entrega el generador fotovoltaico se determinan como se muestra a continuación

$$P_{n4}(t) = P_{n3,n4}(t) - P_{n4,n5}(t) = 0$$

$$P_{n1}(t) = 1.016xP_{n2}$$

La potencia que entrega el panel se determinó con una iteración de acuerdo con las curvas de IV-PV que permitieron realizar este proceso.

*Cálculos para Caso 3: Generador FV y la batería suministran a la carga.*

Para este caso se cumplen las ecuaciones dadas anteriormente, teniendo en cuenta que la potencia de la batería de acuerdo con el flujo que se definió va a ser negativa ya que está entregando a la carga, por lo tanto, se está descargando.

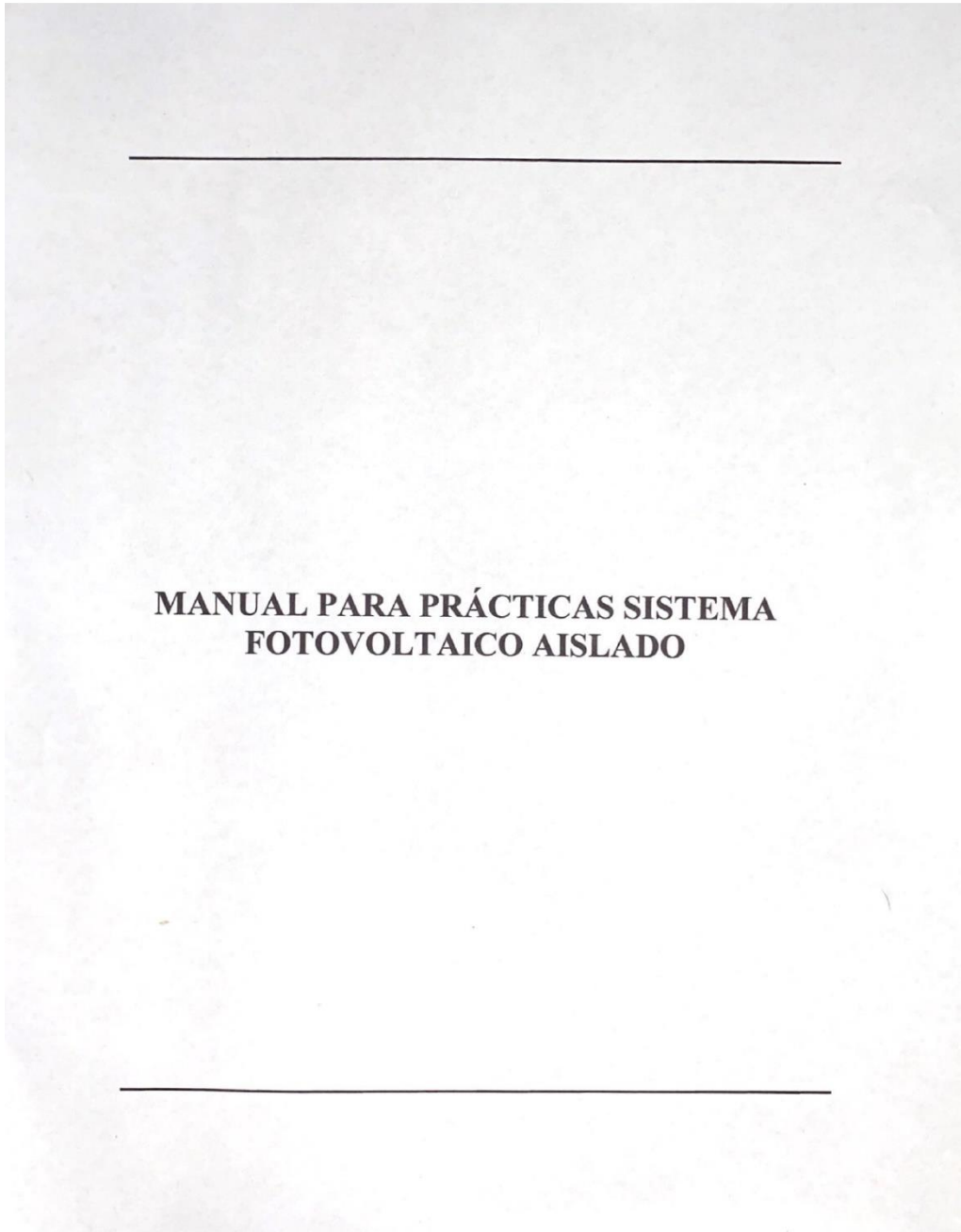
*Cálculos para Caso 4: Generador FV únicamente suministra al banco de baterías.*

Para este caso se cumplen las ecuaciones dadas anteriormente, teniendo en cuenta que la potencia de la carga AC:

$$P_{n7}(t) = P_{n6}(t) = P_{n4-5}(t) = 0$$

**Apéndice Q. Evidencias del desarrollo de las prácticas en el laboratorio de AT205.**

a) Plantillas de prácticas



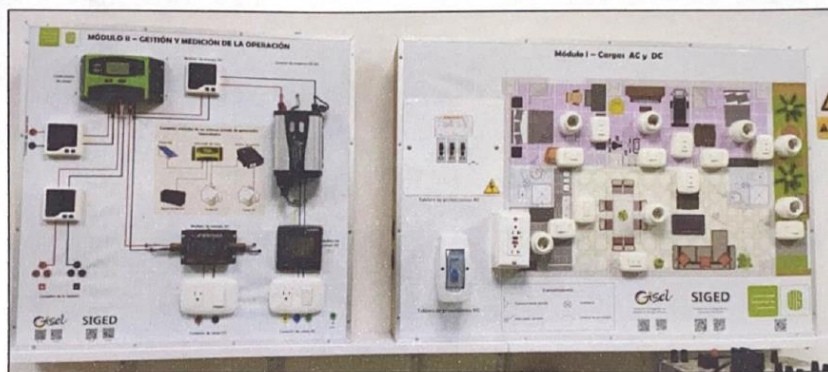
## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	3
MÓDULOS AT205.....	3
REFERENCIAS:.....	4
REQUERIMIENTOS PRÁCTICOS .....	5
ANTES DE REALIZAR ACTIVIADES .....	5
DESPUÉS DE REALIZAR ACTIVIDADES .....	5
PRÁCTICA A .....	6
PRÁCTICA B .....	8
PRÁCTICA C .....	11
PRÁCTICA D .....	15
PRÁCTICA E .....	20
PRÁCTICA F.....	24
PRÁCTICA G.....	¡Error! Marcador no definido.
PRÁCTICA H.....	27
PRÁCTICA I .....	28

## INTRODUCCIÓN

### MÓDULOS AT205

Los módulos que se encuentran en el laboratorio de alta tensión son estructuras compuestas por aparatos eléctricos diseñados con el fin de tener un uso académico con el cual los estudiantes puedan adquirir entrenamiento en sistemas fotovoltaico aislado.



Cada sistema fotovoltaico aislado está compuesto por un módulo I denominado “Gestión y medición de la operación” y un módulo II “Cargas AC y DC”

Módulo de gestión y medición de la operación:

- Panel Fotovoltaico
- Regulador / Controlador
- Inversor
- Batería
- Medidores DC / AC

Módulo Cargas AC y DC

- Conexiones de carga DC / AC
- Tomacorrientes
- Tablero de protecciones AC y DC

## REFERENCIAS:

- **Regulador- controlador 1:** Controlador de carga MPPT serie OLMO, ICM 1024  
<http://intipv.com/es/wp-content/uploads/2019/02/Ficha-T%C3%A9cnica-Olmo.pdf>
- **Regulador- controlador 2:** PWM SOLAR CONTROLLER S2460 12/24V 40A  
[https://www.taienergy.cn/html/Products/Solar\\_Controller/PWM\\_Controller/172.html](https://www.taienergy.cn/html/Products/Solar_Controller/PWM_Controller/172.html)
- **Paneles fotovoltaicos:** Panel fotovoltaico JA Solar JAM72S01 – 380/PR  
<https://www.jasolar.com/uploadfile/2019/0203/20190203095205731.pdf>
- **Baterías:** Batería Cellyte en gel SEC 12V TSG 250  
<http://secbattery.com/wp-content/uploads/2015/04/CELLYTE-6-12-TSG-SERIES-Brochure-1.pdf>
- **Inversor 1:** Inversor Off Grid Epever Onda Pura 12V 1000W IP1000-11 - EPEVER – NexoSolar  
<https://nexosolar.co/wp-content/uploads/2021/03/Ficha-Tecnica-Inversor-Off-Grid-Epever-Onda-Pura.pdf>
- **Inversor 2:** Inversor onda modificada cobra cpi 480W  
<https://www.roadtrucker.com/images/manuals/cobra-inverter-cpi480-manual.pdf>
- **Medidores:** Medidor SOCOMEC DIRIS A40  
[https://www.socomec.com/files/live/sites/systemsite/files/SCP/6\\_gestion\\_energie/diris/diris\\_a40/545802a\\_nmo\\_diris\\_A40\\_ES.pdf](https://www.socomec.com/files/live/sites/systemsite/files/SCP/6_gestion_energie/diris/diris_a40/545802a_nmo_diris_A40_ES.pdf)
- **Medidores:** Medidor AC ACCUENERGY EV390  
<https://www.accuenergy.com/wp-content/uploads/EV300-Power-and-Energy-Panel-Meters-Datasheet.pdf>
- **Medidores:** Medidor DC AcuDC 240  
<https://www.accuenergy.com/wp-content/uploads/AcuDC-240-DC-Power-and-Energy-Meter-Datasheet.pdf>
- **Medidores:** Medidor DC PWRcheck  
<https://www.dxengineering.com/parts/wmt-58430-1286>

## REQUERIMIENTOS PRÁCTICOS

### ANTES DE REALIZAR ACTIVIDADES

1. Conectar las baterías con los bornes de los módulos. ✓
2. Conectar cables de módulos de cargas a los tomacorrientes correspondientes de AC o DC del módulo de gestión y operación. ✓
3. Encender inversores de cada módulo. ✓
4. Subir protecciones AC y DC del tablero de cargas. ✓
5. Conectar cargas que se desee. ✓
6. Verificar que los interruptores de carga AC y DC estén encendidos. ✓
7. Verificar que los interruptores de las cargas estén encendidos. ✓

### DESPUÉS DE REALIZAR ACTIVIDADES

1. Bajar protecciones AC y DC del tablero de cargas.
2. Desconectar las cargas en los módulos de cargas.
3. Desconectar cables de tomacorrientes AC y DC del módulo de gestión y medición de la operación.
4. Apagar los inversores.
5. Desconectar la batería de la conexión del módulo.
6. Entregar en perfecto estado los equipos prestados y elementos para el desarrollo de la práctica.

## PRÁCTICA A

### RECONOCIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LOS MÓDULOS DE ENTRENAMIENTO

**Objetivo:** Identificar de manera efectiva y precisa los diferentes equipos y elementos que conforman un sistema aislado, con el fin de comprender su funcionamiento y potenciales limitaciones

**Conocimientos previos:**

- Sistema Fotovoltaico Aislado
- Sistema Fotovoltaico conectado a la red
- Controladores PWM
- Controladores MPPT
- SOC en una batería
- Fichas técnicas de los equipos

#### ACTIVIDADES

1. Realizar un inventario de los equipos que componen los módulos de gestión y medición de la operación.

**Inventario sistema fotovoltaico 1**

Equipo	Cantidad
Inversor de Onix para Enerflex	1
Batería en Gel Cellite	1
Controlador Olmo MPPT	1
Medidores AruDC	3
Medidor PwPcheck	1
Medidor AC soromec	1

**Tabla I. Inventario sistema fotovoltaico 1.**

**Inventario sistema fotovoltaico 2**

Equipo	Cantidad
Inversor de onix Modf Cobra	1
Batería en gel cellite	1
Controlador Solar Controller PWM	1
Medidores AruDC	3
Medidor PwPcheck	1
Medidor AC Arcuenergy	1

**Tabla II. Inventario sistema fotovoltaico 2.**

2. Buscar la ficha técnica de cada equipo y extraer parámetros claves tales como:

2.1. Para el panel FV:

- a. Tensión de circuito abierto (Voc).
- b. Corriente de cortocircuito (Isc).
- c. Tensión de máxima potencia (Vmp).
- d. Corriente de máxima potencia (Imp).
- e. Eficiencia.
- f. Potencia Nominal (Pnom).
- g. ¿Cuál es la potencia máxima que puede generar el panel solar?

Característica	Sistema fotovoltaico 1	Sistema fotovoltaico 2
Voc	48,71	48,71
Isc	10,05	10,05
Vmp	40,03	40,03
Imp	9,50	9,50
Eficiencia	19,6	19,6
Pnom	380	380
Pmax	380	380

Tabla III. Parámetros panel fotovoltaico.

2.2. Para la batería:

- a. Tensión nominal.
- b. Capacidad nominal.
- c. SOC máximo y mínimo.

Característica	Sistema fotovoltaico 1	Sistema fotovoltaico 2
Tensión nominal	12V	12V
Capacidad nominal	202 Ah	202 Ah
SOC máximo	↓	↓
SOC mínimo	0,2	0,2

Tabla IV. Parámetros batería.

2.3. Para el regulador controlador:

- a. Tensión del sistema.
- b. Potencia nominal.
- c. Eficiencia nominal.
- d. Tipo (MPPT ó PWM).

Característica	Sistema fotovoltaico 1	Sistema fotovoltaico 2
Tensión del sistema	12/24	12/24
Potencia nominal	260W	
Eficiencia nominal	99%	
Tipo (MPPT ó PWM).	MPPT	PWM

Tabla V. Parámetros regulador controlador.

- 2.4. Para el inversor:
- Tensión nominal DC y AC.
  - Eficiencia nominal.
  - Corriente máxima.
  - Potencia nominal.

Característica	Sistema fotovoltaico 1	Sistema fotovoltaico 2
Tensión nominal DC y AC.	12V - 110Vac / 120Vac	12V
Eficiencia nominal	92,5%	83%
Corriente nominal	10,4	10,4
Potencia nominal	1000 W	400

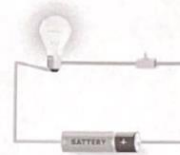
Entrada  
10,4 - 14,4

Salida  
109 - 120

Tabla V. Parámetros inversor.

**EJEMPLO**

En una instalación eléctrica en la cual la tensión de trabajo es de 12V, se está utilizando una batería que tiene una capacidad de 300 Ah. Calcular el tiempo que tarda en descargarse la batería cuando se conecta una carga (bombillo) la cual consume 60W.



Se debe calcular la intensidad que va a circular por la instalación eléctrica cuando esté conectada la carga.

$$P = V * I \rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{60}{12} = 5 A$$

Figura I

La corriente de descarga es de 5 A. (se asume que la batería inicia con el 100% y se descarga completamente).

$$t = \frac{C}{I} = \frac{202}{5} = 40,4 \text{ horas}$$

**EJERCICIO**

Calcular el tiempo de descarga de una batería con capacidad de 202 Ah y tensión de trabajo de 12V según los consumos dados en la siguiente tabla.

Potencia (W)	Duración (h)
200W	12,124
150W	10,16
100W	20,24
50W	40,55

Tabla VI. Tiempo de descarga.

$I = \frac{200}{12} = 16,66 A$

$t = \frac{202}{16,66} = 12,124 h$

## PRÁCTICA B

### VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS (TENSIÓN Y CORRIENTE)

**Objetivo:** Validar el estado de los equipos a través de parámetros eléctricos.

**Conocimientos previos:**

- Uso del medidor de tensión
- Uso del medidor de corriente

**Materiales Externos:**

- Multímetro
- Amperímetro

#### ACTIVIDADES

1. Conectar y encender todos los equipos. ✓
2. Con ayuda de un multímetro y pinza amperimétrica tomar medidas de corriente y tensión encada equipo.
3. En el controlador se debe visualizar la tensión a la que se encuentran los paneles y la batería.
4. Navegar en las pantallas de los medidores de AC y DC, verificando y configurando los parámetros.
5. ¿Cuál podría ser la causa si los valores no coinciden?
6. Realizar conclusiones de la práctica.

Solución

5) - La calidad de los medidores y los multímetros puede que uno de los dispositivos sea más preciso que el otro  
- Calidad de las conexiones eléctricas: las conexiones eléctricas pueden ser la causa de la caída de tensión, lo que afecta los valores medidos. Las conexiones deben estar en buen estado y apretadas para evitar pérdidas de energía

	Medidor I		Multímetro/Pinza amperimétrica I	
	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente
Batería	12,09V	3,37A	12,16V	3,25A
Inversor	120,6V	0A	120,99V	0,06A
Controlador	12,16V	2,50A	12,16V	2,87A
Panel	11,30V	0A	11,42V	0,09A

Tabla I Conjunto de módulos I.

	Medidor II		Multímetro/Pinza amperimétrica II	
	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente
Batería	12,46V	2,96A	12,48V	2,85A
Inversor	114,16V	0A	115,48V	0A
Controlador	12,4V	2,69A	12,32V	2,38A
Panel	11,94V	0A	11,9V	0,09A

Tabla I Conjunto de módulos II.

los valores son muy cercanos, no son iguales debido al error de cada equipo el error es aproximadamente de 2%, los aparatos estan en buen estado y conectados correctamente.

## PRÁCTICA C

### CURVA DE DEMANDA

**Objetivo:** Realizar la curva de demanda de una casa tipo completando las tablas de los valores que caracterizan la carga de dicha casa.

**Conocimientos previos:**

- Curva de demanda de potencia eléctrica
- Demanda máxima
- Capacidad instalada

**ACTIVIDADES**

1. Completar el cuadro de cargas de una vivienda tipo.

EQUIPO	POTENCIA (W)	CANTIDAD	POTENCIA INSTALADA (W)	HORAS DIARIAS DE FUNCIONAMIENTO	ENERGIA DIARIA (Wh/DIA)
Lámpara LED	7	12	84	6	504
Licuadaora	75	1	75	0,2	7,5
Nevera	61	1	61	12	732
Televisor	60	2	120	5	600
Radio/Celular	12	3	36	3	108
<b>TOTAL</b>					<b>1,951K</b>

Tabla I. Cuadro de cargas.

2. Completar el cuadro de caracterización de carga.

EQUIPO	P (W)	FP	S (VA)	Q (VAR)
Bombillas LED 7W	28	0,98 adelanto	28,57	-5,69
Licuadaora	75	0,9 atraso	83,33	36,324
Nevera	61	0,9 atraso	67,78	29,54
Televisor	60	0,98 adelanto	61,22	-12,184
Radio y celular	12	0,98 adelanto	12,245	-2,44

Tabla II. Caracterización de la carga.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$FP = \frac{P}{S}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2}$$

3. Completar las siguientes tablas.

Hora	Equipo	Potencia (W)	Potencia Total (W)	Hora	Equipo	Potencia (W)	Potencia Total (W)
1	Nevera	61	61	13	Nevera	61	196
					Televisor	60	
					Licudora	75	
2	Nevera	61	61	14	Nevera	61	181
					Televisor	120	
3	Nevera	61	61	15	Nevera	61	61
4	Nevera	61	61	16	Nevera	61	97
					Radio	36	
5	Nevera	61	145	17	Nevera	61	97
	lampara	84			Radio	36	
6	Nevera	61	265	18	Nevera	61	265
	lampara	84			Televisor	120	
	Televisor	120			lampara	84	
7	Nevera	61	256	19	Nevera	61	220
	Televisor	120			Licudora	75	
	Licudora	75			lampara	84	
8	Nevera	61	136	20	Nevera	61	145
	Radio	75			lampara	84	
9	Nevera	61	97	21	Nevera	61	145
	Radio	36			lampara	84	
10	Nevera	61	61	22	Nevera	61	145
					lampara	84	
11	Nevera	61	61	23	Nevera	61	61
12	Nevera	61	217	24	Nevera	61	61
	Televisor	120					
	radio	36					

Tabla III. Perfil diario.

Hora	Potencia (W)	Hora	Potencia (W)
1	61	13	106
2	61	14	181
3	61	15	61
4	61	16	97
5	145	17	97
6	265	18	265
7	256	19	280
8	136	20	145
9	97	21	145
10	61	22	145
11	61	23	61
12	219	24	61

Tabla IV. Perfil diario por hora.

- Realizar la curva de demanda.



Figura I. Curva de demanda.

- ¿Cuántos paneles JA Solar JAM72S01 (Práctica 1) se necesitan para abastecer esta carga?
- ¿La cantidad de paneles JASolar presente en el laboratorio AT205 puede abastecer

esta carga?

7. Identificar como impactan los electrodomésticos en la curva de demanda y proponer escenarios de ahorro.

Solución

5) Demanda diaria =  $1.953 \text{ kWh/día}$

HSP = 5

$$N^{\circ} \text{ panel} = \frac{E \cdot 10^3}{\text{HSP} \cdot W_{\text{panel}}} = 1.34$$

Se necesitan 2 paneles JA Solar

6) En el laboratorio 2 panel solar JA abastece un SSFV por lo tanto no alcanzará

7) Se puede ver que existen 3 h picos en el consumo son 6am, 4pm y 7pm. que es donde se tiene mayor consumo por

Metodos de ahorro

- Usar electrodomésticos que tengan una calificación energética alta
- Ajustar la temperatura de la nevera acorde a las recomendaciones del fabricante
- Realizar mantenimientos regulares a electrodomésticos para mantener su eficiencia energética
- Apagar los electrodomésticos cuando no los estés utilizando

## PRÁCTICA D

### CARGA Y DESCARGA DE LA BATERÍA

**Objetivo:** Determinar las curvas de carga y descarga de la batería de acuerdo con el escenario establecido.

**Conocimientos previos:**

- Uso del medidor de tensión
- Uso del medidor de corriente

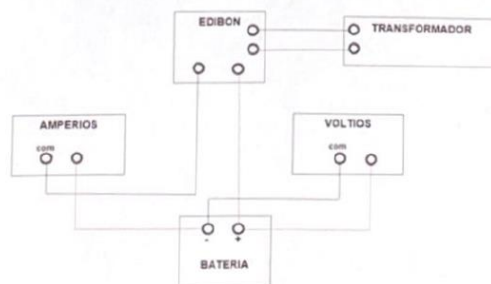
**Materiales Externos:**

- Multímetro - Amperímetro - Edibon
- Pinzas - Transformador

#### ACTIVIDADES

##### - CARGA DE LA BATERÍA

1. Realizar el montaje que se muestra en el esquema a continuación.



Esquema 2. Montaje de carga de la batería.

2. Iniciar con el suministro de corriente a la batería que proporciona el edibon.
3. Tomar medidas periódicas de 5 minutos de valores de tensión y corriente.



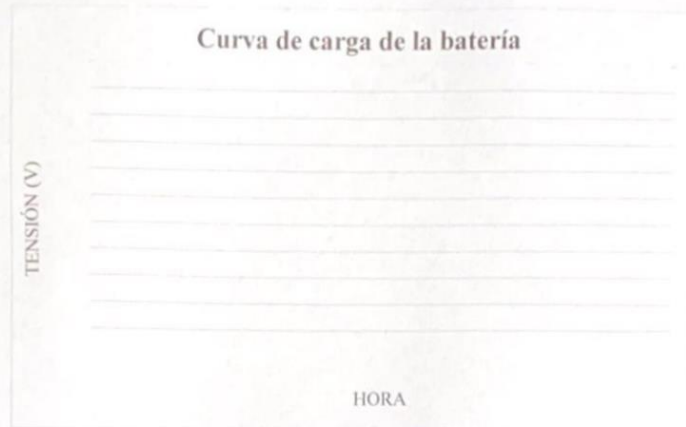
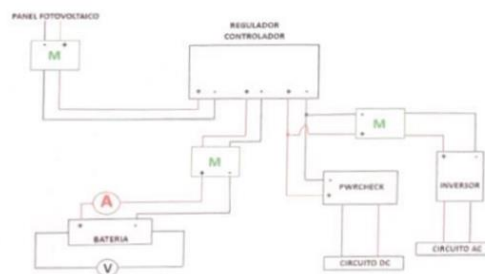


Figura II. Curva de carga de la batería V vs T.

#### - DESCARGA DE LA BATERÍA

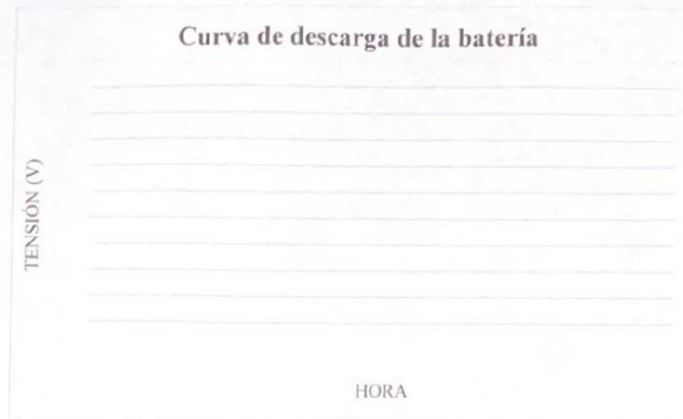
1. Poner en funcionamiento los módulos al igual que en las practicas anteriores.
2. Conectar una carga constante a la batería para que esta suministre potencia.
3. Realizar el montaje que se muestra en el siguiente esquema.



Esquema 2. Montaje de descarga de la batería.

4. Tomar medidas periódicas de 5 minutos de valores de tensión y corriente.





**Figura IV. Curva de descarga de la batería V vs T.**

**PREGUNTAS:**

- ¿Cuáles son las etapas de carga de una batería? Dibújelas en la curva de carga
- Comparar las curvas obtenidas con las que proporciona el fabricante
- ¿Qué significa el indicador State of Charge (SOC) en la batería?
- Analizar resultados de las curvas y realizar conclusiones de la práctica.

## PRÁCTICA E

---

### DETERMINAR EFICIENCIA DEL INVERSOR EN EL LABROTARIO AT205

**Objetivo:** Determinar la máxima potencia con la que puede trabajar el inversor y a su vez calcular su eficiencia.

**Conocimientos previos:**

- ¿Cómo se define la eficiencia de un inversor?

#### ACTIVIDADES

1. Conectar las baterías con los bornes de los módulos.
2. Conectar cables de módulos de cargas a los tomacorrientes correspondientes de AC o DC del módulo de gestión y operación.
3. Encender inversores de cada módulo.
4. Subir protecciones AC y DC del tablero de cargas.
5. Conectar las cargas con las que se desee trabajar.

6. Variar la carga AC y simultáneamente tomar valores de tensión y corriente en la entrada y salida del inversor. Aumentar la carga hasta que el inversor se reinicie (En este punto ya no tiene la capacidad de alimentar una carga mayor).

STV ↓

Inversor Módulo I				
# Cargas [W]	VDC [V]	IDC [A]	VAC [V]	IAC [A]
20	12,03	2,85	121,5	0,2
90	11,42	10,2	118,2	0,77
130	11,32	12	119,9	1,11
150	11,05	14	117,7	1,29
Inversor Módulo II				
# Cargas [W]	VDC [V]	IDC [A]	VAC [V]	IAC [A]
8	12,5	1,07	113,9	0,09
20	12,19	2,45	114	0,21
90	11,62	8,61	114,9	0,81
140	11,56	12,89	113,5	1,22
170	11,04	17,4	108,8	1,65

Tabla I. Tensión y corriente DC y AC de cada inversor.

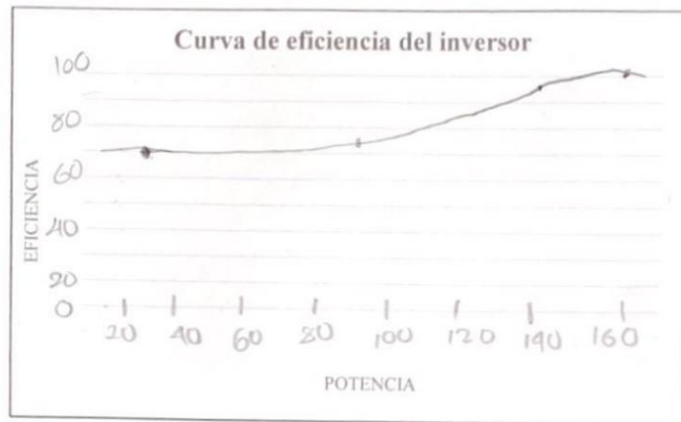
7. Determinar la potencia de entrada y salida en el inversor, seguidamente hallar el valor de la eficiencia para cada potencia.

STV ↓

Inversor Módulo I			
# Cargas [W]	PDC [W]	PAC [W]	Eficiencia [%]
20	39,28	29,3	70,87
90	122,11	91,01	74,48
130	131,59	133	100,14
150	154,7	171,83	111,00
Inversor Módulo II			
# Cargas [W]	PDC [W]	PAC [W]	Eficiencia [%]
8	13,107	9,11	69,51
20	30	23,94	79,8
90	100,048	93,06	93,02
140	141	140,74	99,45
170	102	170,57	167,22

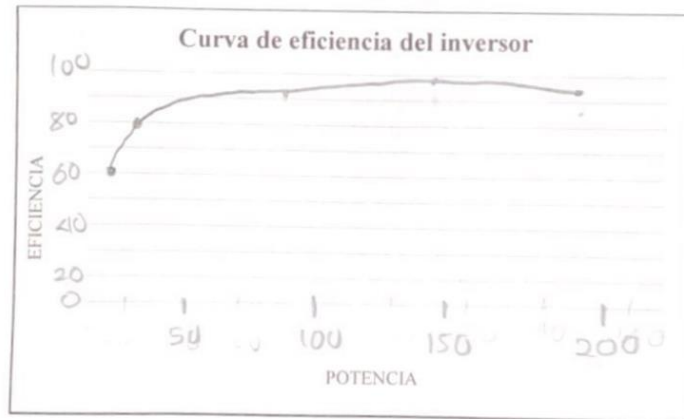
Tabla II. Potencia DC y AC del inversor variando su carga.

8. Realizar la curva de potencia de la carga vs la eficiencia del inversor.



Gráfica I. Eficiencia vs Potencia salida módulo I.

S-FV



Gráfica II. Eficiencia vs Potencia salida módulo II.

S-FV

**¿Qué factores afectan la eficiencia de un inversor?**

## 9. Realizar conclusiones de la práctica

¿Qué factores afectan la eficiencia de un Inversor?

Cuando la potencia de corriente directa en la entrada del Inversor es alta, la eficiencia de este es mayor como se observa en la tabla 2.

Conclusiones

1. Para el Inversor se realizaron dos pruebas: La primera consistió en aumentar la potencia y determinar la eficiencia, en la segunda se determinó cual fue la potencia máxima que pudo atender el Inversor.
2. Apartir de las potencias de entrada y salida del Inversor módulo I, se construyó la curva donde se observa que apartir de 120W el Inversor tiene una eficiencia mayor al 90%
3. A medida que se fue aumentando la carga al Inversor del modulo II, se trabajaba de manera limitada, al punto que llegaba ~~120W~~ a 232W de carga en AC, el Inversor se desconecta y detiene su funcionamiento.

## PRÁCTICA F

---

### APLICATIVO: SIMULACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO

**Objetivo:** Obtener a partir de simulaciones parámetros eléctricos ( $V_{rms}$ ,  $I_{rms}$ ,  $P$ ,  $S$  y eficiencia) para diversas horas del día.

**Conocimientos previos:**

- Sistema fotovoltaico aislado
- Elementos del sistema fotovoltaico aislado

#### ACTIVIDADES

1. Acorde a la necesidad de estudio, tomar medidas con frecuencia de cada hora, parámetros como: irradiancia, temperatura ambiente, carga residencial, factor de potencia. Tomar como mínimo 1 hora y como máximo 720 horas (30 días).
2. Una vez tomados los datos, almacenarlos en la plantilla de Excel adjunta en la pestaña identificada con un icono de una casa. La plantilla fue diseñada para que únicamente copie y pegue el vector en la casilla indicada de la pestaña "caso general", la Figura 1 presenta el esquema general.
3. Ingresar valores nominales del controlador, inversor y batería:
  - a. Eficiencia y potencia nominal del controlador: Por ejemplo: 0.98 -500W
  - b. Eficiencia y potencia nominal del inversor: Por ejemplo: 0.93 -1000W
  - c. Estado de carga de la batería: Ingresar el SOC mínimo y el SOC inicial.
4. Ingresar las distancias aproximadas entre: Generador fotovoltaico -controlador (L12), batería- controlador (L34), inversor-controlador (L45) y, por último, inversor-carga (L67).

5. Elegir el día y la hora que desea estudiar.
6. Obtener a partir de la simulación parámetros eléctricos ( $V_{rms}$ ,  $I_{rms}$ ,  $P$ ,  $S$  y eficiencia) y analizar los posibles escenarios que puedan presentarse al variar la carga, irradiancia y temperatura.

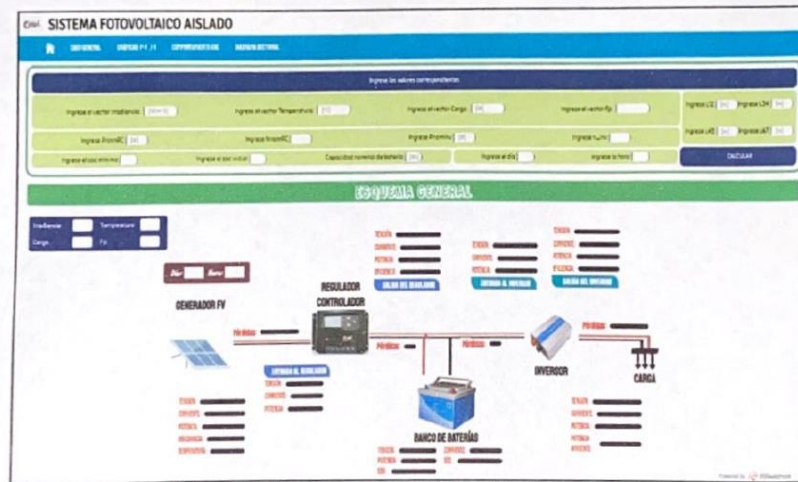


Figura I. Esquema general del aplicativo web.

Escenario	Irradiancia [W/m <sup>2</sup> ]	Temperatura [°C]	Carga [W]	Potencia Panel Fv [W]
1	654.7	31	12	230,3
2	782	31	12	15,28
3	0.1	24	40	0,0084
4	1.2	22	0.3	0,1912

Tabla I. Escenarios para simular en el aplicativo web

7. Para cada escenario responda que corresponda describa:
- ¿La batería en qué casos entrega o consume potencia?
  - Si la potencia de la carga es mayor a la que genera el panel y la batería se encuentra cargada ¿qué sucede?
  - Si la potencia de la carga es menor a la que genera el panel y la batería se encuentra cargada ¿qué sucede?
  - Si la potencia de la carga es menor a la que genera el panel y la batería se encuentra descargada ¿qué sucede?
  - Si la potencia de la carga es mayor a la que genera el panel y la batería se encuentra descargada ¿qué sucede?
  - ¿El panel fotovoltaico siempre puede suplir la carga demandada?

a) Escenario 1

El escenario 1 se desarrolla en una franja horaria entre las 11-12am donde la irradiancia es de  $654,7 \text{ W/m}^2$  y la carga nominal es de  $12 \text{ W}$ . El estado de carga inicial de la batería es del 80% por lo que el generador fotovoltaico suministra potencia a la batería y a la carga. Presentandose los siguientes flujos de potencia.

- El panel genera  $220,3 \text{ W}$  por lo que trabaja en un punto de máxima potencia para las condiciones dadas.
- La potencia en la entrada del controlador es de  $219,01 \text{ W}$  que equivale a la potencia que genera el panel menos las pérdidas de los conductores.
- La batería al cargarse consume  $191,11 \text{ W}$  y su estado actual es del 87%.
- Al Inversor llegan  $14,50 \text{ W}$ , encontrandose en los terminales de la carga  $126,88 \text{ V}$  y  $0,11 \text{ A}$  lo que danan  $13,41 \text{ W}$ .

b) Escenario 2

Se desarrolla en una franja entre las 10-11am donde la irradiancia es de  $782 \text{ W/m}^2$  y la carga nominal es de  $12 \text{ W}$ . La potencia demandada por la carga es menor a la potencia generada por el panel y la batería se

encuentra cargada por lo que se debe limitar la potencia generada por el panel para evitar presentar excedentes de energía. Presentando los sgtes flujos de potencia: los terminales de la carga tienen  $13,4158 \text{ W}$ , el Inversor  $13,41 \text{ W}$ , la batería  $0 \text{ W}$  debido a su estado de carga es  $100\%$  manteniéndose. En la entrada del Controlador se requieren  $14,94 \text{ W}$  y el panel esta entregando sin excedentes  $15,18 \text{ W}$ , sin trabajar en su punto máximo de potencia dadas las condiciones iniciales

### c) Escenario 3.

Se desarrolla en una franja entre las 6-7pm donde la irradiancia es de  $0,1 \text{ W/m}^2$  y la carga nominal es de  $40 \text{ W}$ . La potencia que demanda la carga supera la potencia generada por el panel y el estado inicial de la batería es del  $70\%$  por lo que puede entregar la potencia que hace falta para alimentar la carga.

- El panel genera  $0,0081 \text{ W}$  trabajando en un punto de máxima potencia para las condiciones dadas.
- La potencia de entrada del Controlador es de  $0,0081$ , con una eficiencia de  $0,001$ .
- La batería se descarga entregando  $48,84 \text{ W}$  y con un estado de carga actual de  $67,7\%$ , en donde disminuye de manera constante ~~de~~

### d) Escenario 4.

Se desarrolla entre 5-6am donde la irradiancia es de  $1,2 \text{ W/m}^2$  y la carga nominal es de  $0,3 \text{ W}$ . El generador suministra solamente a la batería ya que el estado de carga inicial es del  $19\%$  por lo que no se puede entregar la potencia que hace falta para alimentar la carga y el panel alimenta únicamente la batería.

## PRÁCTICA G

### APLICATIVO: ESTADO DE CARGA BATERÍA MENSUAL

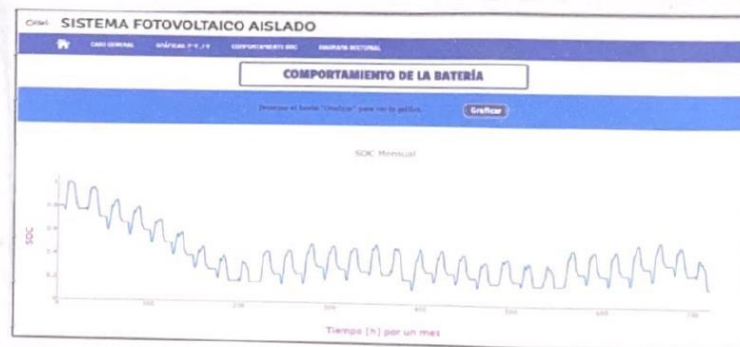
**Objetivo:** Determinar si el banco de baterías fue dimensionado de manera correcta para el sistema fotovoltaico aislado.

#### Conocimientos previos:

- Estado de carga de una batería.

#### ACTIVIDADES

1. Ingresar vectores de 30 días para tener un amplio rango del comportamiento.
2. Simular la operación con los casos seleccionados.
3. Desplazarse a la pestaña del aplicativo web "Comportamiento SOC".
4. Cual es el estado de carga máximo y mínimo que alcanza la batería?
5. El banco de batería fue dimensionado correctamente?



### Conclusiones

En primer lugar es importante asegurarse de que la gráfica del SOC este dentro del rango adecuado para las baterías que se estén utilizando. Si el SOC esta fuera del rango es posible que las baterías estén sobrecargadas o descargadas, lo que podría reducir su vida útil.

La gráfica del SOC puede ser útil para determinar si las baterías están siendo cargadas y descargadas correctamente, pero para determinar si las baterías han sido dimensionadas adecuadamente, es necesario analizar más información, como la energía generada y consumida por el sistema.

- Sin embargo con la gráfica del SOC se puede ver si la batería se descarga completamente en un corto periodo de tiempo, esto puede indicar que la batería no tiene suficiente capacidad para el sistema, o que los equipos en el sistema están consumiendo más energía de lo que la batería puede suministrar.
- La gráfica del SOC también puede mostrar cual es el nivel máximo y mínimo de carga que alcanza la batería. Si el nivel de carga esta muy cerca del 100% o el nivel de carga mínimo esta muy cerca del 0% esto puede indicar que la batería no esta siendo dimensionada correctamente para el sistema.

b) Registro fotográfico











**Apéndice R. Manual de prácticas.**

---

**MANUAL PARA PRÁCTICAS SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO**

---

## CONTENIDO

Introducción .....	195
Módulos AT205 .....	195
Referencias.....	196
Requerimientos Prácticos.....	197
Práctica A.....	199
Práctica B.....	204
Práctica C.....	206
Práctica D.....	211
Práctica E.....	217
Práctica F.....	221
Práctica G.....	224

## Introducción

### Módulos AT205

Los módulos que se encuentran en el laboratorio de alta tensión son estructuras compuestas por aparatos eléctricos diseñados con el fin de tener un uso académico con el cual los estudiantes puedan adquirir entrenamiento en sistemas fotovoltaico aislado.



Cada sistema fotovoltaico aislado está compuesto por un módulo I denominado “Gestión y medición de la operación” y un módulo II “Cargas AC y DC”

Módulo de gestión y medición de la operación:

- Panel Fotovoltaico
- Regulador / Controlador
- Inversor
- Batería
- Medidores DC / AC

## Módulo Cargas AC y DC

- Conexiones de carga DC / AC
- Tomacorrientes
- Tablero de protecciones AC y DC

### Referencias

**Regulador- controlador 1:** Controlador de carga MPPT serie OLMO, ICM 1024

<http://intipv.com/es/wp-content/uploads/2019/02/Ficha-T%C3%A9cnica-Olmo.pdf>

**Regulador- controlador 2:** PWM SOLAR CONTROLLER S2460 12/24V 40<sup>a</sup>

[https://www.taienergy.cn/html/Products/Solar\\_Controller/PWM\\_Controller/172.html](https://www.taienergy.cn/html/Products/Solar_Controller/PWM_Controller/172.html)

**Paneles fotovoltaicos:** Panel fotovoltaico JA Solar JAM72S01 – 380/PR

<https://www.jasolar.com/uploadfile/2019/0203/20190203095205731.pdf>

**Baterías:** Batería Cellyte en gel SEC 12V TSG 250 [http://secbattery.com/wp-](http://secbattery.com/wp-content/uploads/2015/04/CELLYTE-6-12-TSG-SERIES-Brochure-1.pdf)

[content/uploads/2015/04/CELLYTE-6-12-TSG-SERIES-Brochure-1.pdf](http://secbattery.com/wp-content/uploads/2015/04/CELLYTE-6-12-TSG-SERIES-Brochure-1.pdf)

**Inversor 1:** Inversor Off Grid Epever Onda Pura 12V 1000W IP1000-11 - EPEVER – NexoSolar

[https://nexosolar.co/wp-content/uploads/2021/03/Ficha-Tecnica-Inversor-Off-Grid-](https://nexosolar.co/wp-content/uploads/2021/03/Ficha-Tecnica-Inversor-Off-Grid-Epever-Onda-Pura.pdf)

[Epever-Onda-Pura.pdf](https://nexosolar.co/wp-content/uploads/2021/03/Ficha-Tecnica-Inversor-Off-Grid-Epever-Onda-Pura.pdf)

**Inversor 2:** Inversor onda modificada cobra cpi 480W

<https://www.roadtrucker.com/images/manals/cobra-inverter-cpi480-manual.pdf>

**Medidores:** Medidor SOCOMEC DIRIS A40

[https://www.socomec.com/files/live/sites/systemsite/files/SCP/6\\_gestion\\_energie/diris/diris\\_a40/545802a\\_nmo\\_diris\\_A40\\_ES.pdf](https://www.socomec.com/files/live/sites/systemsite/files/SCP/6_gestion_energie/diris/diris_a40/545802a_nmo_diris_A40_ES.pdf)

**Medidores:** Medidor AC ACCUENERGY EV390 <https://www.accuenergy.com/wp-content/uploads/EV300-Power-and-Energy-Panel-Meters-Datasheet.pdf>

**Medidores:** Medidor DC AcuDC 240 <https://www.accuenergy.com/wp-content/uploads/AcuDC-240-DC-Power-and-Energy-Meter-Datasheet.pdf>

**Medidores:** Medidor DC PWRcheck <https://www.dxengineering.com/parts/wmt-58430-1286>

## **Requerimientos Prácticos**

### **Antes de realizar actividades**

1. Conectar las baterías con los bornes de los módulos.
2. Conectar cables de módulos de cargas a los tomacorrientes correspondientes de AC o DC del módulo de gestión y operación.
3. Encender inversores de cada módulo.
4. Subir protecciones AC y DC del tablero de cargas.
5. Conectar cargas que se desee.
6. Verificar que los interruptores de carga AC y DC estén encendidos.
7. Verificar que los interruptores de las cargas estén encendidos.

### **Después de realizar actividades**

1. Bajar protecciones AC y DC del tablero de cargas.
2. Desconectar las cargas en los módulos de cargas.

3. Desconectar cables de tomacorrientes AC y DC del módulo de gestión y medición de la operación.
4. Apagar los inversores.
5. Desconectar la batería de la conexión del módulo.
6. Entregar en perfecto estado los equipos prestados y elementos para el desarrollo de la práctica.



## Inventario sistema fotovoltaico 2

**Tabla II.**

*Inventario sistema fotovoltaico 2.*

Equipo	Cantidad

2. Buscar la ficha técnica de cada equipo y extraer parámetros claves tales como:

2.1. Para el panel FV:

- a) Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ).
- b) Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ).
- c) Tensión de máxima potencia ( $V_{mp}$ ).
- d) Corriente de máxima potencia ( $I_{mp}$ ).
- e) Eficiencia.
- f) Potencia Nominal ( $P_{nom}$ ).
- g) ¿Cuál es la potencia máxima que puede generar el panel solar?

**Tabla III.**

*Parámetros panel fotovoltaico.*

Característica	Sistema fotovoltaico 1	Sistema fotovoltaico 2
Voc		
Isc		

<b>Característica</b>	<b>Sistema fotovoltaico 1</b>	<b>Sistema fotovoltaico 2</b>
Vmp		
Imp		
Eficiencia		
Pnom		
Pmax		

2.2. Para la batería:

- a) Tensión nominal.
- b) Capacidad nominal.
- c) SOC máximo y mínimo.

**Tabla IV.**

*Parámetros batería.*

<b>Característica</b>	<b>Sistema fotovoltaico 1</b>	<b>Sistema fotovoltaico 2</b>
Tensión nominal		
Capacidad nominal		
SOC máximo		
SOC mínimo		

2.3. Para el regulador controlador:

- a) Tensión del sistema.
- b) Potencia nominal.
- c) Eficiencia nominal.
- d) Tipo (MPPT ó PWM).

**Tabla V.***Parámetros regulador controlador.*

<b>Característica</b>	<b>Sistema fotovoltaico 1</b>	<b>Sistema fotovoltaico 2</b>
Tensión del sistema		
Potencia nominal		
Eficiencia nominal		
Tipo (MPPT ó PWM).		

2.4. Para el inversor:

- a) Tensión nominal DC y AC.
- b) Eficiencia nominal.
- c) Corriente máxima.
- d) Potencia nominal.

**Tabla V.***Parámetros inversor.*

<b>Característica</b>	<b>Sistema fotovoltaico 1</b>	<b>Sistema fotovoltaico 2</b>
Tensión nominal DC y AC.		
Eficiencia nominal		
Potencia nominal		

***Ejemplo***

En una instalación eléctrica en la cual la tensión de trabajo es de 12V, se está utilizando una batería que tiene una capacidad de 300 Ah. Calcular el tiempo que tarda en descargarse la batería cuando se conecta una carga (bombillo) la cual consume 60W.

Se debe calcular la intensidad que va a circular por la instalación eléctrica cuando esté conectada la carga.

Figura I

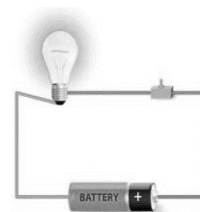
$$P = V * I \rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{60}{12} = 5 A$$

La corriente de descarga es de 5 A. (se asume que la batería inicia con el 100% y se descarga completamente).

$$t = \frac{C}{I} = \frac{202}{5} = 40,4 \text{ horas}$$

### ***Ejercicio***

Calcular el tiempo de descarga de una batería con capacidad de 202 Ah y tensión de trabajo de 12V según los consumos dados en la siguiente tabla.



### **Tabla VI.**

*Tiempo de descarga.*

Potencia (W)	Duración (h)
200W	
150W	
100W	
50W	

**Práctica B**

---

## VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS (TENSIÓN Y CORRIENTE)

**Objetivo:** Validar el estado de los equipos a través de parámetros eléctricos.

**Conocimientos previos:**

- Uso del medidor de tensión
- Uso del medidor de corriente

**Materiales Externos:**

- Multímetro
- Amperímetro

**Actividades**

1. Conectar y encender todos los equipos.
2. Con ayuda de un multímetro y pinza amperimétrica tomar medidas de corriente y tensión en cada equipo.
3. En el controlador se debe visualizar la tensión a la que se encuentran los paneles y la batería.
4. Navegar en las pantallas de los medidores de AC y DC, verificando y configurando los parámetros.
5. ¿Cuál podría ser la causa si los valores no coinciden?
6. Realizar conclusiones de la práctica.

**Tabla I***Conjunto de sistema fotovoltaico I.*

	<b>Medidor I</b>		<b>Multímetro/Pinza amperimétrica I</b>	
	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente
<b>Batería</b>				
<b>Inversor</b>				
<b>Controlador</b>				
<b>Panel</b>				

**Tabla II***Conjunto de sistema fotovoltaico II.*

	<b>Medidor II</b>		<b>Multímetro/Pinza amperimétrica II</b>	
	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente
<b>Batería</b>				
<b>Inversor</b>				
<b>Controlador</b>				
<b>Panel</b>				

## Práctica C

---

### CURVA DE DEMANDA

**Objetivo:** Realizar la curva de demanda de una casa tipo completando las tablas de los valores que caracterizan la carga de dicha casa.

**Conocimientos previos:**

- Curva de demanda de potencia eléctrica
- Demanda máxima
- Capacidad instalada

### Actividades

1. Completar el cuadro de cargas de una vivienda tipo.

**Tabla I.**

*Cuadro de cargas.*

Equipo	Potencia (w)	Cantidad	Potencia instalada (w)	Horas diarias de funcionamiento	Energía diaria (wh/día)
Lámpara LED	7				
Licudadora	75				
Nevera	61				
Televisor	60				
Radio/Celular	12				
<b>TOTAL</b>					

2. Completar el cuadro de caracterización de carga.

**Tabla II.**

*Caracterización de la carga.*

EQUIPO	P (W)	FP		S (VA)	Q (VAR)
<b>Bombillas LED 7W</b>	28		adelanto	28.57	
<b>Licuadaora</b>				83.33	36.324
<b>Nevera</b>		0.9	atraso	67.78	
<b>Televisor</b>	60				-12.184
<b>Radio y celular</b>			adelanto	12.245	

3. Completar las siguientes tablas.

**Tabla III.**

*Perfil diario.*

Hora	Equipo	Potencia (W)	Potencia Total (W)	Hora	Equipo	Potencia (W)	Potencia Total (W)
<b>1</b>	Nevera			<b>13</b>	Nevera		
					Televisor		
					Licuadaora		
<b>2</b>				<b>14</b>			
<b>3</b>				<b>15</b>			
<b>4</b>				<b>16</b>			

Hora	Equipo	Potencia (W)	Potencia Total (W)	Hora	Equipo	Potencia (W)	Potencia Total (W)
5				17			
6				18			
7				19			
8				20			
9				21			
10				22			
11				23			
12				24			

**Tabla IV.**

*Perfil diario por hora.*

Hora	Potencia (W)	Hora	Potencia (W)
1		13	
2		14	
3		15	
4		16	

Hora	Potencia (W)	Hora	Potencia (W)
5		17	
6		18	
7		19	
8		20	
9		21	
10		22	
11		23	
12		24	

4. Realizar la curva de demanda.

**Figura I.**

*Curva de demanda.*



5. ¿Cuántos paneles JA Solar JAM72S01 (Práctica 1) se necesitan para abastecer esta carga?

6. ¿La cantidad de paneles JASolar presente en el laboratorio AT205 puede abastecer esta carga?

7. Identificar como impactan los electrodomésticos en la curva de demanda y proponer escenarios de ahorro.

**Práctica D****CARGA Y DESCARGA DE LA BATERÍA**

**Objetivo:** Determinar las curvas de carga y descarga de la batería de acuerdo con el escenario establecido.

**Conocimientos previos:**

- Uso del medidor de tensión
- Uso del medidor de corriente

**Materiales Externos:**

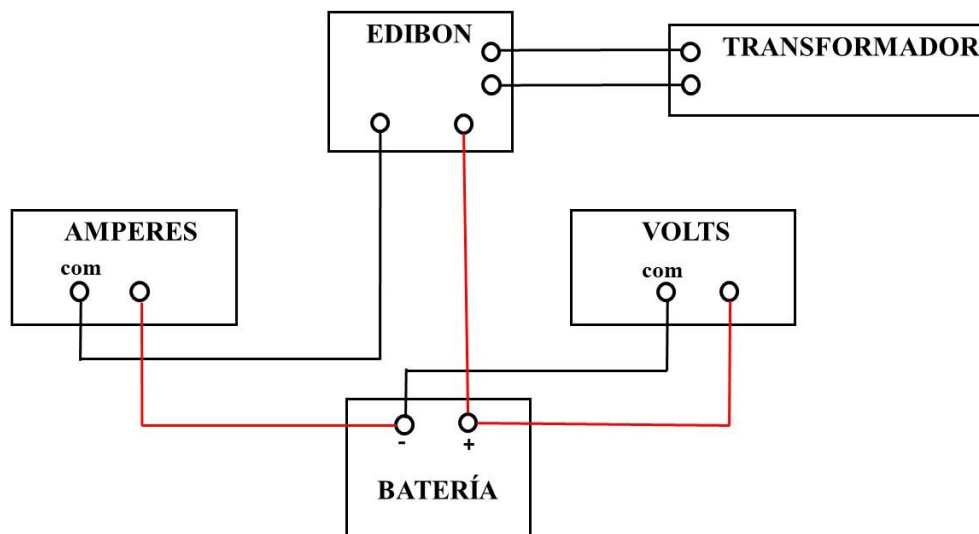
- Multímetro - Amperímetro - Edibon
- Pinzas - Transformador

**Actividades****- Carga de la batería**

1. Realizar el montaje que se muestra en el esquema a continuación.

**Esquema 2.**

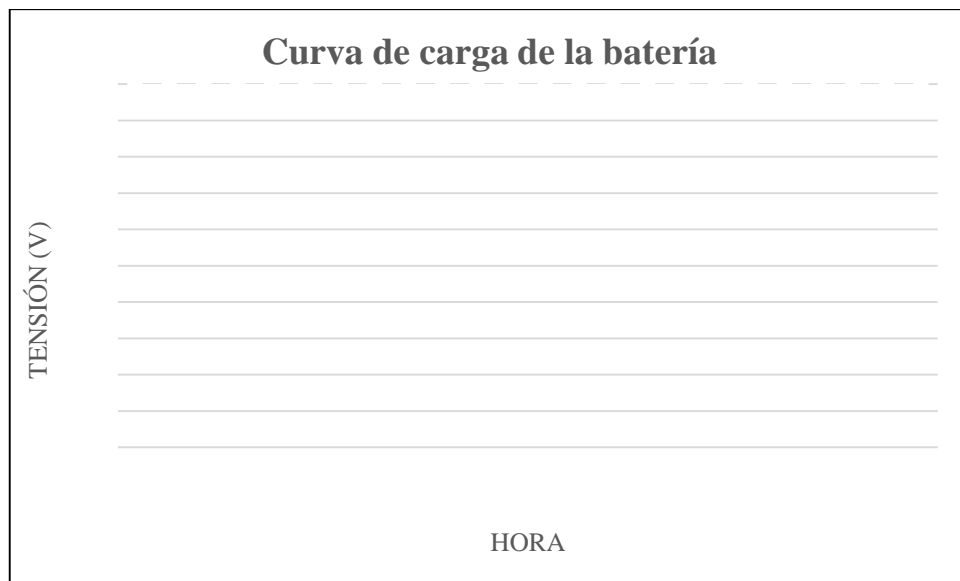
*Montaje de carga de la batería.*





**Figura II.**

*Curva de carga de la batería V vs T.*



- **Descarga de la batería**

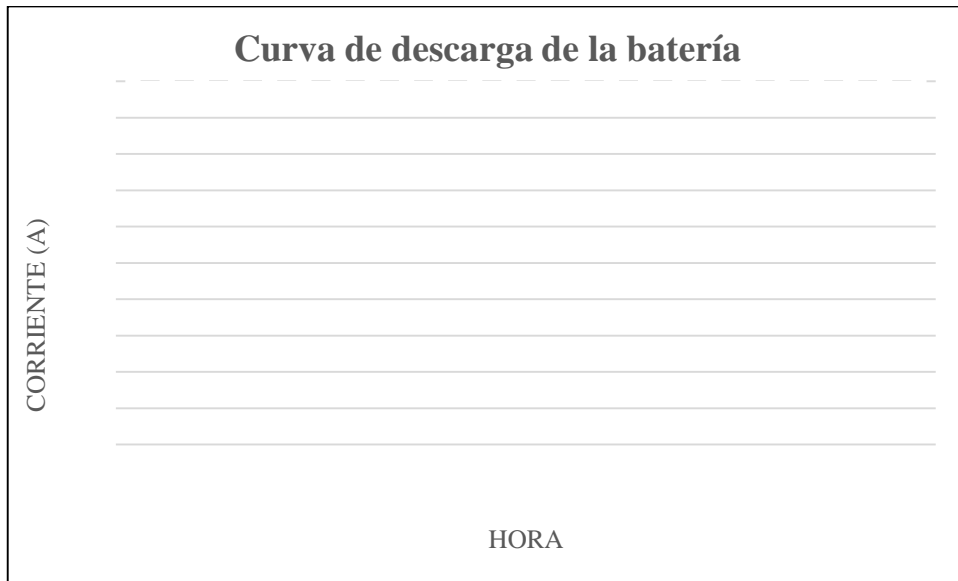
1. Poner en funcionamiento los módulos al igual que en las practicas anteriores.
2. Conectar una carga constante a la batería para que esta suministre potencia.
3. Realizar el montaje que se muestra en el siguiente esquema.



5. Realizar la gráfica de la respectiva descarga de la batería.

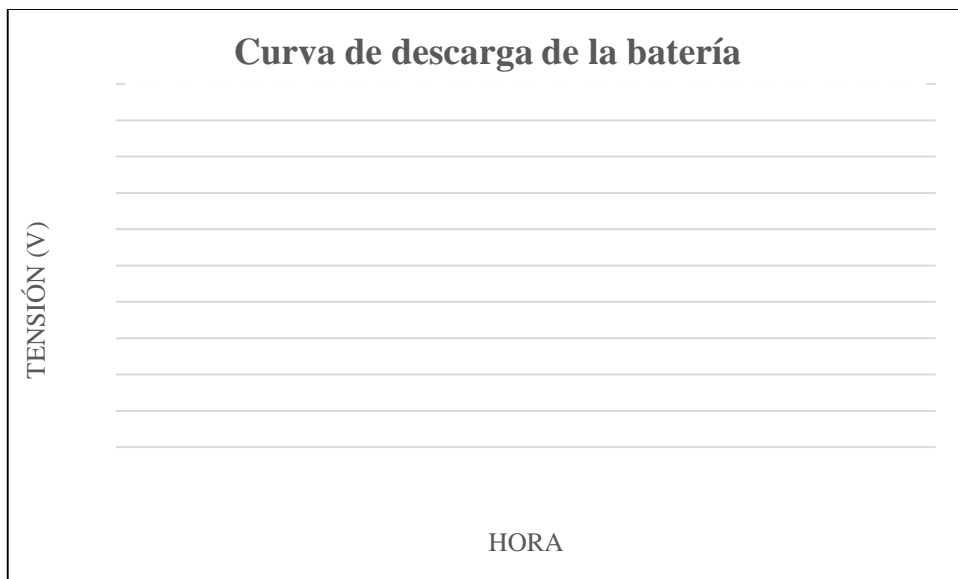
**Figura III.**

*Curva de descarga de la batería I vs T.*



**Figura IV.**

*Curva de descarga de la batería V vs T.*



**Preguntas:**

- ¿Cuáles son las etapas de carga de una batería? Dibújelas en la curva de carga
- Comparar las curvas obtenidas con las que proporciona el fabricante
- ¿Qué significa el indicador State of Charge (SOC) en la batería?
- Analizar resultados de las curvas y realizar conclusiones de la práctica.

**Práctica E**

---

## DETERMINAR EFICIENCIA DEL INVERSOR EN EL LABROTARIO AT205

**Objetivo:** Determinar la máxima potencia con la que puede trabajar el inversor y a su vez calcular su eficiencia.

**Conocimientos previos:**

- ¿Cómo se define la eficiencia de un inversor?

**Actividades**

1. Conectar las baterías con los bornes de los módulos.
2. Conectar cables de módulos de cargas a los tomacorrientes correspondientes de AC o DC del módulo de gestión y operación.
3. Encender inversores de cada módulo.
4. Subir protecciones AC y DC del tablero de cargas.
5. Conectar las cargas con las que se desee trabajar.
6. Variar la carga AC y simultáneamente tomar valores de tensión y corriente en la entrada y salida del inversor. Aumentar la carga hasta que el inversor se reinicie (En este punto ya no tiene la capacidad de alimentar una carga mayor).

**Tabla I.**

*Tensión y corriente DC y AC de cada inversor.*

<b>Inversor sistema fotovoltaico I</b>				
<b># Cargas [W]</b>	<b>VDC [V]</b>	<b>IDC [A]</b>	<b>VAC [V]</b>	<b>IAC [A]</b>
20				
90				
130				
150				
<b>Inversor sistema fotovoltaico II</b>				
<b># Cargas [W]</b>	<b>VDC [V]</b>	<b>IDC [A]</b>	<b>VAC [V]</b>	<b>IAC [A]</b>
8				
20				
90				
140				
170				

7. Determinar la potencia de entrada y salida en el inversor, seguidamente hallar el valor de la eficiencia para cada potencia.

**Tabla II.**

*Potencia DC y AC del inversor variando su carga.*

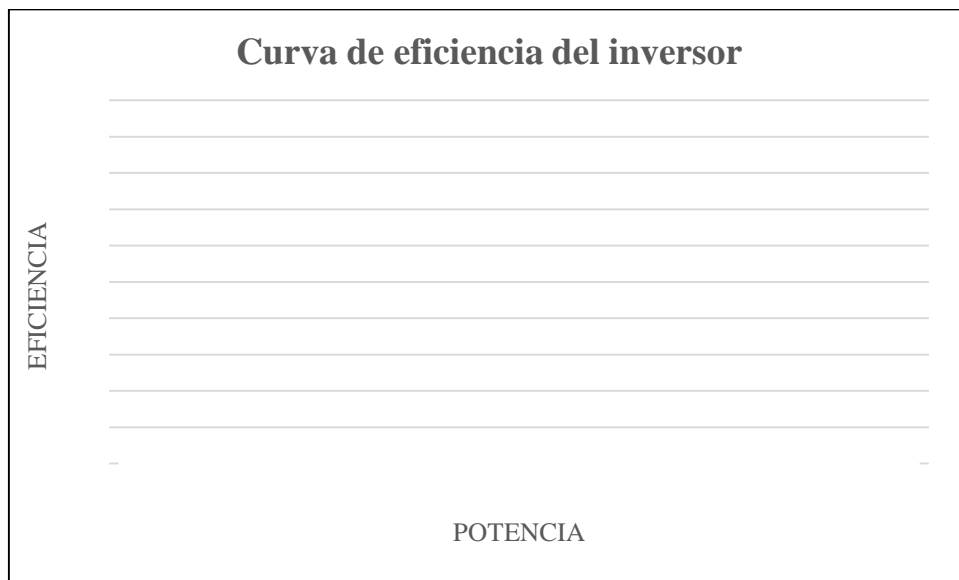
<b>Inversor sistema fotovoltaico I</b>			
<b># Cargas [W]</b>	<b>PDC [W]</b>	<b>PAC [W]</b>	<b>Eficiencia [%]</b>
20			
90			
130			
150			

<b>Inversor sistema fotovoltaico II</b>			
<b># Cargas [W]</b>	<b>PDC [W]</b>	<b>PAC [W]</b>	<b>Eficiencia [%]</b>
8			
20			
90			
140			
170			

8. Realizar la curva de potencia de la carga vs la eficiencia del inversor.

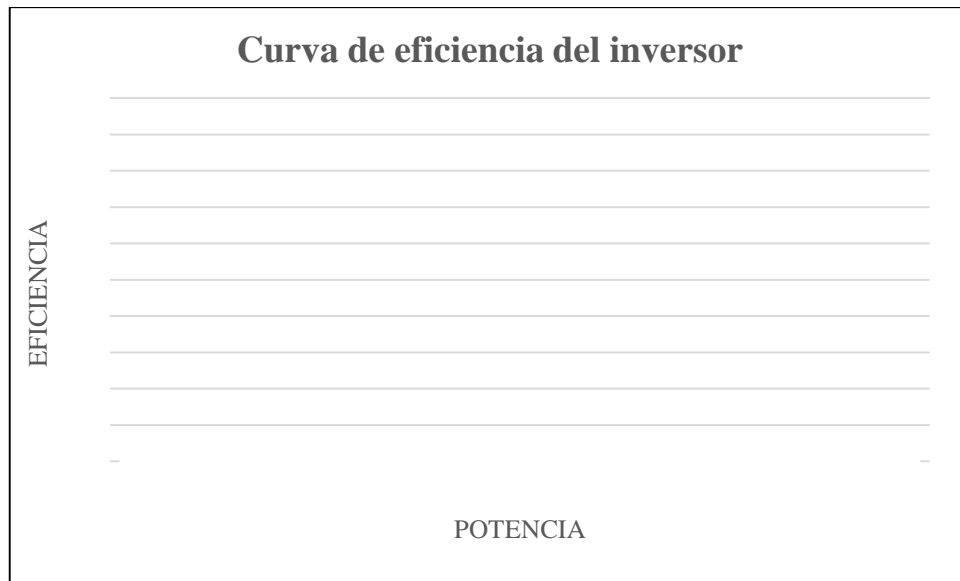
**Gráfica I.**

*Eficiencia vs Potencia salida sistema fotovoltaico I.*



**Gráfica II.**

*Eficiencia vs Potencia salida sistema fotovoltaico II.*



**¿Qué factores afectan la eficiencia de un inversor?**

9. Realizar conclusiones de la práctica

## Práctica F

---

### APLICATIVO: SIMULACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO

**Objetivo:** Obtener a partir de simulaciones parámetros eléctricos ( $V_{rms}$ ,  $I_{rms}$ , P, S y eficiencia) para diversas horas del día.

**Conocimientos previos:**

- Sistema fotovoltaico aislado
- Elementos del sistema fotovoltaico aislado

### Actividades

1. Acorde a la necesidad de estudio, tomar medidas con frecuencia de cada hora, parámetros como: irradiancia, temperatura ambiente, carga residencial, factor de potencia. Tomar como mínimo 1 hora y como máximo 720 horas (30 días).

2. Una vez tomados los datos, almacenarlos en la plantilla de Excel adjunta en la pestaña identificada con un icono de una casa. La plantilla fue diseñada para que únicamente copie y pegue el vector en la casilla indicada de la pestaña “caso general”, la Figura I presenta el esquema general.

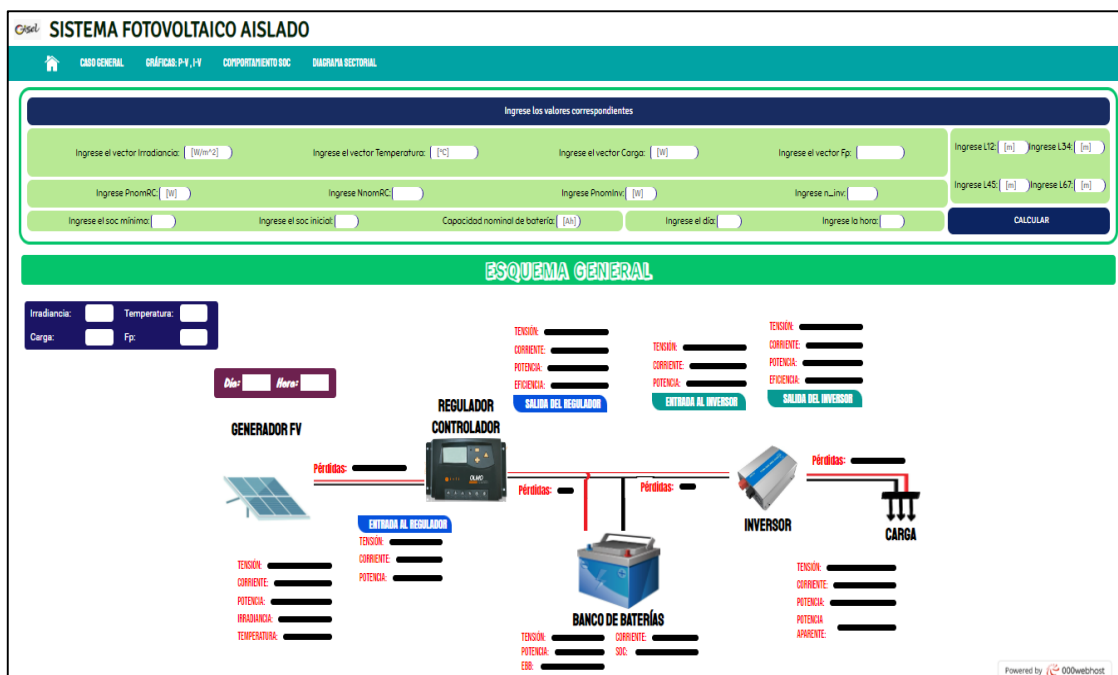
3. Ingresar valores nominales del controlador, inversor y batería:

- a) Eficiencia y potencia nominal del controlador: Por ejemplo: 0.98 -500W
- b) Eficiencia y potencia nominal del inversor: Por ejemplo: 0.93 -1000W
- c) Estado de carga de la batería: Ingresar el SOC mínimo y el SOC inicial.

4. Ingresar las distancias aproximadas entre: Generador fotovoltaico -controlador (L12), batería- controlador (L34), inversor-batería (L45) y, por último, inversor-carga (L67).
5. Elegir el día y la hora que desea estudiar.
6. Obtener a partir de la simulación parámetros eléctricos ( $V_{rms}$ ,  $I_{rms}$ , P, S y eficiencia) y analizar los posibles escenarios que puedan presentarse al variar la carga, irradiancia y temperatura.

**Figura I.**

*Esquema general del aplicativo web.*



**Tabla I.***Escenarios para simular en el aplicativo web*

<b>Escenario</b>	<b>Irradiancia [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Temperatura [°C]</b>	<b>Carga [W]</b>	<b>Potencia Panel FV [W]</b>
1	654.7	31	12	
2	782	31	12	
3	0.1	24	40	
4	1.2	22	0.3	

7. Para cada escenario responda que corresponda describa:

- ¿La batería en qué casos entrega o consume potencia?
- Si la potencia de la carga es mayor a la que genera el panel y la batería se encuentra carga ¿qué sucede?
- Si la potencia de la carga es menor a la que genera el panel y la batería se encuentra carga ¿qué sucede?
- Si la potencia de la carga es menor a la que genera el panel y la batería se encuentra descargada ¿qué sucede?
- Si la potencia de la carga es mayor a la que genera el panel y la batería se encuentra descargada ¿qué sucede?
- ¿El panel fotovoltaico siempre puede suplir la carga demandada?

## Práctica G

---

### APLICATIVO: ESTADO DE CARGA BATERÍA MENSUAL

**Objetivo:** Determinar si el banco de baterías fue dimensionado de manera correcta para el sistema fotovoltaico aislado.

**Conocimientos previos:**

- Estado de carga de una batería.

### ACTIVIDADES

1. Ingresar vectores de 30 días para tener un amplio rango del comportamiento.
2. Simular la operación con los casos seleccionados.
3. Desplazarse a la pestaña del aplicativo web “Comportamiento SOC”.
4. ¿Cuál es el estado de carga máximo y mínimo que alcanza la batería?
5. ¿El banco de baterías fue dimensionado correctamente?
6. Realizar conclusiones de la práctica.