

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Diseño e Implementación de un Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica de
Baja Potencia para el Laboratorio AT205

José Arnaldo Cotamo Rivera y Jesús David Isaquita Galvis

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista

Director

German Alfonso Osma Pinto

Doctor en Ingeniería – Área Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones - E3T

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2024

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Dedicatoria

A mi amada esposa, Dagni Omaira Parra Avella, y a mis amados hijos, Juan Sebastián Cotamo Parra y Valery Salomé Cotamo Parra, quienes han sido mi fuente de inspiración y apoyo constante. A mi padre, José del Carmen Cotamo Cotamo, cuya inquebrantable guía y apoyo incondicional han sido fundamentales en mi camino hacia este logro. A mi querida madre, Deicy Estella Rivera Cachay, cuyos sabios consejos siempre han iluminado mi camino. Esta dedicación es un reconocimiento especial a mi padre, cuyo ejemplo de tenacidad y sacrificio me ha impulsado a esforzarme aún más. Sin su apoyo, este logro no habría sido posible. A todos ustedes, les agradezco profundamente por ser mi pilar y mi motivación.

José Cotamo

A mis padres, Adelina Galvis y Oliverio Isaquita, quienes con esfuerzo, amor y confianza depositaron en mí su apoyo incondicional en este proceso, el cual ha sido una etapa muy importante en vida, que me ha permitido crecer como persona. A mis hermanos Rubiel Isaquita y Sergio Isaquita quienes ven en mí un ejemplo a seguir y espero poder ayudarlos también en su proceso formativo. En especial realizo esta dedicatoria a mi padre el cual siempre decía, hijos la mejor herencia que les puedo regalar es el estudio, y espero verlos convertidos en unos profesionales de bien. Gracias, padre, y siéntete orgullo de mí y mis hermanos los cuales vamos por el camino del bien.

Jesús Isaquita

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Agradecimientos

En este importante logro, quiero agradecer a Dios por su guía constante, agradecimiento especial al Profesor Germán Alfonso Osma Pinto por su dirección invaluable en este proyecto, a mi compañero de tesis Jesús David por su colaboración y dedicación, a mi familia en general por su apoyo inquebrantable y a mi familia UIS por brindarme la oportunidad de crecer académicamente. Su apoyo ha sido fundamental en este proceso académico que hoy culmina con éxito.

José Cotamo

Primero que todo darle gracias a Dios por la vida y la sabiduría que me permitió afrontar cada desafío a lo largo de la carrera. Agradecer a mi familia por estar apoyándome constantemente en este proceso. Al compañero de trabajo de grado José Cotamo, a las ingenieras Alejandra Martínez y Liliana Ortega por su apoyo incondicional, al director de la E3t José Alejandro Amaya por su colaboración en la gestión de los recursos, y el profe German Alfonso Osma Pinto quien con su conocimiento, apoyo y dedicación fue posible culminar este trabajo de trabajo con el cual opto por el título de ingeniero eléctrico.

Jesús Isaquita

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Tabla de Contenido

Introducción.....	12
1. Objetivos.....	13
1.1. Objetivo General.....	13
1.2. Objetivos Específicos.....	13
2. Diseño del Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica de Baja Potencia para módulo de prácticas en laboratorio AT205.....	14
2.1. Curva de Demanda de Referencia.....	14
2.2. Potencia y Horas de Consumo de los Equipos Básicos	15
2.3. Condiciones Preliminares	15
2.3.1. Relación de Equipos Existentes	16
2.3.2. Reconocimiento de los Paneles Fotovoltaicos.....	17
2.3.2.1. Prueba de Tensión de Vacío de los Paneles Fotovoltaicos	17
2.3.2.2. Prueba de Corto de los Paneles FV.....	18
2.3.3. Reconocimiento y Pruebas del Grupo Electrónico.	18
2.3.3.1. Prueba en Operación sin Carga o en Vacío del Grupo Electrónico.	19
2.3.3.2. Prueba en Operación con Carga del Grupo Electrónico	20
2.3.3.3. Prueba en Operación Integrada del Grupo Electrónico e Inversor	21
2.3.4. Reconocimiento y Pruebas del Sistema de Almacenamiento de Baterías.	22
2.3.5. Reconocimiento y Pruebas del Inversor Inti ALAMO 24401000	25
2.3.5.1. Reconocimiento de la onda de tensión del inversor sin carga	26
2.4. Dimensionamiento de Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica.....	27
2.4.1. Cuantificación de Componentes existentes.	27

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

2.5.	Análisis de Compatibilidad entre Componentes del Sistema.	28
2.5.1.	Compatibilidad entre los paneles solares, baterías, grupo electrógeno con el inversor multifuncional.	28
2.6.	Modelado y Simulación en Software Homer Pro.	29
2.6.1.	Ubicación del Proyecto y Datos Climáticos Suministrados por el Software Homer Pro.	30
2.6.2.	Disponibilidad de Recursos Energéticos.	30
2.6.3.	Curva de Demanda en el Software Homer Pro.	33
2.6.4.	Diagrama Esquemático del Sistema.....	34
2.6.5.	Resultados de la optimización en Homer pro.	35
2.7.	Diseño de la Instalación del módulo de prácticas en AutoCAD.....	37
2.8.	Diseño de la estructura e instalación de módulos FV en terraza y ubicación del grupo electrógeno.	41
2.9.	Estudio de Sombras Mediante PV-SOL	41
2.9.1.	Datos climáticos e irradiancia para las coordenadas específicas del montaje.	42
3.	Implementación de la Arquitectura del Módulo de Generación Híbrida de Baja Potencia en el Laboratorio AT205	44
3.1.	Instalación de estructura soporte para Paneles Solares JA SOLAR380W.	44
3.2.	Instalación de paneles fotovoltaicos JA solar380W y conexionado.	44
3.3.	Instalación del Módulo de Prácticas al Interior del laboratorio AT_205.....	46
3.4.	Instalación de Acometida Parcial PV SOLAR hasta Inversor Álamo 2440100.	47
3.5.	Alimentación Eléctrica del Inversor Álamo 24401000	48
3.6.	Entradas Monofásicas 120 VAC al Inversor ÁLAMO 2440100.....	48

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

3.7.	Salida Monofásica del Inversor ÁLAMO 2440100.....	48
3.8.	Instalación del Grupo Electrógeno Evans 1600W	49
4.	Evaluación del Desempeño del Sistema Híbrido de Generación.....	50
4.1.	Despacho de potencia del sistema ante la curva de demanda propuesta.	50
5.	Manual de Prácticas.	52
5.1.	Práctica Introductoria.....	52
5.2.	Práctica A. Reconocimiento e Identificación de Equipos y Dispositivos del Módulo de Entrenamiento	52
5.3.	Práctica B. Construcción de Curvas Características de Corriente vs Tensión (I vs V) y Potencia vs Tensión (P vs V) a Diferentes valores de Irradiancia.....	53
5.4.	Práctica C. Análisis de Formas de Onda de las Señales de Tensión y Corriente de Luminarias Incandescente, CFL y LED.....	53
5.5.	Práctica D. Construcción de las Curvas de Carga y Descarga del Banco de Baterías para Comprobar su Estado	53
5.6.	Práctica E. Evaluación del desempeño del sistema híbrido de generación para escenarios de demanda propuestos.	54
6.	Conclusiones	55
7.	Recomendaciones	57
	Referencias Bibliográficas	59
	Apéndices.....	60

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Potencias y Horas de Consumo de los equipos Básicos.</i>	15
Tabla 2. <i>Datos de Irradiancia Solar y Tensión de Vacío de los Paneles Solares.</i>	17
Tabla 3. <i>Corriente de Corto de los Paneles Solares a Diferentes Niveles de Irradiancia Solar</i>	18
Tabla 4. <i>Cuantificación de componentes</i>	28
Tabla 5. <i>Compatibilidad entre elementos existentes</i>	28
Tabla 6. <i>Irradiación solar media mensual y anual en Bucaramanga.</i>	31
Tabla 7. <i>Temperatura promedio mensual.</i>	32

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Curva de demanda diaria</i>	14
Figura 2. <i>Relación de equipos existentes.</i>	16
Figura 3. <i>Curva característica de la onda de tensión del grupo electrógeno</i>	19
Figura 4. <i>Espectro armónico de la señal de tensión del grupo electrógeno.</i>	19
Figura 5. <i>Curva característica de tensión y corriente del grupo electrógeno operando con carga</i>	21
Figura 6. <i>Curva característica de tensión y corriente de carga de batería No 1 Max Power 12V- 200Ah</i>	22
Figura 7. <i>Curva característica de tensión y corriente de carga de batería No 2</i>	23
Figura 8. <i>Curva característica de tensión y corriente de carga del banco de baterías.</i>	24
Figura 9. <i>Curva característica de tensión y corriente de descarga del banco de baterías.</i>	25
Figura 10. <i>Esquema de conexión de PQube3 a la salida monofásica 120 VAC del sistema</i>	26

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Figura 11. <i>Tensión de salida del inversor en un periodo de la señal</i>	27
Figura 12. <i>Ubicación de la instalación fotovoltaica mediante el software Homer Pro.</i>	30
Figura 13. <i>Potencial de generación por irradiación diaria promedio anual.</i>	32
Figura 14. <i>Perfil de temperatura promedio mensual y anual.</i>	33
Figura 15. <i>Curva de Demanda Diaria Elaborada en el Software Homer Pro.</i>	34
Figura 16. <i>Flujo de Energía Elaborado en Software Homer Pro.</i>	34
Figura 17. <i>Propuestas Mediante Software Homer Pro para Demanda de Carga Específica.</i>	35
Figura 18. <i>Propuestas Mediante Software Homer Pro para Demanda de Carga Específica.</i>	37
Figura 19. <i>Diagrama de Flujo de Potencias del Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica.</i>	38
Figura 20. <i>Diagrama de conexiones del Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica.</i>	39
Figura 21. <i>Diagrama Unifilar del Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica.</i>	40
Figura 22. <i>Diseño de la Estructura de los Paneles PV y Ubicación del Grupo Electrógeno.</i>	41
Figura 23. <i>Levantamiento Estructural para Estudio de Sombras Mediante PV-SOL</i>	42
Figura 24. <i>Datos climáticos e irradiancia para las coordenadas específicas del montaje.</i>	43
Figura 25. <i>Perfil de Irradiancia.</i>	43
Figura 27. <i>Módulo de Prácticas Instalado al Interior del Laboratorio AT205</i>	46
Figura 27. <i>Curva de demanda energética consumida por las cargas</i>	50
Figura 28. <i>Curva de flujo de potencia suministrada por los paneles solares y banco de baterías.</i>	51

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Lista de apéndices

NOTA: Los apéndices están adjuntos en el repositorio institucional

Apéndice A. Contenido del trabajo de grado.....	
Apéndice B. Diseño del sistema híbrido de generación de energía eléctrica.....	
Apéndice C. Prueba en operación sin carga o en vacío del grupo electrógeno.....	
Apéndice D. Prueba en operación con carga del grupo electrógeno.....	
Apéndice E. Manual de usuario inversor multifuncional 24401000.....	
Apéndice F. Diagramas de conexión, flujo de potencias y diagrama unifilar.....	
Apéndice G. Datos extraídos con PV_SOL.....	
Apéndice H. Prácticas de laboratorio.....	
Apéndice I. Recursos y presupuesto.....	
Apéndice J. Fotografías generales del montaje.....	

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Resumen

Título: Diseño e Implementación de un Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica de Baja Potencia para el Laboratorio AT205.¹

Autores: José Arnaldo Cotamo Rivera y Jesús David Isaquita Galvis.²

Palabras Clave: Dimensionamiento, sistema híbrido, generación, energía renovable.

Descripción: Este trabajo se enfoca en abordar el desafío del suministro eléctrico en Colombia, especialmente en las Zonas No Interconectadas (ZNI), como motor, para el desarrollo socioeconómico. La propuesta se centra en el diseño e implementación de un módulo de generación híbrida en el Laboratorio de uso racional de la energía y energías renovables (AT205) con el propósito de enriquecer el proceso formativo de estudiantes en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander. Este sistema de baja potencia (aproximadamente 1 kW) está conformado por dos paneles fotovoltaicos de 380 W, un inversor multifuncional ÁLAMO IM24401000 (1kVA), dos baterías de gel Max Power (12 V, 200 Ah), un grupo electrógeno EVANS modelo G16MG0300TH (1600 W) y tableros eléctricos que alojan las protecciones eléctricas en AC y DC de entrada y salida del sistema.

Además del diseño y la correcta implementación, se realizó la evaluación del sistema; para ello, el sistema híbrido se sometió a diferentes escenarios de carga para simular la curva de demanda de una vivienda rural, dando como resultado un correcto despacho de potencia por parte del sistema fotovoltaico y el banco de baterías, sin intervención del grupo electrógeno de respaldo.

Finalmente, con base a los resultados obtenidos se propusieron prácticas de laboratorios, enfocadas a fortalecer el aprendizaje de los estudiantes en generación de energía eléctrica, aunque también pueden favorecer las temáticas de mediciones eléctricas, fundamentos de calidad de la energía e instalaciones eléctricas.

¹ Trabajo de Grado

² Facultad de Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones - E3T. Ingeniería eléctrica. Director: Germán Alfonso Osma Pinto. Dr en Ingeniería.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Abstract

Title: Design and Implementation of a Hybrid Low Power Electrical Energy Generation System for the AT205 Laboratory¹

Authors: José Arnaldo Cotamo Rivera and Jesús David Isaquita Galvis.²

Key words: Sizing, hybrid system, generation, renewable energy.

Description: This work focuses on addressing the challenge of electricity supply in Colombia, especially in Non-Interconnected Zones (ZNI), as a driver for socioeconomic development. The proposal focuses on the design and implementation of a hybrid generation module in the Laboratory for Rational Use of Energy and Renewable Energies (AT205) with the purpose of enriching the training process of students at the School of Electrical, Electronic and Engineering Engineering. Telecommunications of the Industrial University of Santander. This low-power system (approximately 1 kW) is made up of two 380 W photovoltaic panels, an ÁLAMO IM24401000 multifunctional inverter (1kVA), two Max Power gel batteries (12 V, 200 Ah), an EVANS model G16MG0300TH generator set (1600 W) and electrical panels that house the electrical protections in AC and DC input and output of the system.

In addition to the design and correct implementation, the system evaluation was carried out; To this end, the hybrid system was subjected to different load scenarios, to simulate the demand curve of a rural home, resulting in correct power dispatch by the photovoltaic system and the battery bank, without intervention of the generator set. back.

Finally, based on the results obtained, laboratory practices were proposed, focused on strengthening students' learning in electrical energy generation, although they can also favor the topics of electrical measurements, fundamentals of energy quality and electrical installations.

¹Degree Work

⁴ Faculty of Engineering Physicochemical, School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Electric Engineering. Director: Germán Alfonso Osma Pinto. Dr in engineering

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Introducción.

Actualmente, los sistemas híbridos de energía implementados en zonas no interconectadas los forman un sistema de generación renovable y un grupo electrógeno. Principalmente, se integran sistemas fotovoltaicos (FV) que atienden parte de la carga durante el día y almacenan los excedentes en bancos de baterías. El grupo electrógeno funciona con diésel o gasolina y brinda respaldo según la necesidad aumentando la confiabilidad del suministro.

Dada la pertinencia de este tipo de solución energética, hoy es fundamental fortalecer el proceso de formación.

El Laboratorio de uso racional de la energía y energías renovables ubicado en el AT205 no contaba con un módulo de entrenamiento que favorezca la formación en tecnologías de generación de energía eléctrica de manera híbrida, por lo que, este trabajo de grado aborda el diseño requerido y la implementación de un módulo funcional con componentes comerciales para el desarrollo de prácticas considerando las disposiciones normativas y reglamentarias vigentes (NTC 2050 y RETIE).

El desarrollo de prácticas en este módulo puede ayudar a actividades en el área de generación de energía eléctrica, instalaciones eléctricas, mediciones eléctricas y calidad de la energía eléctrica.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema híbrido de generación de baja potencia usando tecnología fotovoltaica y un grupo electrógeno portátil orientado al desarrollo actividades prácticas en el Laboratorio AT205.

1.2. Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema híbrido de generación de baja potencia orientado a actividades de docencia en el Laboratorio AT205.
- Implementar el módulo de generación híbrida en el Laboratorio AT205.
- Evaluar el desempeño del sistema híbrido de generación implementado.
- Proponer un manual de prácticas para actividades docentes.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

2. Diseño del Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica de Baja Potencia para módulo de prácticas en laboratorio AT205

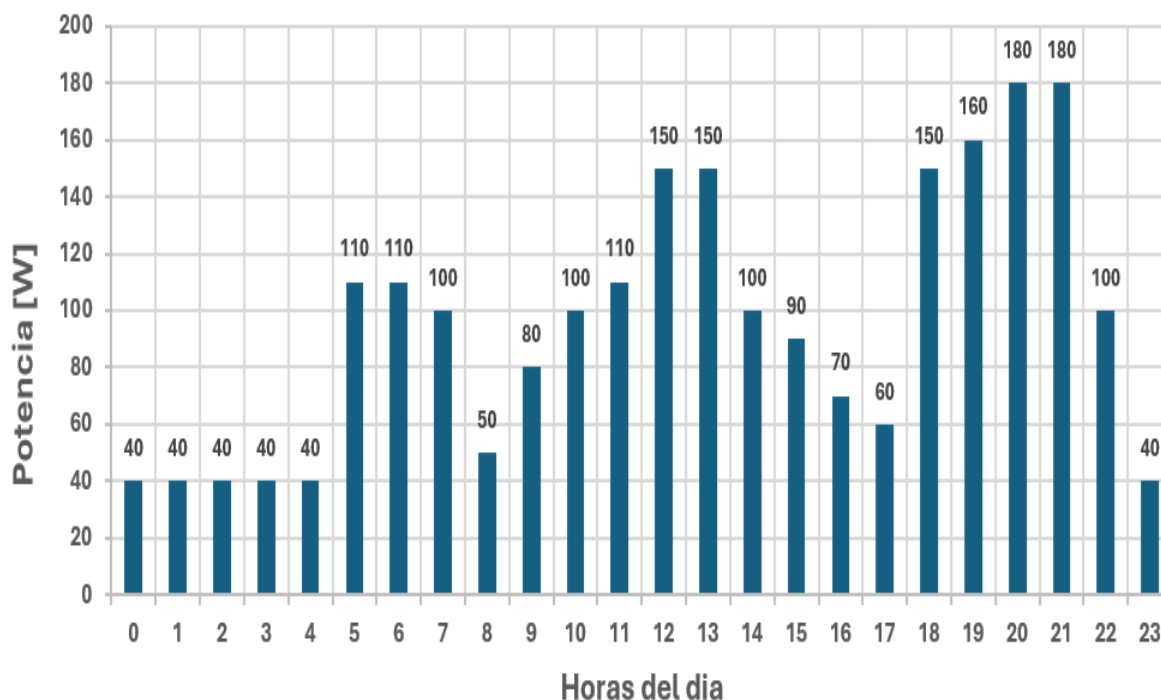
2.1. Curva de Demanda de Referencia.

La construcción de las curvas de carga se basó en información proveniente de los PERS (Plan de Energización Rural Sostenible) elaborados por la UPME. Se asume el uso de tecnología eficiente, es decir, que garantice un mayor ahorro de energía, implicando un menor consumo promedio. Lo anterior considerando electrodomésticos como neveras con clasificación energética A (según RETIQ) y televisores tipo led. UPME-PIEC (2022).

La Figura 1 muestra la curva de demanda elaborada según referencia UPME.

Figura 1.

Curva de demanda diaria



SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

2.2. Potencia y Horas de Consumo de los Equipos Básicos

La Tabla 1 presenta los equipos básicos usados en el análisis de la UPME, los cuales se consideran como los más utilizados por una familia colombiana que habita en las zonas rurales, con la información de potencia y horas de uso de los electrodomésticos se ajusta la curva de demanda de la Figura 1, con base en esta curva se buscan los recursos energéticos que integrados satisfagan de manera eficiente las necesidades de la población específica.

Tabla 1.

Potencias y Horas de Consumo de los equipos Básicos.

Equipo	Potencia por equipo (W)	Cantidad de equipos	Potencia total por tipo de equipo (W)	Horas diarias de uso	Energía diaria por tipo de equipo (kWh/día)
Lámpara LED	6	6	36	5	180
Licuadora	420	1	420	0.08	33,6
Decodificador TV	55	1	55	4	220
Nevera	80	1	80	10	800
TV LED	70	1	70	4	280
Radio AM/FM	15	1	15	4	60
Cargador de Celular	9,5	1	9,5	1	9,5
	Potencia simultánea total (W)		685,5	Energía diaria necesaria (kWh/día)	1583,1






2.3. Condiciones Preliminares

Como primera etapa, se llevó a cabo la identificación y verificación del funcionamiento de equipos almacenados en el Laboratorio AT205; posteriormente, se realiza el inventario de equipos y materiales eléctricos existentes, así como a su caracterización y análisis de compatibilidad (ver Apéndice B - Hoja G), material eléctrico que no se ha adquirido y que se determina mediante el diseño (ver Apéndice B - Hoja F), al igual que herramientas para la implementación del proyecto. Los equipos existentes se describen en la Figura 2.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Figura 2.

Relación de equipos existentes.

<p>Paneles fotovoltaicos Tipo: JAM72S01-380/PR</p>	<p>Inversor multifuncional Álamo Tipo: IM-24401000</p>	<p>Baterías gel Tipo: SEC 12 TCG-250</p>
		
<p>Grupo electrógeno Tipo: EVANS 1.600 W</p>	<p>Baterías de gel Max Powe Tipo: MP200-12(Gel)</p>	
		

Luego de identificar los equipos, se realizó la inspección de los espacios disponibles. Definiendo que los paneles PV se ubican en la terraza del Laboratorio de prácticas de alta tensión, el grupo electrógeno se ubica en la parte posterior del Edificio de Alta Tensión zona baja, junto a la jaula de Faraday, y el módulo de prácticas se instale en la zona interior del Laboratorio de uso racional de la energía y energías renovables (AT205).

2.3.1. Relación de Equipos Existentes

Se hace inventario de los distintos equipos existentes en el laboratorio, se recopila información mediante las fichas técnicas de cada uno de ellos. Las fichas técnicas y características de los equipos existentes se pueden ver en Apéndice B - Hoja H. (*Revisión del*

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Estado de los Equipos Existentes y la revisión y determinación del estado consiste en evaluar su estado físico y operación, de conformidad a lo indicado según la ficha técnica).

2.3.2. Reconocimiento de los Paneles Fotovoltaicos.

Los dos paneles fotovoltaicos monocristalinos de la marca JA SOLAR con una potencia de 380 W cada uno, a los cuales se les realiza una inspección visual donde se determinó su correcto estado. Posteriormente se registraron los datos de placa de los paneles PV para realizar un análisis de compatibilidad con el inversor multifuncional y comprobar su correcta integración. (Ver Apéndice B - Hoja G).

2.3.2.1. Prueba de Tensión de Vacío de los Paneles Fotovoltaicos

Como primera prueba se realizó medición de la tensión de circuito abierto (V_{oc}) de los paneles solares los cuales están conectados en paralelo. El valor nominal de esta tensión de vacío al igual que la corriente de corto y potencia máxima son especificados por el fabricante.

Para medir la tensión de vacío se utilizó un multímetro digital que se conecta en paralelo a los bornes de los paneles PV. Posteriormente, se somete el panel a varios niveles de irradiancia cuyos valores se capturan con ayuda de la estación meteorológica ubicada en la terraza del laboratorio y se mide la tensión generada. Los datos obtenidos se observan en la Tabla 2. El valor de tensión de vacío varía según la irradiancia solar y la temperatura del panel PV.

Tabla 2.

Datos de Irradiancia Solar y Tensión de Vacío de los Paneles Solares.

Irradiancia solar	Tensión de vacío
1000 W/ m ²	48,71 VDC
731 W/ m ²	43,81 VDC
708 W/ m ²	43,55 VDC
926 W/ m ²	44,13 VDC

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

2.3.2.2. Prueba de Corto de los Paneles FV.

La corriente de corto (I_{sc}) de un panel FV es una variable importante ya que nos indica la máxima corriente que puede generar en condiciones de cortocircuito. Además, nos indica si se encuentra en óptimas condiciones o esta defectuoso.

Para realizar esta prueba, los paneles FV conectados en paralelo y previamente instalados en terraza (ver Figura 26), se someten a un nivel de irradiancia solar, la cual se puede medir con la ayuda de la estación meteorológica y visualizar los datos en el computador principal del Laboratorio AT205, como segundo paso, se conectan los terminales positivo y negativo para cerrar el circuito y permitir que la corriente fluya a través de este. Finalmente, se toma lectura de la corriente con ayuda de una pinza amperimétrica, esta corriente de corto varía según la irradiancia solar a la que se sometan los paneles FV. Los datos obtenidos para diferentes niveles de irradiancia se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3.

Corriente de Corto de los Paneles Solares a Diferentes Niveles de Irradiancia Solar

Irradiancia solar	Corriente de corto (I_{sc})
485 W/ m ²	6,4 A
942W/ m ²	19,0 A

2.3.3. Reconocimiento y Pruebas del Grupo Electrónico.

Grupo electrógeno marca Evans con una capacidad nominal de 1600 VA modelo G16MG0300TH. Las pruebas realizadas abarcaron aspectos técnicos como la respuesta del generador ante variaciones de carga, la estabilidad de frecuencia, tensión y la capacidad de arranque en diversas condiciones de demanda de potencia.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

2.3.3.1. Prueba en Operación sin Carga o en Vacío del Grupo

Electrógeno.

En esta prueba se analizan aspectos previos a la operación del grupo electrógeno, asegurando buen nivel de combustible y aceite, a continuación, se procedió al encendido y a la toma de valores de tensión y frecuencia. El resultado de esta prueba evidenció la fluctuación en estos dos parámetros, lo cual ocasiona una inestabilidad en la onda de tensión, como se aprecia en la Figura 3. Los datos obtenidos con PQube3 se presentan en el Apéndice C. Posteriormente, con los datos recolectados, se calculó el porcentaje de distorsión de tensión THDv igual al 18.83%. A su vez se graficó el espectro armónico de la señal de tensión donde se evidencia la distorsión armónica de orden 3°, 5°, 7° y 9° como muestra la Figura 4.

Figura 3.

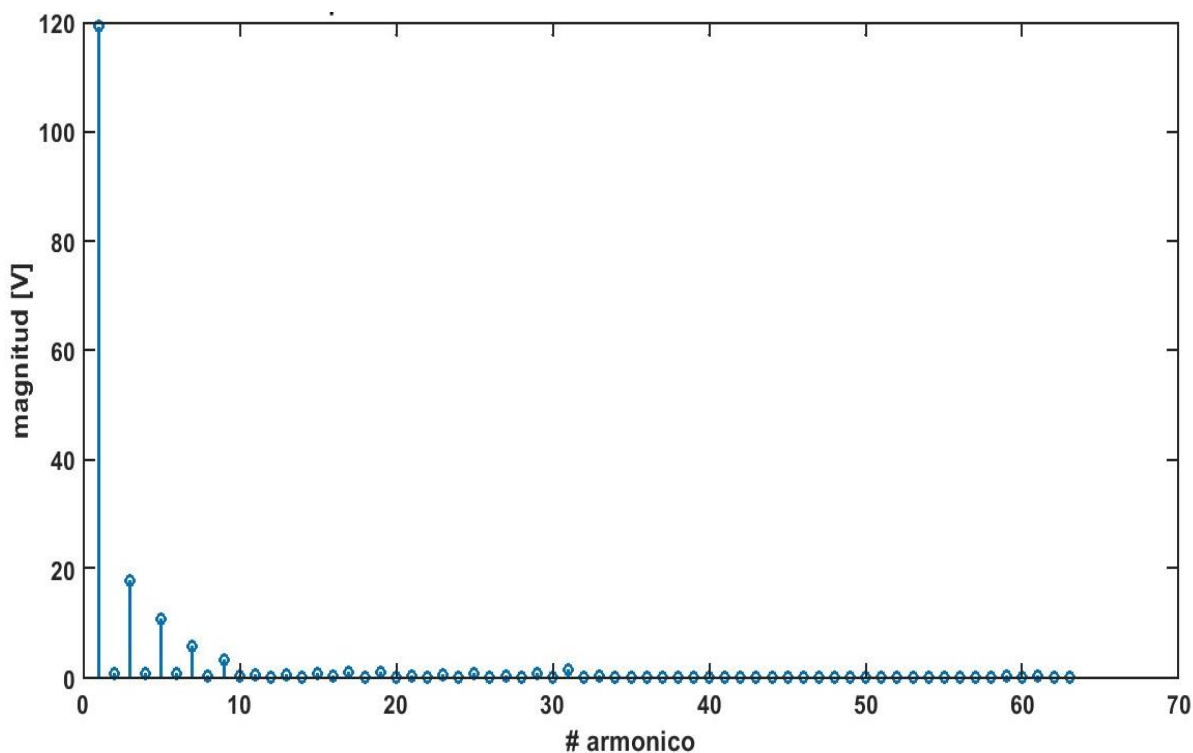
Curva característica de la onda de tensión del grupo electrógeno



Figura 4.

Espectro armónico de la señal de tensión del grupo electrógeno.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.



2.3.3.2. Prueba en Operación con Carga del Grupo Electrónico

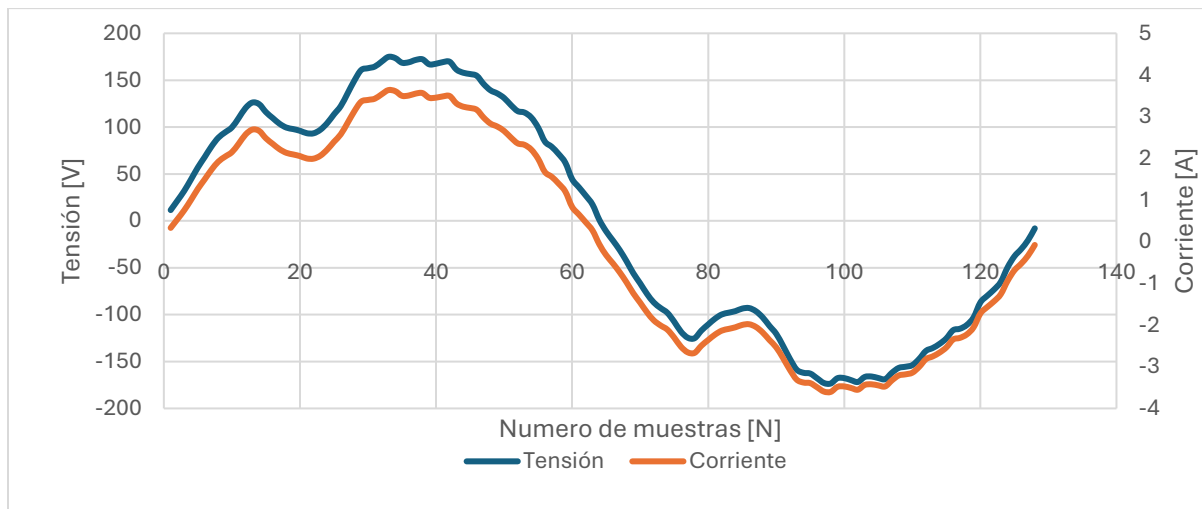
En esta prueba se analizan los mismos aspectos previos al igual que en la prueba de operación sin carga, Para ello, se sitúa el grupo electrógeno a una distancia aproximada de 12 metros y mediante una extensión eléctrica encauchetada calibre 3x14 AWG se energiza un banco de cargas resistivo monofásico de 120 VAC ubicado al interior del Laboratorio AT_205, en el cual se establecen diferentes valores de resistencia que permiten aumentar el flujo de corriente por parte del grupo electrógeno de manera controlada. Una vez listo el montaje, se pone en operación el grupo electrógeno, posteriormente, se activa la protección de salida AC de éste; seguidamente, variamos el valor de resistencia para aumentar demanda de potencia y se toman los datos de tensión, corriente y frecuencia (ver Apéndice D), de lo cual se puede evidenciar nuevamente la fluctuación de estos tres parámetros como se observa en la Figura 5. También se

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

percibe de manera audible un cambio en el sonido del grupo electrógeno, se vuelve más tenue a medida que se le exige más potencia, lo que provoca que tienda a apagarse.

Figura 5.

Curva característica de tensión y corriente del grupo electrógeno operando con carga



2.3.3.3. Prueba en Operación Integrada del Grupo Electrónico e Inversor

En esta prueba se tienen las mismas consideraciones de prearranque que en vacío, integrando el grupo electrógeno con el inversor multifuncional Álamo 24401000. Primero, se conectan 2 baterías de 12V en serie para obtener un banco de 24V y posibilitar el flujo de potencia con el inversor. El inversor se configura para transferir carga al grupo electrógeno cuando detecte un bajo nivel de almacenamiento en baterías y almacene los excedentes de energía en banco de baterías.

La segunda fase, se realiza asociando una carga de 175W al sistema la cual se extrae de las baterías sin problema. Ahora, se pone en línea el grupo electrógeno, el inversor detecta la entrada al sistema y hace la transferencia de carga, el inversor asume la incorporación en el

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

sistema del grupo electrógeno y les hace un análisis a los parámetros de tensión y frecuencia, la tecnología del inversor detecta una frecuencia inestable impuesta por el grupo electrógeno e inmediatamente lo saca del sistema. Aunque este dispositivo ya pasó por una revisión técnica en la División de Mantenimiento Tecnológico, no se logró su correcta operación, aunque se puede utilizar para mostrar cómo es un malfuncionamiento de una pequeña planta eléctrica. En consecuencia, se recomienda la adquisición de otro grupo electrógeno.

2.3.4. Reconocimiento y Pruebas del Sistema de Almacenamiento de Baterías.

Esta prueba tiene dos componentes, análisis de carga individual y análisis mediante el módulo de prácticas propuesto. Previo a la carga, se realiza la descarga de manera individual a cada batería de 12V y 200Ah de la marca Max Power, llevándolas a descarga profunda; posteriormente, para la carga se utiliza el cargador de baterías de 12 voltios y 10 A “Blue Power Charger” de la marca “Victron Energy”. Se hace el registro de datos y se grafican como se evidencia en las figuras 6 y 7.

Figura 6.

Curva característica de tensión y corriente de carga de batería No 1 Max Power 12V-200Ah

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

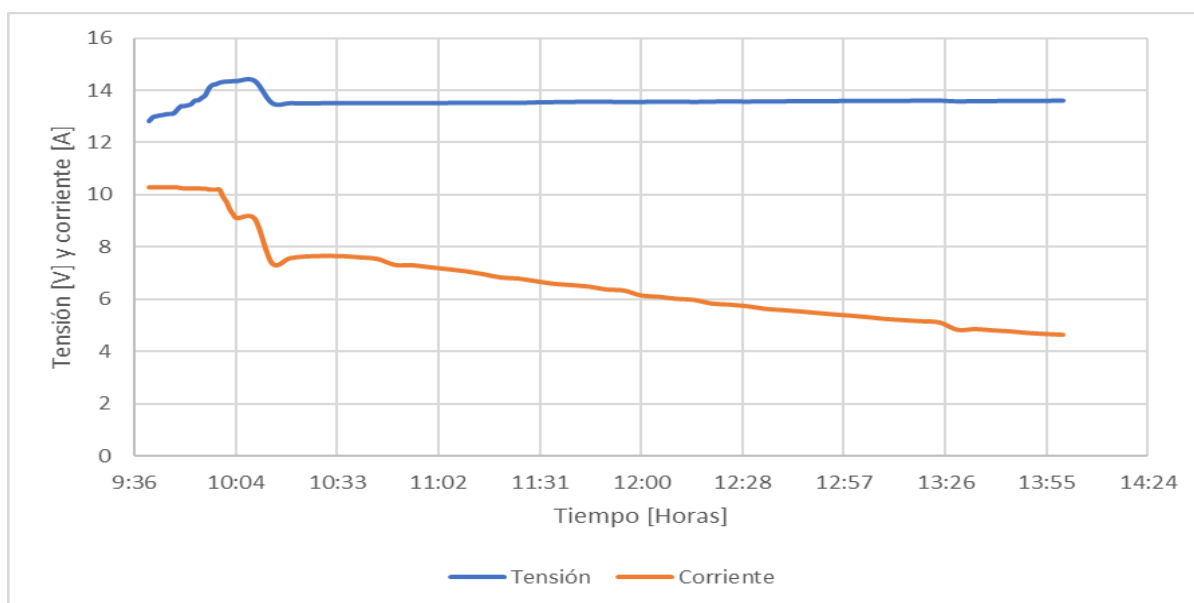
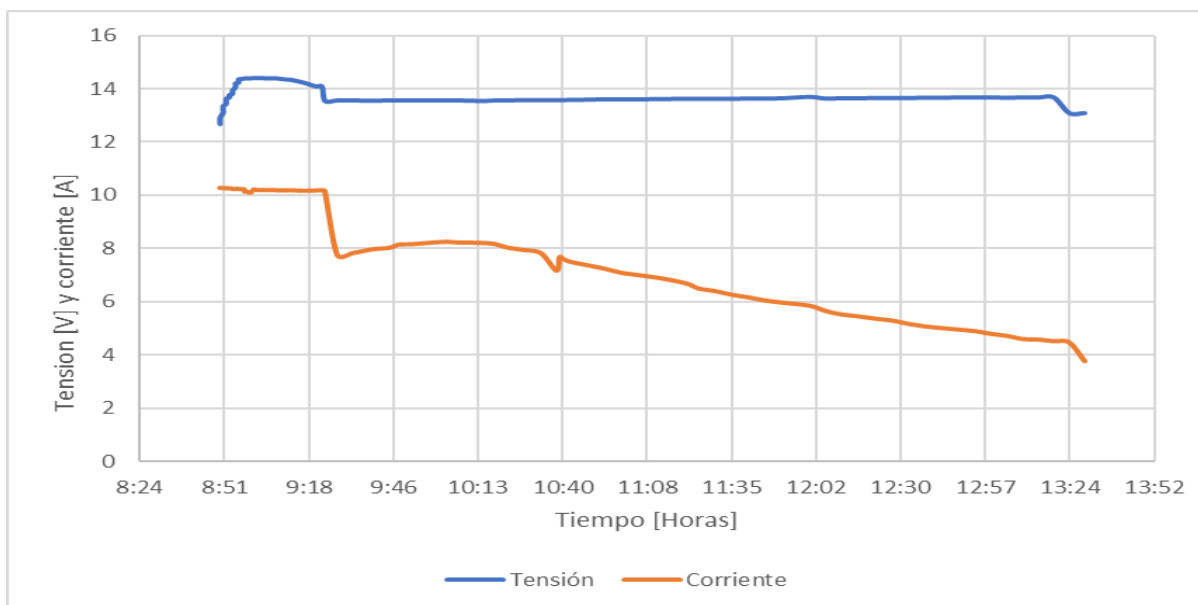


Figura 7.

Curva característica de tensión y corriente de carga de batería No 2



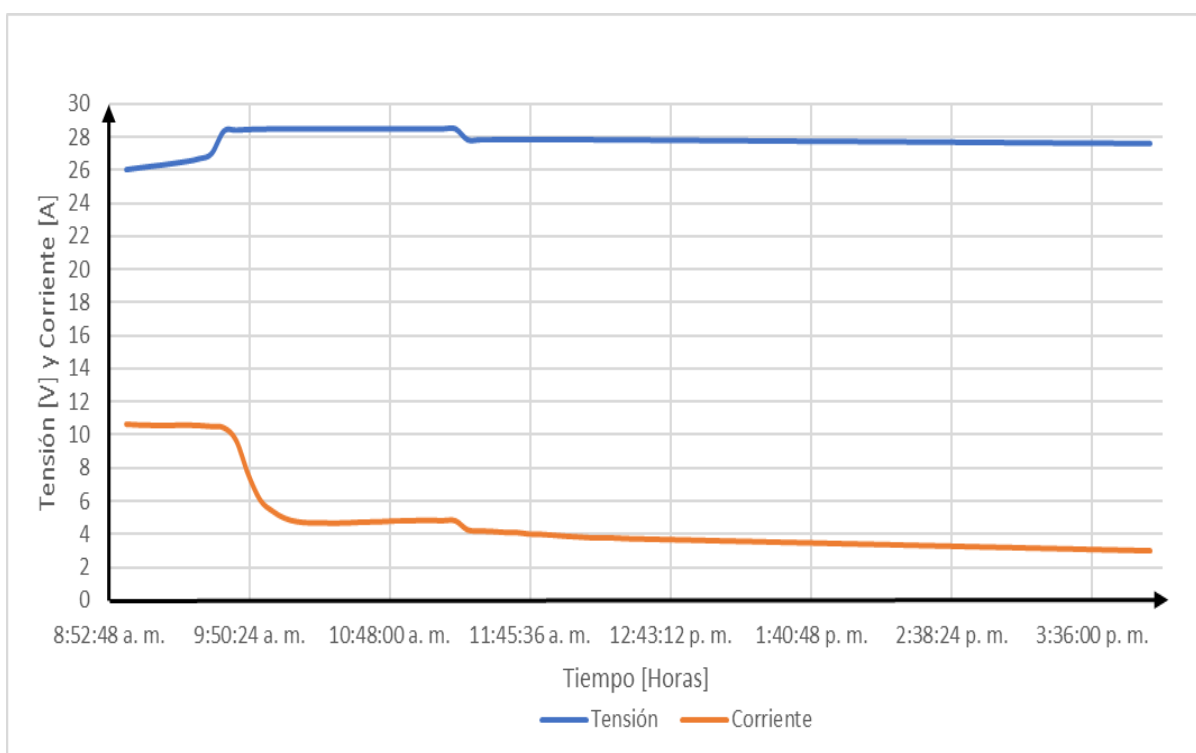
La segunda parte consiste en realizar la prueba al banco de baterías en conjunto, mediante el inversor multifuncional en su opción cargador y conectado a la red existente monofásica de

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

120 VAC. Para ello, se conectan las dos baterías en serie y, posteriormente, al inversor para controlar su estado de carga. El inversor se configura para que el estado de carga se haga de manera automática, la configuración del inversor viene dada por *default* para el estado de carga de la batería como se evidencia en el manual de usuario del inversor mostrado en el Apéndice E, Página 17, modo de programación 09, “Bulk charging voltage”, paso posterior es el registro de datos de tensión, corriente hasta que termina el estado de flotación y el inversor emite estado de alarma indicando que el banco de baterías ha quedado totalmente cargado. Con los datos registrados se realiza la curva característica como se evidencia en la Figura 8.

Figura 8.

Curva característica de tensión y corriente de carga del banco de baterías.



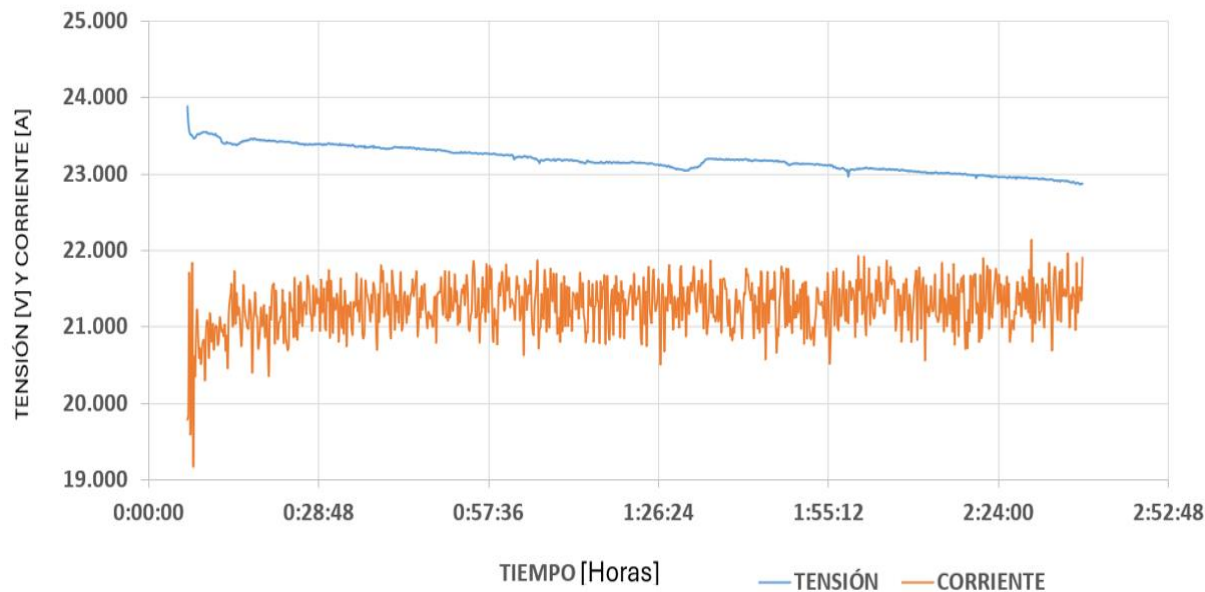
Finalmente, se procede a monitorizar la curva de descarga del banco de baterías, la cual, se controla mediante la programación del inversor multifuncional configurada para descarga del

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

50%. Estos datos son registrados por el medidor DC PWRcheck conectados al puerto de medición banco de baterías y se procede a graficar como se evidencia en la Figura 9.

Figura 9.

Curva característica de tensión y corriente de descarga del banco de baterías.



2.3.5. Reconocimiento y Pruebas del Inversor Inti ALAMO 24401000

Este equipo híbrido monofásico 120VAC de onda senoidal pura, también conocido como inversor multifuncional o 3 en 1, integra las funciones de inversor (función 1), cargador solar con tecnología MPPT (función 2) y cargador AC tecnología PWM (función 3), alta eficiencia en conversión AC-DC, trabaja a una tensión nominal de 24 VDC, con una potencia nominal de 1 kVA, y una alta corriente de carga MPPT de hasta 40 A.

Este inversor cuenta con una pantalla LCD que visualiza y permite configurar algunos parámetros como rango de tensión AC, prioridad de fuente de salida, máxima corriente de carga con la red o paneles PV y tensión de alarma por baja tensión de las baterías.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

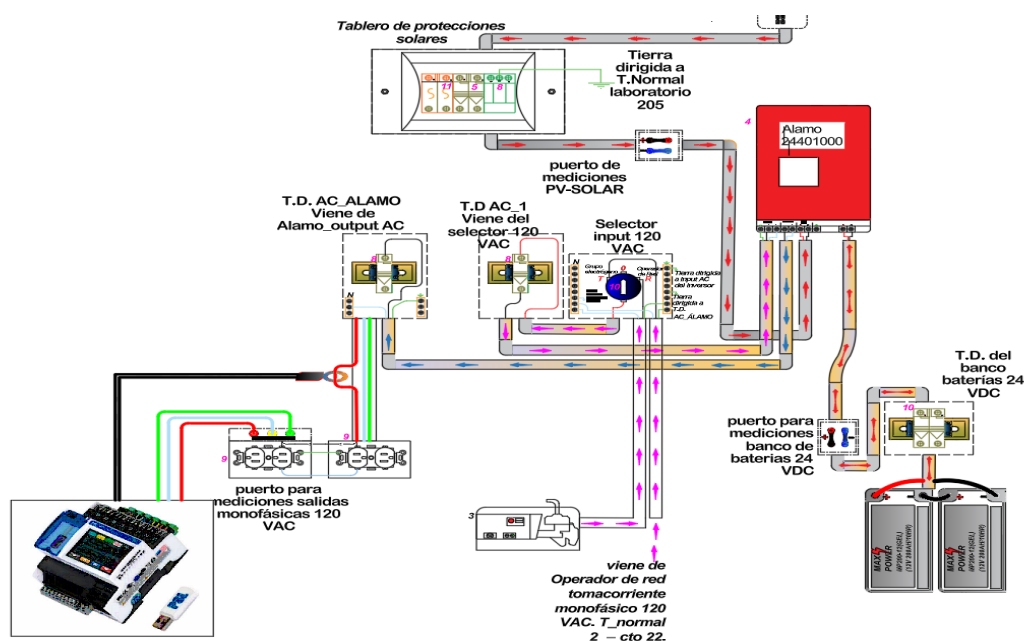
Además, cuenta con tres indicadores luminosos que indican la fuente de carga (red eléctrica / grupo electrógeno, paneles PV o banco de baterías), estado de carga de la batería e indicador de falla o advertencia en el inversor. Toda esta información se puede encontrar en el manual de usuario con mayor claridad.

2.3.5.1. Reconocimiento de la onda de tensión del inversor sin carga

Mediante esta prueba se quiere comprobar qué tan pura es la onda de tensión del inversor. Aunque el manual especifica que la señal de salida es onda senoidal pura, se realizó la integración del inversor con las baterías y la conexión del analizador PQube3 a los puertos de salida de tensión AC del inversor, tal como se muestra en la Figura 10.

Figura 10.

Esquema de conexión de PQube3 a la salida monofásica 120 VAC del sistema



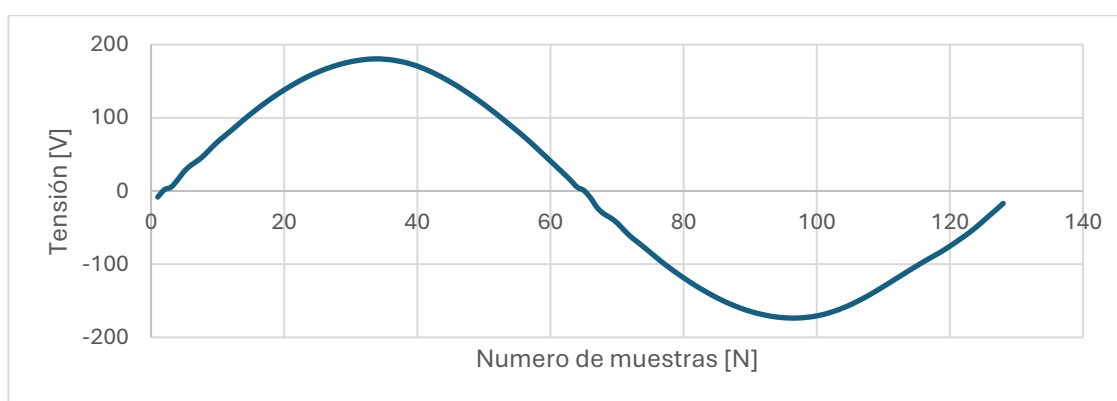
Con ayuda del PQube3, se realiza el muestreo de la señal de tensión. Con las muestras obtenidas, se grafica como se evidencia en la Figura 11, y se calcula el índice de distorsión armónica total que posee la señal de tensión de salida AC del inversor. Este cálculo se realiza

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

mediante la herramienta Matlab, cuyo código se encuentra en el Apéndice H, práctica C. El resultado obtenido indica que el índice THDv es igual a $\approx 3.8964\%$, la cual se considera un porcentaje aceptable según los límites de distorsión establecidos por la CREG 065 de 2012 en su Anexo 2, Literal 2.5 para nivel de tensión 1 o sistemas con tensión nominal menor a 1 kV.

Figura 11.

Tensión de salida del inversor en un periodo de la señal



2.4. Dimensionamiento de Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica.

Para realizar un dimensionamiento adecuado del sistema híbrido de baja potencia es fundamental llevar a cabo una identificación y caracterización de los equipos existentes en el Laboratorio AT 205. Esto permite realizar una selección adecuada de los recursos disponibles y poder calcular la cantidad de equipos a instalar, teniendo en cuenta las potencias de los componentes existentes.

2.4.1. Cuantificación de Componentes existentes.

El dimensionamiento se llevó a cabo con los equipos caracterizados y materiales existentes en el laboratorio de uso racional de la energía y energías renovables (AT205) del Edificio de Alta Tensión. La cantidad y condiciones de cada equipo se listan en la Tabla 4.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Tabla 4.

Cuantificación de componentes

Equipos, materiales y accesorios	Cantidad	Condición del equipo o material
Paneles fotovoltaicos	Dos	Buenas condiciones
Inversor multifuncional	Uno	Buenas condiciones
Baterías de gel SEC	Dos	Aceptables
Cable encauchetado	Veinte metros	Buenas condiciones
Grupo electrógeno	Uno	Malas condiciones
Baterías de gel Max Power	Dos	Buenas condiciones

2.5. Análisis de Compatibilidad entre Componentes del Sistema.

Una fase esencial en la implementación de un sistema híbrido de generación eléctrica es la caracterización de sus componentes, la cual se inicia tras la recopilación de información detallada de las fichas técnicas de los equipos existentes, las cuales se pueden observar en el Apéndice B, Hoja G. El objetivo principal de esta etapa es verificar que cada uno de los elementos que conforman el sistema híbrido posee la capacidad y se encontrará dentro de los rangos de operación adecuados, para garantizar su correcta compatibilidad.

2.5.1. Compatibilidad entre los paneles solares, baterías, grupo electrógeno con el inversor multifuncional.

Luego de realizar la recopilación de la información de los componentes, se realizó el análisis de los datos de las fichas técnicas de cada uno de los equipos y se comprobó la correcta compatibilidad, ver Apéndice B, Hoja G.

El análisis de estos datos se puede apreciar en la Tabla 5.

Tabla 5.

Compatibilidad entre elementos existentes

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Compatibilidad entre los Paneles Solares y el Inversor Multifuncional				
Parámetro 1	(Voc) del panel	Max tensión de circuito abierto del inversor	Unidades	Cumple
	48.71	75	VDC	Si
Parámetro 2	(Voc) del panel	Tensión de las baterías	Unidades	Cumple
	48.71	12	VDC	Si
Parámetro 3	(Vmp) del panel	Rango de tensión del arreglo PV	Unidades	Cumple
	40.03	30-75	VDC	Si
Compatibilidad entre las Baterías y el Inversor Multifuncional				
Parámetros del inversor multifuncional		Parámetros de las baterías		Cumple
Entrada nominal DC	24 VDC	Tensión nominal	12 V	Si
Corriente de carga	40 A	Corriente de carga máxima	40 A	Si
Compatibilidad entre el Grupo electrógeno y el Inversor Multifuncional				
Entrada AC del Inversor		Características del Generador		Cumple
Forma de onda de tensión de entrada	Onda senoidal	Potencia Máxima	1.60 kVA	Si
Tensión nominal de entrada AC	110 V / 220 V	Tensión	120 VAC	
Máx tensión AC de entrada	150 V / 250 V	Frecuencia	60 Hz	
Frecuencia nominal	60 Hz / 50 Hz	Fases	Monofásico	
Fases	Monofásico			
Encendido	Manual			

2.6. Modelado y Simulación en Software Homer Pro.

El software Homer Pro es una herramienta muy útil a la hora de diseñar proyectos que incorporan energías renovables como sistemas fotovoltaicos, microrredes y sistemas híbridos. Esta herramienta permite realizar simulaciones de estos sistemas incorporando diferentes fuentes de generación de energía eléctrica encaminadas a satisfacer de manera adecuada la curva de demanda energética de sectores residenciales, comerciales e industriales. Al realizar estas

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

simulaciones el software permite conocer la solución más óptima y eficiente al momento de integrar múltiples soluciones de generación y calcular la viabilidad financiera de cada propuesta.

2.6.1. Ubicación del Proyecto y Datos Climáticos Suministrados por el Software Homer Pro.

Es importante seleccionar la correcta ubicación del lugar donde se realizará el proyecto, los parámetros de latitud y longitud me permite descargar los datos climáticos como radiación solar, la velocidad del viento y la temperatura del lugar, mediante la base de datos “*NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (Power)*”. En la Figura 12 se observa la ubicación correcta del proyecto en el software.

Figura 12.

Ubicación de la instalación fotovoltaica mediante el software Homer Pro.



2.6.2. Disponibilidad de Recursos Energéticos.

En todo proyecto de generación de energía eléctrica es importante realizar un estudio de los recursos energéticos disponibles en la zona. Con base a los datos obtenidos, se plantean las

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

posibles fuentes de generación de energía que logren satisfacer la demanda de energía de manera eficiente. Con los recursos energéticos disponibles se puede determinar la producción y el tiempo de operación de las fuentes que integran el sistema de generación de energía.

Para el pequeño sistema híbrido de generación a implementar en el Laboratorio, la energía solar será la principal fuente de generación, por lo cual el software Homer Pro determina un análisis del potencial solar el cual se puede observar en la Tabla 6 y Figura 13, y el perfil de temperatura en la Tabla 7 y Figura 14.

Tabla 6.

Irradiación solar media mensual y anual en Bucaramanga.

Mes	Clearness index	Irradiación diaria (kWh/m²/día)
Enero	0,577	5,340
Febrero	0,543	5,340
Marzo	0,510	5,280
Abril	0,474	4,960
Mayo	0,490	5,010
Junio	0,515	5,160
Julio	0,552	5,570
Agosto	0,539	5,550
Septiembre	0,511	5,270
Octubre	0,484	4,800
Noviembre	0,506	4,720
Diciembre	0,539	4,860
Irradiación diaria promedio anual (kWh/m²/día):		5,160

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Figura 13.

Potencial de generación por irradiación diaria promedio anual.

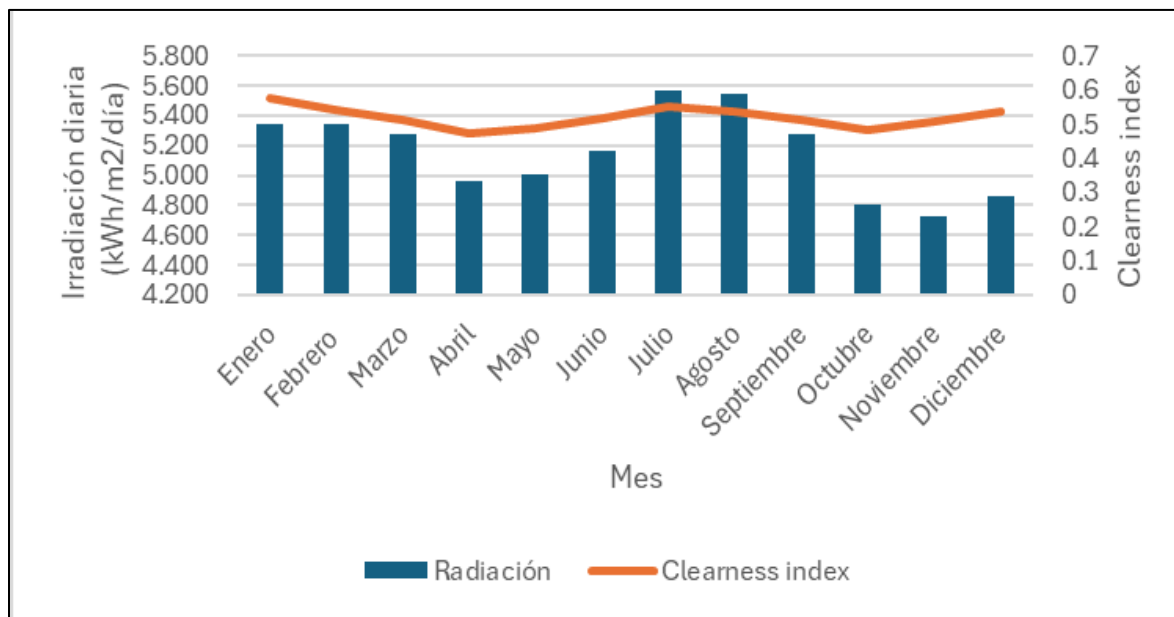


Tabla 7.

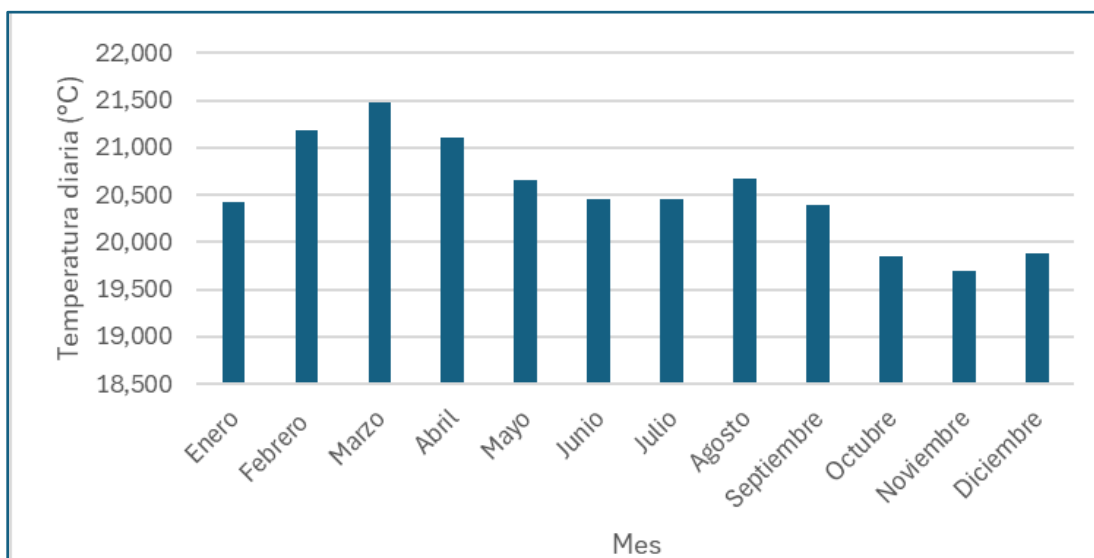
Temperatura promedio mensual.

Mes	Temperatura diaria (°C)
Enero	20,420
Febrero	21,190
Marzo	21,480
Abril	21,110
Mayo	20,660
Junio	20,460
Julio	20,450
Agosto	20,670
Septiembre	20,400
Octubre	19,850
Noviembre	19,690
Diciembre	19,880
Temperatura media anual: 20,52 °C	

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Figura 14.

Perfil de temperatura promedio mensual y anual.



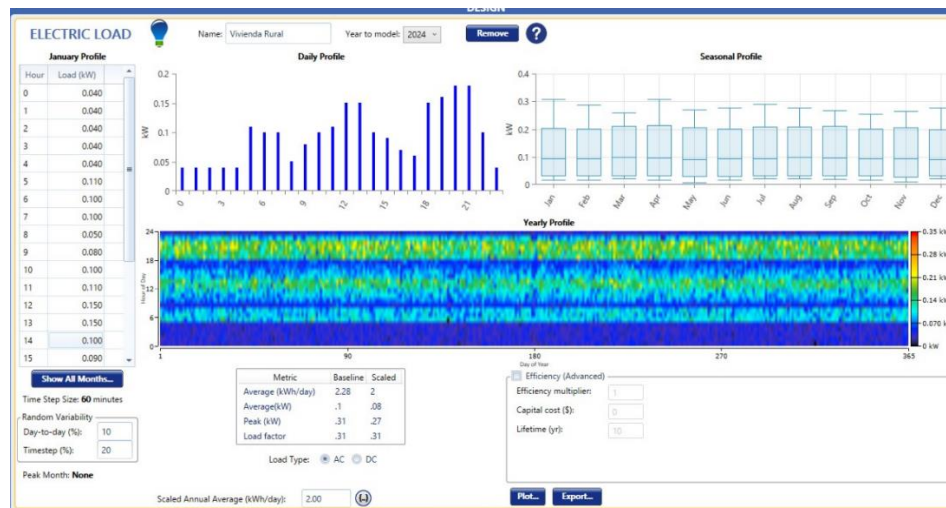
2.6.3. Curva de Demanda en el Software Homer Pro.

Una de las posibilidades que ofrece el software es la de modelar la curva de demanda elaborada por la UPME la cual se mencionó anteriormente, además proporciona un mapa de calor de la potencia de la carga durante las veinticuatro horas del día los treientos sesenta y cinco días del año. también permite ingresar el consumo promedio por día el cual para la simulación es de 2 kWh/día, posteriormente Homer calcula el valor de potencia pico el cual es de 270 W como se evidencia en la Figura 15.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Figura 15.

Curva de Demanda Diaria Elaborada en el Software Homer Pro.

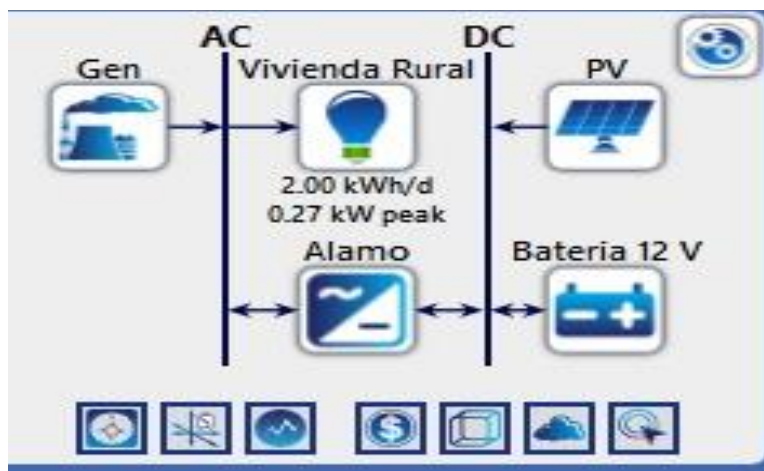


2.6.4. Diagrama Esquemático del Sistema

Una vez definida la carga se procede a integrar las alternativas de generación de energía de acuerdo con los recursos energéticos disponibles en la zona. Este proyecto busca suplir la demanda mediante generación fotovoltaica, banco de baterías y un generador a gasolina como se observa en la Figura 16.

Figura 16.

Flujo de Energía Elaborado en Software Homer Pro.



SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

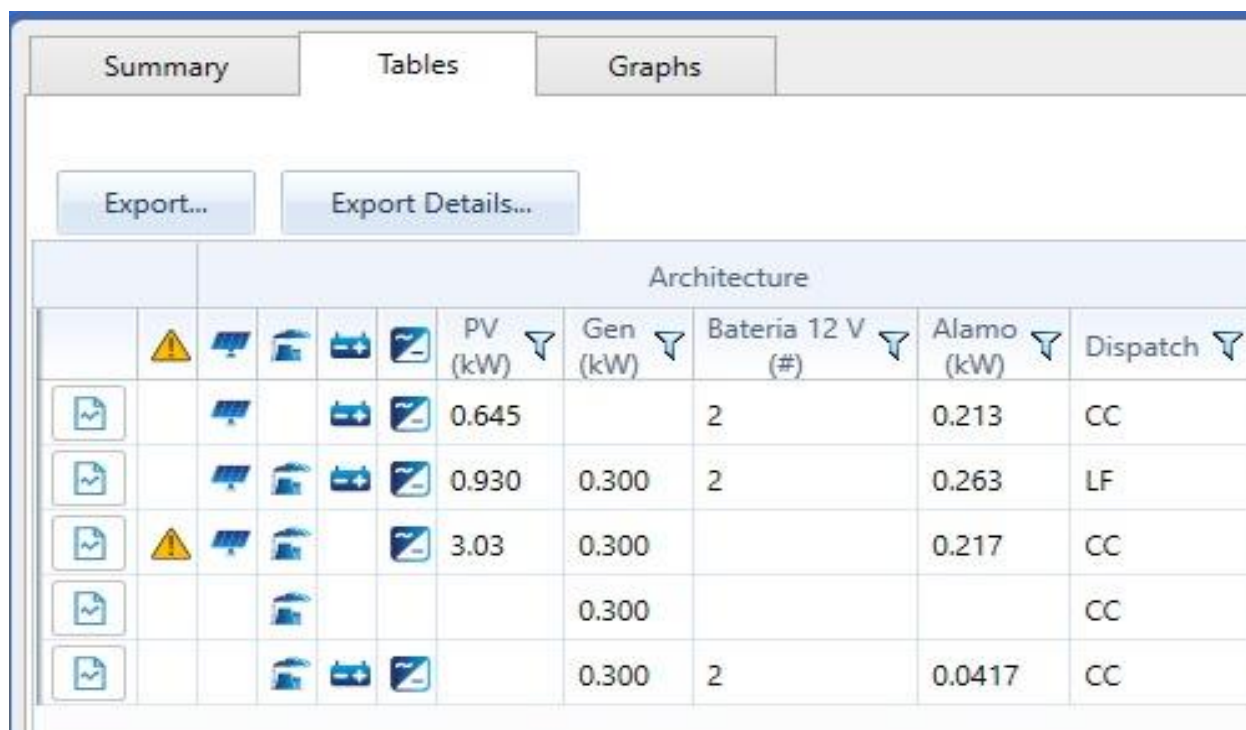
En la Apéndice B, Hoja N, se muestran los parámetros de configuración de las fuentes de energía y equipos que conforman el sistema.







2.6.5. Resultados de la optimización en Homer pro.

El software luego de configurados los parámetros de las fuentes que conformaran el sistema hibrido de generación utiliza algoritmos de optimización para encontrar la combinación óptima de fuentes de energía y componentes del sistema para satisfacer la curva de demanda propuesta, teniendo en cuenta factores como el costo, la confiabilidad y el impacto ambiental. En la Figura 17 se observan las múltiples soluciones propuestas.

Figura 17.

Propuestas Mediante Software Homer Pro para Demanda de Carga Especifica.



		Architecture				
		PV (kW)	Gen (kW)	Bateria 12 V (#)	Alamo (kW)	Dispatch
		0.645		2	0.213	CC
		0.930	0.300	2	0.263	LF
		3.03	0.300		0.217	CC
			0.300			CC
			0.300	2	0.0417	CC

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Según la Figura 17, la combinación óptima para atender la curva de demanda propuesta para una vivienda rural es optar por un sistema fotovoltaico con una potencia de 645 W, dos baterías de 12 V con una capacidad de corriente de 194 Ah, y un inversor con una potencia de 213 W.

Otro parámetro importante es el tipo de despacho que en la Figura 17 se abrevia como “CC” o “LF” este modo de despacho tiene relación con la carga de las baterías.

Carga cíclica “CC”: El modo de carga cíclica prioriza la carga de las baterías cuando los generadores están en pleno funcionamiento y hay excedente de energía disponible.

Seguir la carga “LF” *load following*: La estrategia de seguimiento de la carga, cuando se necesita un generador, produce solo la energía suficiente para satisfacer la demanda. El seguimiento de la carga tiende a ser óptimo en sistemas con mucha energía renovable que a veces excede la carga. Permitiendo el apagado del generador para el ahorro de combustible y mejorar los costos. Este tipo de despacho se presenta en la solución número dos la cual está conformado por un generador, sistema fotovoltaico, banco de baterías e inversor.

También es importante analizar los costos que representara la implementa de este proyecto. para ello Homer nos brinda información como el costo presente neto (*NPC*), el costo del kWh para cada solución (*LCOE*), el costo de operación anual, los costos de inversión inicial (*CAPEX*) y el costo del combustible al año en el caso de contar con un generador (*Fuel cost*), los cuales se observan la Figura 18.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Figura 18.

Propuestas Mediante Software Homer Pro para Demanda de Carga Específica.

Optimization Results
Double click on a system to see its Simulation Data

Architecture								Cost				
		PV (kW)	Gen (kW)	Bateria 12 V (#)	Alamo (kW)	Dispatch	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Fuel cost (\$/yr)	
		0.645		2	0.213	CC	\$29.5M	\$2,631	\$1.58M	\$4.29M	\$0.00	
		0.930	0.300	2	0.263	LF	\$31.3M	\$2,693	\$1.64M	\$5.15M	\$11,035	
		3.03	0.300		0.217	CC	\$53.5M	\$4,612	\$3.04M	\$5.23M	\$908,843	
			0.300			CC	\$68.0M	\$5,859	\$4.25M	\$360,000	\$1.43M	
			0.300	2	0.0417	CC	\$84.0M	\$7,234	\$5.07M	\$3.42M	\$1.24M	

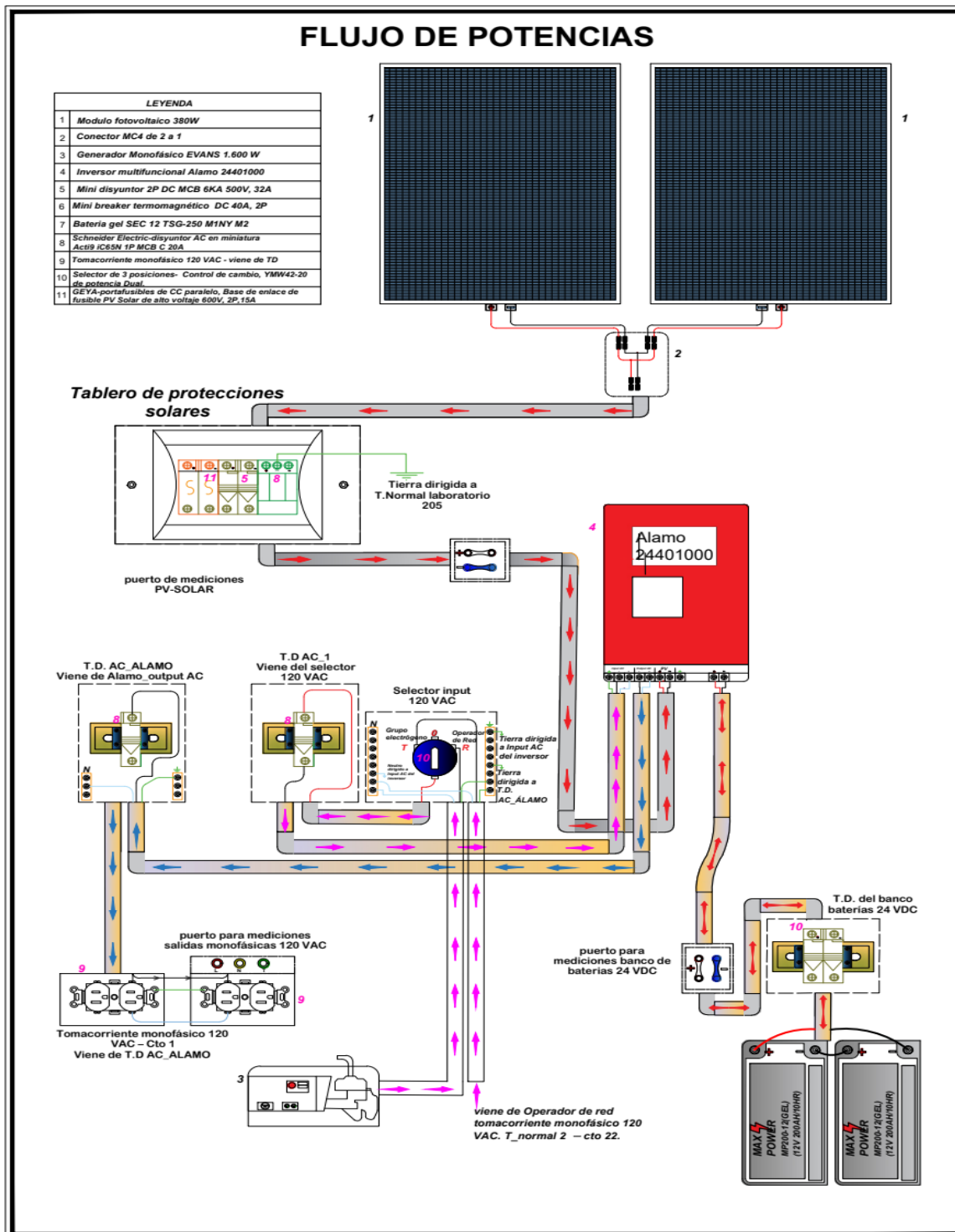
2.7. Diseño de la Instalación del módulo de prácticas en AutoCAD

Mediante el software AutoCAD se realizan planos con los detalles de la instalación, diagrama de flujo de potencias, diagrama de conexiones, diagrama unifilar, como se evidencian en las figuras 19, 20 y 21 respectivamente, estos diagramas los puede encontrar al detalle en el Apéndice F, estos planos dan una vista de cómo quedó implementado el módulo de prácticas, la posición de los diferentes componentes del sistema, calibres de conductores, protecciones eléctricas entre otros aspectos.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Figura 19.

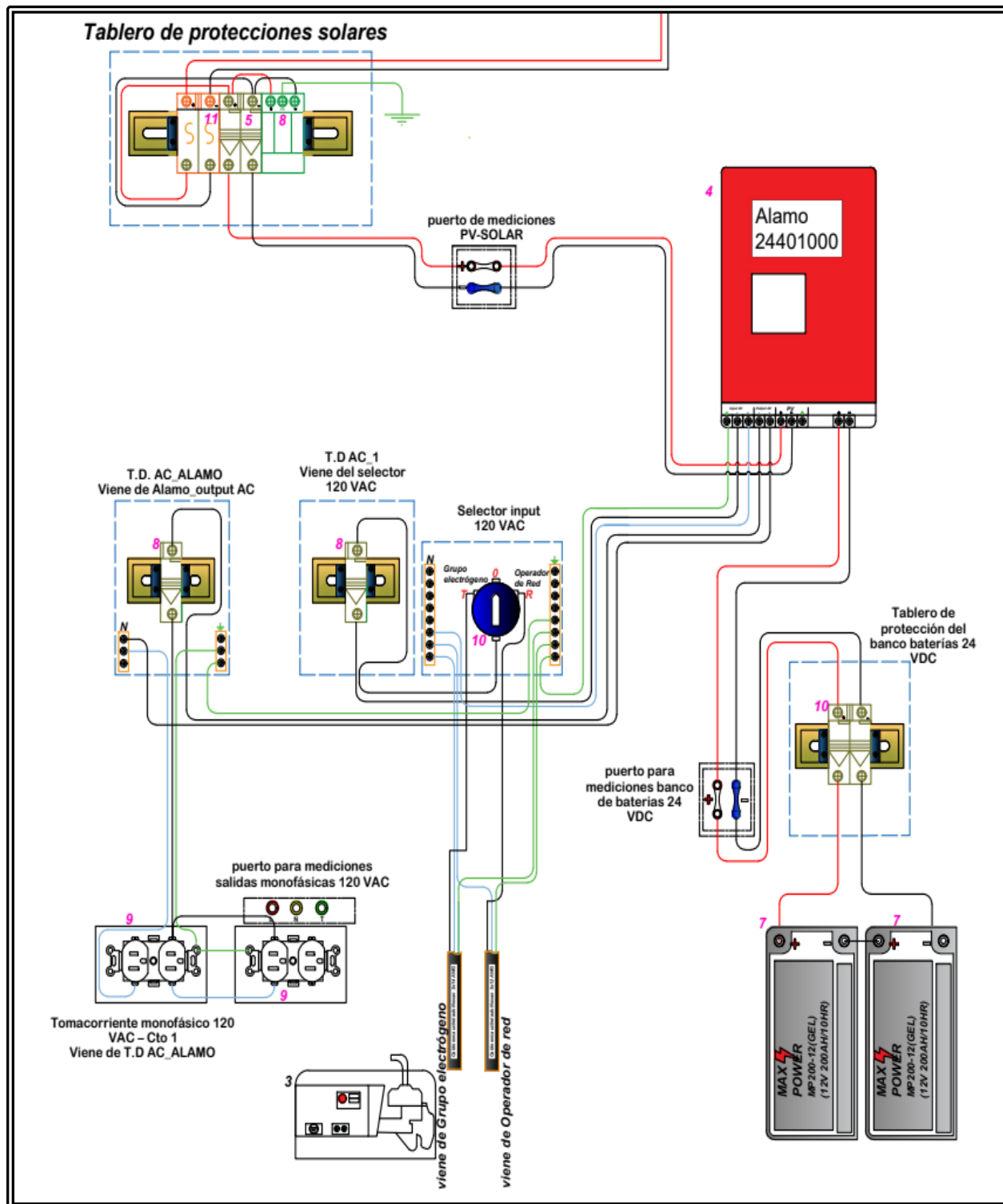
Diagrama de Flujo de Potencias del Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica.



SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Figura 20.

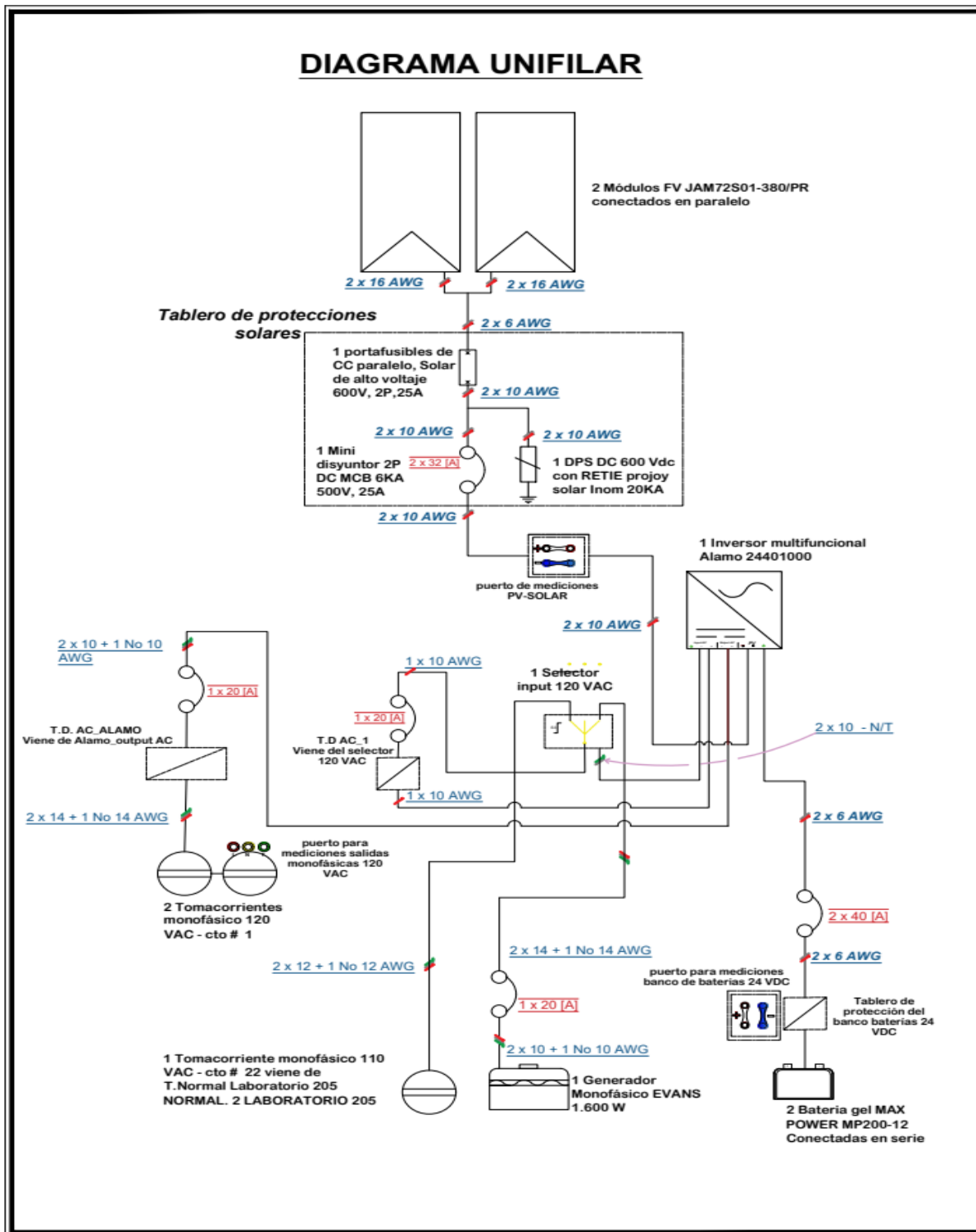
Diagrama de conexiones del Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica.



SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Figura 21.

Diagrama Unifilar del Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica.



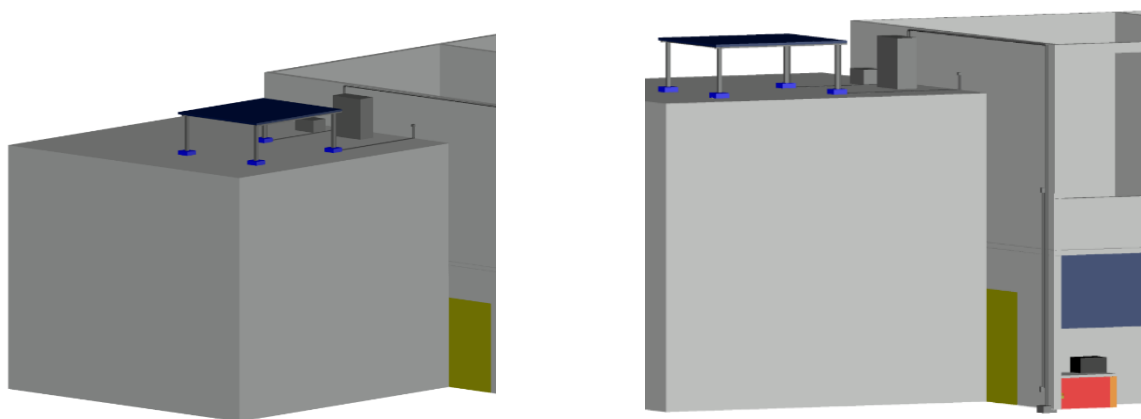
SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

2.8. Diseño de la estructura e instalación de módulos FV en terraza y ubicación del grupo electrógeno.

Se realiza el diseño de la instalación de los paneles PV en conjunto y el de la caseta donde se instalará en grupo electrógeno mediante el software AutoCAD en su modelado 3D como se evidencia en la Figura 22.

Figura 22.

Diseño de la Estructura de los Paneles PV y Ubicación del Grupo Electrógeno.



2.9. Estudio de Sombras Mediante PV-SOL

Mediante el software PV-SOL se realizó el estudio de sombras con el objetivo de determinar si el lugar donde se pretenden instalar los módulos PV se ve afectado por sombras de los diferentes elementos adyacentes, debido a trayectorias del sol en los diferentes meses del año. La Figura 23 muestra el levantamiento realizado mediante software PV-SOL y los porcentajes de sombras que equivalen al 0,2% y 0,1% respectivamente, para cada uno de los módulos. En el Apéndice G presente en este documento se encuentran las Figuras extraídas del software del caso estudio.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Figura 23.

Levantamiento Estructural para Estudio de Sombras Mediante PV-SOL



2.9.1. Datos climáticos e irradiancia para las coordenadas específicas del montaje.

En el software, se incorporarán las coordenadas de latitud y longitud, se descarga datos de irradiancia promedio total anual, directa y difusa. Estos parámetros inciden en la ubicación y se localizan mediante código postal, forma en la cual el software determina estos parámetros, como se evidencia en las figuras 24 y 25.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Figura 24.

Datos climáticos e irradiancia para las coordenadas específicas del montaje.

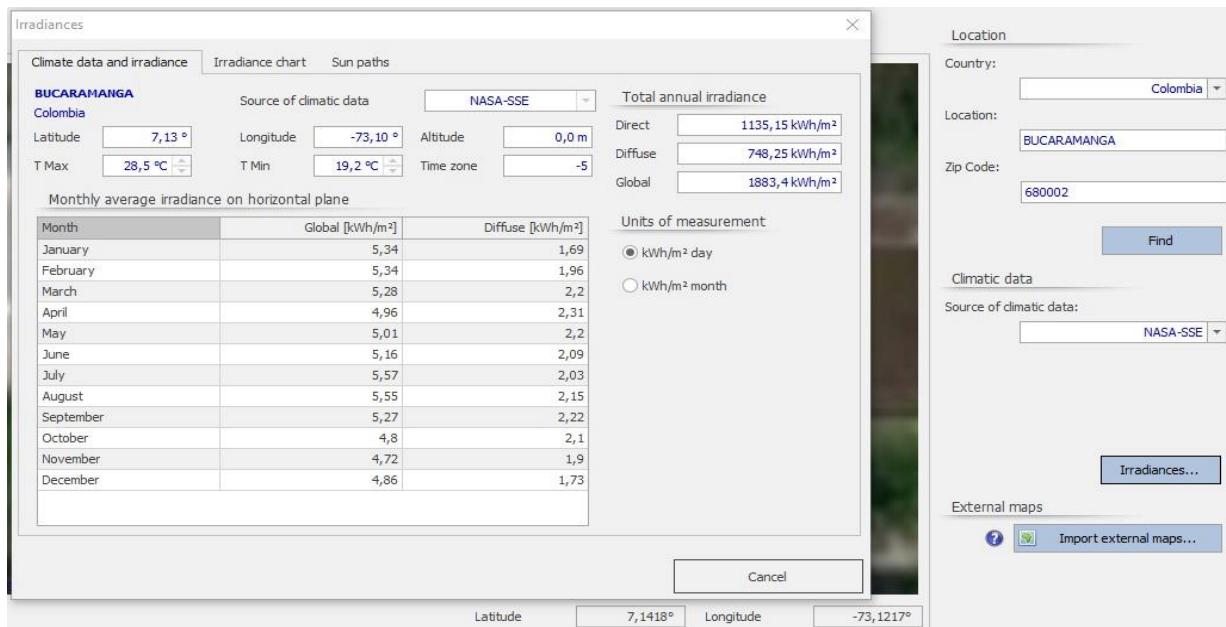


Figura 25.

Perfil de Irradiancia.



SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

3. Implementación de la Arquitectura del Módulo de Generación Híbrida de Baja Potencia en el Laboratorio AT205

Luego de realizar el dimensionamiento y diseño del sistema híbrido de generación de energía eléctrica siguiendo las normativas, condiciones de seguridad y practicidad, Se procede a realizar la planificación de factores como el presupuesto disponible, equipo de trabajo, comunicación, herramientas entre otros, que permitan asegurar una ejecución de forma exitosa y segura.

Con base a esto, se realiza la implementación del sistema híbrido de generación de energía eléctrica en el Laboratorio AT_205. Toda la evidencia fotográfica de aspectos generales de la implementación del sistema se puede ver en el Apéndice I. Además, se realiza un cálculo el costo total del proyecto el cual se puede evidenciar en el Apéndice J.

3.1. Instalación de estructura soporte para Paneles Solares JA SOLAR380W.

La instalación de la estructura se hace en terraza, mediante estructura en aluminio modular cuadrada de 4cm x 4cm ranurado, anclada mediante pilones de concreto de 30 cm³ con brazo embebido para anclaje. El diseño de la estructura además de soportar los paneles solares busca no afectar la impermeabilidad de la placa del Laboratorio AT205.

3.2. Instalación de paneles fotovoltaicos JA solar380W y conexionado.

Para el montaje de la estructura se procede a la instalación de los paneles fotovoltaicos y sujeción de estos mediante platina tipo “L” ranurada, se asegura a los paneles mediante tornillería de 3/8” x 4” como se evidencia en la Figura 26, quedando fijamente los paneles a estructura y abarcando un área total de paneles y estructura de 3.75 m², aproximadamente.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

El conexionado de estos dos módulos fotovoltaicos se realiza en paralelo mediante conector MC4 (2 a 1), paso posterior sus terminales son conectados a cable No 6 tipo solar en sus respectivos colores rojo (+) y negro (-). Estos corresponden a la acometida parcial, esta acometida es dirigida mediante coraza flexible tipo metálica hasta el interior del Laboratorio AT205 y, posteriormente, conectada en tablero de distribución rotulado como tablero de protecciones solares. Es importante mencionar que tanto para el diseño como para la implementación no se proyectaron e instalaron cajas de protecciones en terraza debido al difícil acceso a terraza, dado el caso de alguna eventualidad no se tendría acceso a plataforma y el sistema quedaría inhabilitado.

Para la instalación tanto de paneles PV, estructura y estación meteorológica, fue necesario armar torre de andamios certificados tipo fijo de 5 secciones con plataformas y escaleras de acceso, este fue el medio de acceso a terraza donde quedaron finalmente instalados los módulos fotovoltaicos. Como se observa en las Figuras 26.

Figura 26.

Módulos y estación meteorológica instalados en terraza del Laboratorio de Alta Tensión



SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.



3.3. Instalación del Módulo de Prácticas al Interior del laboratorio AT_205.

En la etapa de diseño se estableció los componentes de la instalación y cantidades, en esta etapa de instalación se realiza la ejecución y armado de todos y cada uno de los diferentes componentes del sistema integrado, vistos en los planos presentes en el esquema de conexión del Apéndice F. La Figura 27 muestra como quedó implementado el sistema al interior del Laboratorio AT205.

Figura 27.

Módulo de Prácticas Instalado al Interior del Laboratorio AT205

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.



3.4. Instalación de Acometida Parcial PV SOLAR hasta Inversor Álamo 2440100.

La acometida parcial de paneles PV llega al tablero de distribución señalado como “*Tablero de protecciones eléctricas solares*”, en este tablero se encuentran tres (3) elementos de protección solar, un portafusibles de 2 polos, un disyuntor de 25 A, y un DPS. Aguas abajo de este tablero continúa por canaleta la acometida que se dirige al puerto de mediciones de PV solar, la cual tiene dos puentes conectores para cada polo, continúa la acometida hacia el inversor Álamo de referencia IM2440100 al cual se conecta en *PV (+)* y *PV (-)*.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

3.5. Alimentación Eléctrica del Inversor Álamo 24401000

La alimentación del inversor se hace mediante un banco de baterías de 24 VDC, este consiste en dos baterías de 12V y 200Ah conectadas en serie. La acometida de alimentación del inversor proviene del banco de baterías y está cableada con calibre No 6 AWG multifilamento. La alimentación ingresa a un tablero de distribución etiquetado como tablero de protección del banco de baterías 24VDC. En este tablero, encontramos una protección termomagnética de 40A. Aguas debajo de esta protección conectamos la acometida y aguas arriba de esta protección se dirige acometida hacia el puerto de mediciones del banco de baterías 24VDC, del puerto de mediciones continúa hacia el inversor en el puerto llamado “*EXT BATTERY +24VDC-*”.

3.6. Entradas Monofásicas 120 VAC al Inversor ÁLAMO 2440100

El inversor tiene un puerto de entrada monofásica 120 VAC que lo constituye una fase, un neutro y una tierra. Esta entrada tiene dos modos de operación los cuales se controlan mediante un selector de fase el cual posibilita operar en 4 posiciones, la posición “R” indica operador de red, la posición “T” indica grupo electrógeno y las posiciones “S” y “0” no están conectadas lo que indica que si están en esta posición no hay entrada al inversor de ninguna índole, las fases de llegada tanto del grupo electrógeno como del operador de red hacen la conmutación en el selector y de este se dirigen al tablero llamado “*TD_ACI*”, allí pasa por una protección termomagnética de 20 A aguas arriba; aguas abajo sale la fase hacia el inversor, el neutro y tierra son nodos comunes entre grupo electrógeno, operador de red e inversor respectivamente.

3.7. Salida Monofásica del Inversor ÁLAMO 2440100

El inversor tiene un puerto de salida monofásica de 120 VAC, lo constituye una fase y un neutro. Esta salida va dirigida hacia un tablero de protecciones llamado “*TD_AC_ÁLAMO*” en el

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

cual se encuentra la protección termomagnética AC de 20 A de los dos tomacorrientes monofásicas 120 VAC, en paralelo a el último tomacorriente del circuito se encuentra conectado el puerto de mediciones de salidas monofásicas 120 VAC. Todos los detalles como protecciones eléctricas, conductores eléctricos mencionados en la Sección 2.3 están relacionados al detalle en el Apéndice B, (hojas B y E) y, además todo el detalle de conexionado y disposición de elementos para la instalación están relacionados en el Apéndice F.

3.8. Instalación del Grupo Electrónico Evans 1600W

La instalación e integración del grupo electrógeno al sistema no se llevó a cabo por mala calidad en la onda de tensión del grupo electrógeno, la cual provoca una inestabilidad en la frecuencia de este. Sin embargo, se realiza la instalación de su acometida con una longitud aproximada de 8 metros en ducto IMC de ½” y conductor encauchetado 3x14 AWG, la cual va dirigida desde la parte posterior, zona baja del Edificio de Alta Tensión hasta el selector *input 120 VAC* señalado en el módulo de prácticas ubicado en el interior del laboratorio.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

4. Evaluación del Desempeño del Sistema Híbrido de Generación.

Posterior al diseño e implementación del sistema híbrido de generación, es importante verificar y evaluar el funcionamiento de cada uno de los elementos que conforman el sistema. Para ello, se ubican medidores DC de medida referencia PWRcheck en los puestos de medición PVsolar y puertos de medición banco de baterías 24 VDC, además se instala el registrador Fluke 1730 en el puerto de mediciones salidas 120 VAC. En estos puntos se realizó la medición con el fin de recolectar datos de variables como tensión, corriente y potencia. Con los datos obtenidos, se puede evaluar cómo el sistema realiza el control y despacho de potencia de manera eficiente.

4.1. Despacho de potencia del sistema ante la curva de demanda propuesta.

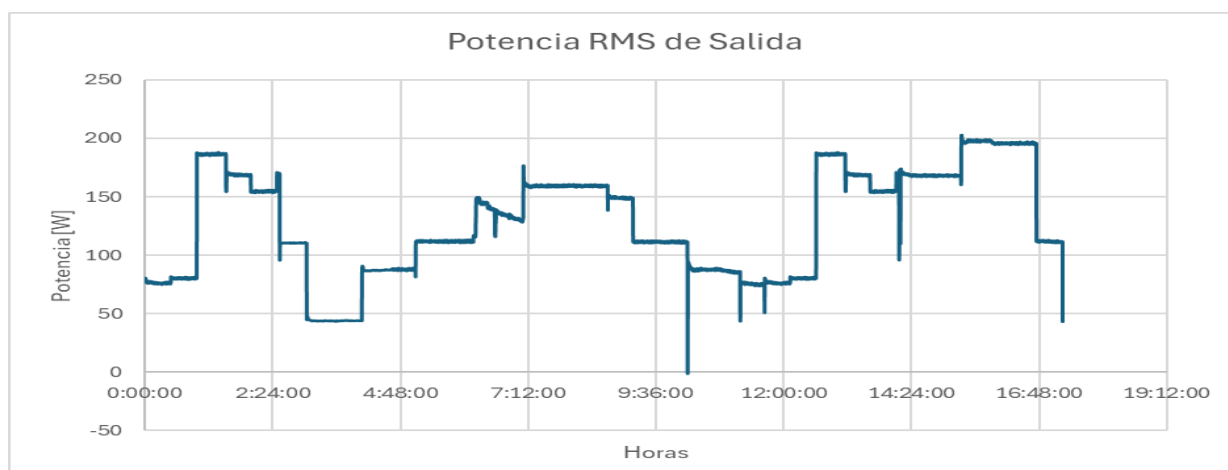
La monitorización del flujo de potencia del sistema híbrido se llevó a cabo ante los escenarios de la curva de demanda propuesta.

Este análisis se tomó para un día donde la irradiancia solar vario intensamente por la alta nubosidad, permitiendo evaluar la continuidad del servicio de energía eléctrica ante condiciones desfavorables. En la Figura 27 se puede observar la curva de demanda energética consumida por las cargas, la cual se obtuvo con el registrador Fluke-1730 recolectando datos cada 10 segundos y con ayuda de la estación meteorológica se monitorizó la radiación durante el día.

Figura 27.

Curva de demanda energética consumida por las cargas

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

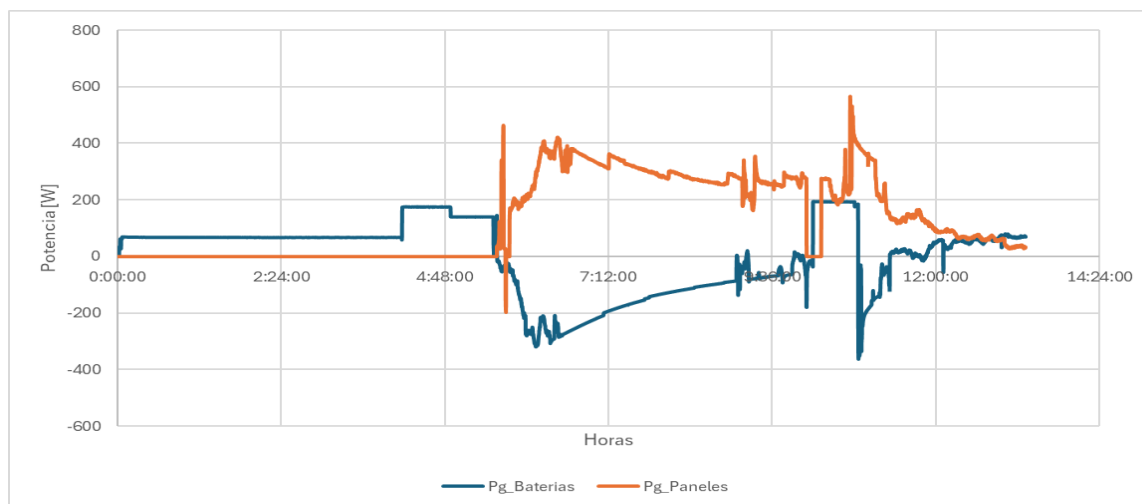


Posteriormente, se obtuvo la curva de potencia entregada por los paneles solares y el banco de baterías, ver Figura 28, con la cual se puede analizar el control y despacho de potencia por parte del inversor multifuncional obteniendo escenarios tales como:

- Sistema fotovoltaico y el banco de baterías atienden la carga de forma satisfactoria sin depender del operador de red o grupo electrógeno.
- Únicamente el banco de baterías atiende la carga
- Paneles PV atienden la carga y los excedentes de energía cargan las baterías.

Figura 28.

Curva de flujo de potencia suministrada por los paneles solares y banco de baterías.



SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

5. Manual de Prácticas.

Este capítulo presenta una serie de actividades de componente práctico, las cuales le permitirán al estudiante interactuar con el módulo de generación híbrida de energía eléctrica. La finalidad de la componente práctica es que el estudiante tenga una experiencia con componentes comerciales usados en sistemas híbridos de generación de energía eléctrica, la manera en que se puede alternar la generación de energía eléctrica y que visualice un modelo de negocio en su etapa profesional (si es de su agrado).

Recordar siempre abordar cada práctica de manera responsable, segura y clara para poder desarrollarla de manera confiable y sin riesgos de accidentes.

Las guías prácticas relacionadas en los subcapítulos 5.1 hasta 5.6 se encontrarán en el Apéndice H presente en este documento.

5.1. Práctica Introductoria

La práctica introductoria consiste en adquirir el conocimiento de las reglas de oro para labores donde se intervienen actividades ejecutables de tipo eléctrico. Todo personal, sea técnico, tecnólogo e ingeniero, debe conocer los riesgos que implica la intervención y operación de circuitos eléctricos sean en corriente alterna o en corriente directa; especialmente los que se encuentran energizados, es por ello que la práctica introductoria le permite conocer los pasos que se deben aplicar en actividades de tipo eléctrico e interiorizarlas como reglas de oro.

5.2. Práctica A. Reconocimiento e Identificación de Equipos y Dispositivos del Módulo de Entrenamiento

La práctica A le permite al estudiante reconocer cada elemento que comprende el sistema, adquirir el conocimiento de cómo interviene cada elemento y qué función cumple dentro del sistema, puede que algunos dispositivos tengan apariencia física similar, pero tienen un uso

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

final distinto, para ello es esencial leer la hoja de datos, fichas técnicas y manual de usuario de equipos.

5.3. Práctica B. Construcción de Curvas Características de Corriente vs Tensión (I vs V) y Potencia vs Tensión (P vs V) a Diferentes valores de Irradiancia

Esta práctica busca que el estudiante realice las curvas características de (I vs V) y (P vs V) mediante los parámetros tomados de irradiancia, corriente de cortocircuito, tensión de vacío. Ahora bien, de los datos obtenidos de tensión y corriente adquiera los valores de potencia máxima y finalmente halle las eficiencias del sistema de paneles PV integrados (recordar que están conectados en paralelo) para los diferentes valores de irradiancia.

5.4. Práctica C. Análisis de Formas de Onda de las Señales de Tensión y Corriente de Luminarias Incandescente, CFL y LED

Esta práctica esta enfoca al análisis de calidad de la energía eléctrica, donde busca que el estudiante se familiarice con nuevos equipos de medición de parámetros eléctricos como el analizador de redes PQube3, el cual permite realizar el muestreo de las señales de tensión y corriente, en este caso para tres tipos de luminarias y posteriormente analizar formas de ondas, distorsiones armónicas en tensión y corriente y factor de potencia.

5.5. Práctica D. Construcción de las Curvas de Carga y Descarga del Banco de Baterías para Comprobar su Estado

Durante la práctica, se configura el inversor multifuncional para gestionar adecuadamente el proceso de carga y descarga, tomando en cuenta los parámetros técnicos proporcionados por el fabricante de las baterías. Se realiza mediciones y se grafica los datos obtenidos para visualizar y entender las diferentes etapas de carga conocidas como bulk, absorción y flotación, así como para verificar la capacidad efectiva de las baterías.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

A través de esta actividad, los estudiantes adquirirán conocimientos prácticos esenciales sobre la gestión de baterías en sistemas híbridos, además de habilidades en la configuración y monitoreo de equipos de almacenamiento de energía.

5.6. Práctica E. Evaluación del desempeño del sistema híbrido de generación para escenarios de demanda propuestos.

La práctica consiste en monitorear como el inversor multifuncional realiza el despacho de potencia de las fuentes de generación de energía eléctrica y el banco de baterías ante diferentes escenarios de carga, esto se hace mediante los dispositivos de medida como lo son el PWRcheck, el registrador Fluke 1730, con el fin de adquisición de datos y posterior realizar la construcción de graficas de flujos de potencia.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

6. Conclusiones

Se logró diseñar e implementar un sistema híbrido de generación de energía eléctrica, como módulo de prácticas para el Laboratorio de uso racional de la energía y energías renovables (AT205), en el cual se consiguió integrar de manera correcta los paneles PV y el banco de baterías al inversor multifuncional, por otro lado, se pudo comprobar que no es posible integrar el grupo electrógeno de respaldo al sistema, por lo cual como una mejora para el sistema es necesario adquirir un nuevo grupo electrógeno de ser posible con encendido automático para lograr hacer su arranque mediante el inversor multifuncional.

Frente a proponer el sistema híbrido de generación como una solución óptima al desafío del suministro eléctrico en Colombia, especialmente en las Zonas No Interconectadas (ZNI), se pudo comprobar que únicamente con el arreglo de paneles PV con una capacidad de 760 W y el banco de baterías conformado por dos baterías de 12V con capacidad de 200 Ah, producen y almacenan la energía necesaria para atender la curva de demanda diaria para una vivienda rural con un consumo aproximado de 2 kWh/día.

La construcción del módulo híbrido de generación deja en evidencia que los equipos implementados no cuentan con tecnología de última generación, como es el caso del inversor multifuncional, por lo cual, no se puede hacer extracción de datos mediante su puerto de comunicaciones RS232 y analizar el comportamiento de las diferentes variables.

Otro caso es el de las baterías, revisando catálogos se encuentran que existen baterías que se pueden monitorear mediante IoT, escaneo de QR mediante aplicativo se puede monitorear su estado.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

La ausencia de tecnología, que permite el monitoreo del sistema integrado, es la que, en sí, abre una gama de posibilidades para el desarrollo de prácticas.

Como criterio personal se aprende a utilizar diferentes equipos que se tienen en la escuela y no se les da la importancia a estos, en la etapa formativa del estudiante.

Como se pudo evidenciar con el PQube3 la señal de tensión de salida del inversor analizada no es 100% sinusoidal, de lo cual, se puede concluir dos cosas, uno, que no es de onda pura como se especifica en su ficha técnica y dos que el analizador esté un poco descalibrado.

Que la irradiancia es un valor que varía con el tiempo y es fundamental tener un seguimiento de los valores promedios registrados en el servidor principal del laboratorio AT205, adquiridos mediante la estación meteorológica, esto para la elaboración de curvas características de los módulos FV en su práctica correspondiente.

El proceso de diseño e implementación de sistemas híbridos de generación, requieren de flexibilidad y adaptabilidad para abordar los cambios y desafíos que surgen durante la etapa de ejecución. Y esto se contrasta, por supuesto con el presupuesto del proyecto.

El proyecto quedó muy bien implementado con lo estipulado según en el plan de trabajo, es un módulo al cual se le puede sacar mucho provecho en términos de enseñanza y aprendizaje ya que se pueden realizar prácticas que recopila lo estudiado en las asignaturas de generación de energía eléctrica, mediciones eléctricas y la asignatura electiva de fundamentos en la calidad de la energía.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

7. Recomendaciones

El módulo de generación híbrida es un montaje que tiene los requisitos para hacer cualquier tipo de práctica en el contexto de las asignaturas de mediciones eléctricas, generación de energía y calidad de la energía eléctrica, ahora bien, es importante tener en cuenta que estas actividades se deben hacer con la mayor seriedad y responsabilidad, adoptando la postura siempre del autocuidado, del cuidado de mis compañeros y de equipos e instalación en general.

Es indispensable leer los manuales de usuario, fichas técnicas de los equipos antes de operar alguno de ellos, entender muy bien que es lo que se está solicitando en cada una de las prácticas, por lo general estas prácticas se realizan con algún profesional laboratorista encargado de este módulo.

No haga uso del puerto RS232, puerto de comunicaciones del inversor multifuncional Álamo2440100, este no es puerto que esté habilitado para descarga de datos como se creería a simple vista, se averiguó con el proveedor de la marca autorizado y con personal de asistencia técnica de INTI, compañía responsable del inversor y los dos coincidieron en la respuesta, al inversor no hay forma de extraerle datos, la marca ya no está en el mercado y su tecnología está descontinuada.

Lo ya mencionado en este trabajo de grado referente al grupo electrógeno la recomendación es que se pueda adquirir otro de mejores características que se integre al sistema de generación híbrida sin que se caiga la frecuencia y sea sacado del sistema, recordemos que el que está actualmente el EVANS 1600 no cumplió con los requisitos de integración para generación de energía, sin embargo, recordemos también que esto lo emula el operador de red por lo que no es 100% relevante.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Otra recomendación muy importante es el tema de limpieza del laboratorio, todos los días se debe limpiar el módulo de prácticas debido a que le cae excremento de murciélago, el llamado es para que por favor realicen una limpieza y un sellado de posibles huecos entre el tejado y el cielo raso del laboratorio ATG205 para evitar el alojamiento de estos mamíferos.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Referencias Bibliográficas

- A. D. Alarcón, «¿CUÁL ES LA IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS HÍBRIDOS PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE? », Noviembre 2015.
- A. Castillo Ramírez, F. Villada Duque y J. A. Valencia Velásquez, «DISEÑO MULTIOBJETIVO DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-SOLAR CON BATERÍAS PARA ZONAS NO INTERCONECTADAS», Mayo 2013.
- Appa renovables, «HIBRIDACIÓN EN LA GENERACIÓN RENOVABLE», Abril 2021.
- (2020). Código Eléctrico Colombiano – NTC 2050. (Pág. Capítulo. Artículo. 770. 6.690)
- (2010). Código Eléctrico Colombiano – NTC 5513.
- E. E. F. Passo, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO SEDE RIOHACHA», Universidad Antonio Nariño, Riohacha 2021.
- J. Serván Sócola , «ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE BAJA POTENCIA EÓLICO SOLAR CONECTADO A LA RED», Piura, Perú, Febrero 2014.
- M. Him Díaz, «DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA [Caso de Boca de Lurá] », Panamá, 2013.
- M. Domínguez Domínguez, «ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS HÍBRIDOS», Febrero 2015.
- N. Gómez Garcés, «Gestión para el desarrollo y diseño de un sistema energético híbrido eólico-solar para aplicaciones en zona no interconectada (ZNI) de Colombia», Noviembre 2015.
- (2023). Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica – PIEC
- (2024). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE.

SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Apéndices



APÉNDICES.rar