



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN MEDIANTE EL
USO FOTOVOLTAICO ON GRID PARA EL LABORATORIO DE ALTO
VOLTAJE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en
Sistemas de Potencia

Autores:

Basurto Espinosa Jhonny Fernando

Mise Changoluisa Henry David

Tutor:

Ing. MSc. Castillo Fiallos Jessica Nataly

LATACUNGA - ECUADOR

Agosto 2021

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por haberme dado salud y la fortaleza necesaria para cumplir esta meta.

A mi madre que con su ejemplo, educación y amor incondicional supo guiarme por el camino correcto.

A mi tío Xavier Espinosa por motivarme a esforzarme, ayudarme y apoyarme en todo momento.

Un sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a la carrera de Ingeniería Eléctrica, a los docentes por los conocimientos que me han brindado.

Jhonny Basurto

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme y darme la sabiduría necesaria para cumplir la meta más importante de mi vida.

Un agradecimiento especial a mis padres, Julio Mise Cruz y María Dolores Changoluisa Riera, que con sus enseñanzas, cariño y comprensión incondicional me acompañaron en este largo camino.

A mis hermanos, Luis, Silvia, Marco, Juan y Elizabeth que con sus consejos y apoyo me permitieron alcanzar un logro más en mi vida.

A la Ing.Msc. Jessica Nataly Castillo Fiallos por su apoyo y colaboración al ser una guía en nuestro trabajo de titulación.

Henry David

DEDICATORIA

Dedico en especial a mi madre Viviana Espinosa ejemplo de esfuerzo y perseverancia siendo el pilar fundamental en mi vida, quien siempre me apoyo incondicionalmente en cada momento y con su cariño, confianza y crianza me ha guiado por un camino lleno de buenos principios y valores.

A mis abuelos, Otilia Diaz y Gonzalo Espinosa que en paz descansen, quienes no pudieron verme cumplir esta meta, pero mientras estaban conmigo con su apoyo y sabios consejos me guiaron y me permitieron seguir adelante en este largo camino.

Jhonny Basurto

DEDICATORIA

Es un orgullo dedicar este trabajo de titulación a las personas que son y serán las más importantes en mi vida mis padres, Julio Mise Cruz y María Dolores Changoluisa Riera, que pese a las adversidades siempre velaron por mi bienestar para ser una persona de bien con su cariño y amor incondicional.

Henry David

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1. EL PROBLEMA	3
2.1.1 Situación Problemática.....	3
2.1.2 Formulación del Problema	3
2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	3
2.3.1 Objeto de Estudio	3
2.3.2 Campo de Acción	3
2.4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	4
2.4.1 Beneficiarios directos	4
2.4.2 Beneficiarios indirectos	4
2.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	4
2.6. HIPÓTESIS	4
2.7. OBJETIVOS	5
2.7.1 Objetivo General	5
2.7.2 Objetivos Específicos	5
2.8. SISTEMA DE TAREAS	5
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
3.1 Energías Renovables	6
3.2 Energía Solar	7
3.2.1 Radiación Solar	7
3.2.2 Constante Solar	9
3.2.3 Hora Solar Pico	10

3.2.4 Declinación Solar.....	10
3.2.5 Coordenadas Solares.....	11
3.3 Energía Solar Fotovoltaica.....	12
3.3.1 Sistema Fotovoltaico.....	12
3.3.2 Panel Fotovoltaico.....	13
3.4 Sistema Fotovoltaico Conectado A La Red (SFCR).....	19
3.4.1 Esquema de Instalación.....	19
3.4.2 Metodología para el Dimensionamiento.....	20
3.5 LOGO! 12/24V RCE Siemens.....	28
3.6 Sensor de Temperatura.....	29
3.7 Sensor de Movimiento ST05C.....	30
4. MATERIALES Y METÓDOS.....	30
4.1 Tipos de Investigación.....	30
4.2 Métodos de Investigación.....	31
4.3 Técnicas de investigación.....	31
4.4 Instrumentos.....	31
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	32
5.1 Ubicación Geográfica Del Proyecto.....	32
5.2 Sistema Fotovoltaico Conectado A La Red.....	33
5.2.1 Consumo Energético.....	33
5.2.2 Recurso Solar Disponible.....	33
5.2.3 Dimensionamiento (SFCR).....	36
5.2.4 Inclinación y Orientación.....	45
5.2.5 Energía Anual Producida.....	47
5.2.6 Reducción de Emisiones de CO2 al Año.....	50
5.2.7 Implementación del Sistema Fotovoltaico.....	50
5.2.8 Monitoreo de los Parámetros del Sistema Fotovoltaico.....	51
5.3 Sistema de Ventilación.....	57
5.3.1 Ubicación del Sistema de Ventilación.....	58
5.3.2 Implementación del Sistema de Ventilación.....	58
5.4 Automatización del Sistema de Ventilación.....	60
5.4.1 Sensores del Sistema.....	60

5.4.2 Programación del LOGO! 12/24RCE.....	67
5.4.3 Diagrama de Conexión del Sistema Automatizado	70
5.4.4 Implementación del Sistema Automatizado	71
5.5 Presupuesto del Proyecto	72
5.6 Impactos	74
5.6.1 Impacto Tecnológico	74
5.6.2 Impacto Ambiental	74
5.6.3 Impacto Económico	74
6. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES	75
6.1 Conclusiones	75
6.2 Recomendaciones.....	75
7. BIBLIOGRAFÍA	76
8. ANEXOS	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación del Laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi .	33
Tabla 2. Estimación del Consumo de Energía del Sistema de Ventilación.....	33
Tabla 3. Radiación global promedio diaria sobre la Universidad Técnica de Cotopaxi.	34
Tabla 4. Características del panel fotovoltaico.....	36

Tabla 5. Características del inversor On Grid.	37
Tabla 6. Datos del arreglo fotovoltaico resultante.....	43
Tabla 7. Asociación recomendada para maximizar el rendimiento del inversor.....	44
Tabla 8. Verificación de parámetros del sistema fotovoltaico sugerido.....	45
Tabla 9. Energía diaria, mensual y anual generada por el sistema fotovoltaico.....	48
Tabla 10. Ahorro anual por concepto de energía facturada.....	49
Tabla 11. Promedio de datos entregados por el inversor.....	54
Tabla 12. Inicio de la generación de cada día de prueba.....	55
Tabla 13. Fin de la generación de cada día de prueba.....	55
Tabla 14. Promedio de datos entregados por el inversor durante las 5 horas planteadas.....	56
Tabla 15. Rangos del sensor de temperatura	60
Tabla 16. Gastos del sistema fotovoltaico.	72
Tabla 17. Gastos del sistema de ventilación.....	73
Tabla 18. Gastos de la conexión de los equipos.	73
Tabla 19. Inversión total.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tecnologías para aprovechar la energía del sol	7
Figura 2. Espectro fuera y dentro de la atmósfera.....	8
Figura 3. Relación entre la irradiancia y la irradiación	8
Figura 4. Radiación global (GHI).....	9
Figura 5. Determinación de la constante solar	10

Figura 6. Hora solar pico	10
Figura 7. Distintos valores de los ángulos de la declinación solar	11
Figura 8. Ángulos que definen la posición del Sol en cada instante	12
Figura 9. Sistema aislado (OFF GRID).....	12
Figura 10. Sistema conectado a la red (ON GRID).....	13
Figura 11. Celda, panel y arreglo fotovoltaicos.....	13
Figura 12. Partes de un panel fotovoltaicos.....	14
Figura 13. Funcionamiento de una célula fotovoltaica.....	14
Figura 14. a) Módulo monocristalino, b) Módulo policristalino c) Módulo amorfo.....	15
Figura 15. Característica I-V de una célula FV	15
Figura 16. Características I-V con irradiancia variable a una temperatura de 25°C	17
Figura 17. Características I-V, con temperatura variable a una irradiancia 1000 W/m ²	17
Figura 18. Comparación de las curvas características I-V para condiciones STC y NOCT	18
Figura 19. Sistema fotovoltaico conectado a la red.....	19
Figura 20. Esquema de instalación del μ SFV.....	20
Figura 21. Curva de demanda diaria.....	21
Figura 22. Estimación de Consumo para un hogar.....	22
Figura 23. Variables de entrada y salida para un inversor interconectado	23
Figura 24. Ángulo de inclinación (β) de un módulo fotovoltaico	28
Figura 25. LOGO! Siemens.....	29
Figura 26. Sensor de Temperatura.....	29
Figura 27. Sensor de Movimiento ST05C	30
Figura 28. Ubicación geográfica del Laboratorio de Alto Voltaje	32
Figura 29. Laboratorios de CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	32
Figura 30. Curva de la irradiación global promedio diaria.....	34
Figura 31. Datos de la irradiación global promedio diaria.	35
Figura 32. Irradiación global promedio diaria.....	35
Figura 33. Sistema fotovoltaico resultante.	42
Figura 34. Sur geográfico del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.....	46
Figura 35. Panel fotovoltaico orientado hacia el sur geográfico	46
Figura 36. Extracto del pliego tarifario 2020	48
Figura 37. Espacio disponible para la implementación del proyecto.	50

Figura 38. Paneles fotovoltaicos instalados en el techo del laboratorio de alto voltaje.	51
Figura 39. Inversor ON GRID Growatt de 2000W.	51
Figura 40. Data logger SHINE WIFI-X.	51
Figura 41. Logo de la aplicación ShinePhone APP en la tienda de Google Play.....	52
Figura 42. Imágenes de la aplicación ShinePhone APP.....	52
Figura 43. Interfaz de ShineServer.	53
Figura 44. Curva de potencia obtenida el día 31/07/2021	55
Figura 45. Curva de potencia obtenida el día 01/08/2021.....	56
Figura 46. Tamaño de ventiladores de techo según la relación del espacio de la habitación...57	
Figura 47. Ubicación de los ventiladores en el laboratorio de alto voltaje.	58
Figura 48. Estructura metálica del laboratorio.	58
Figura 49. Ventiladores implementados en el laboratorio de alto voltaje.....	59
Figura 50. Ventiladores 1 y 2 con su estructura de refuerzo.	59
Figura 51. Ventiladores 3 y 4 con su estructura de refuerzo.	59
Figura 52. Sensor de temperatura PSWS-9TH.....	60
Figura 53. Dial de selección del rango de temperatura.....	61
Figura 54. Terminal de conexión de salida del sensor de temperatura.....	61
Figura 55. Medición de la señal de voltaje del sensor de temperatura a 31°C.....	63
Figura 56. Conexión del sensor de temperatura.	64
Figura 57. Ubicación del sensor de temperatura.	64
Figura 58. Sensor de movimiento para techo.	65
Figura 59. a) Ajuste de la fotocélula, b) Tiempo de demora de apagado, c) Sensibilidad	65
Figura 60. Rango de detección del sensor de movimiento.....	65
Figura 61. Conexión de los sensores de movimiento.	66
Figura 62. Ubicación del sensor de movimiento 1.	66
Figura 63. Ubicación del sensor de movimiento 2.	67
Figura 64. Partes del LOGO!.....	67
Figura 65. Diagrama de la automatización de los ventiladores.....	69
Figura 66. Diagrama de flujo del sistema automatizado de los ventiladores.....	70
Figura 67. Diagrama de conexión del sistema automatizado.....	71
Figura 68. Tablero de control del sistema automatizado.....	71
Figura 69. Luces piloto del tablero de control.....	72

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

TÍTULO: “AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN MEDIANTE EL USO FOTOVOLTAICO ON GRID PARA EL LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA”

Autores: Basurto Espinosa Jhonny Fernando

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se efectuó el diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red y se automatizó el funcionamiento de ventiladores en el laboratorio de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Considerando que dentro del laboratorio se acumula calor debido a su techo de zinc, se implementó ventiladores para mejorar el ambiente de trabajo, automatizados mediante un LOGO! obteniendo que su encendido sea cuando la temperatura supera los 20°C y se apague cuando baja de los 18°C, cuya energía requerida para su abastecimiento por 5 horas de funcionamiento fue de 1.5 kWh. Mediante el software PVsyst se obtuvieron los datos de la radiación solar disponible en el lugar de instalación del proyecto, con ello se partió con el diseño del sistema fotovoltaico obteniendo su conformación con 3 paneles policristalinos de 270W y un inversor ON GRID que actúa de manera autónoma sin necesidad que el operador se mantenga supervisando. El proyecto se ha planteado para usar la energía solar como una fuente cotidiana en el uso de energía eléctrica dentro del laboratorio de alto voltaje, con una interconexión automática por parte del equipo, el cual se mantiene en equilibrio para suministrar la carga ya sea con los paneles fotovoltaicos o la red. En conclusión, mediante la automatización de los ventiladores se ayudó a mejorar las condiciones de trabajo dentro del laboratorio y con el sistema fotovoltaico se produjo energía amigable con el ambiente ayudando a combatir el cambio climático.

Palabras claves: Inversor, sistema fotovoltaico, automatización, equipo de ventilación.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: "AUTOMATION OF A VENTILATION SYSTEM USING PHOTOVOLTAIC ON GRID FOR THE HIGH-VOLTAGE LABORATORY OF THE ELECTRICAL ENGINEERING CAREER"

Authors: Basurto Espinosa Jhonny Fernando

ABSTRACT

In this research project, the design of a photovoltaic system connected to the network was carried out and the operation of fans was automated in the high voltage laboratory of the Technical University of Cotopaxi. Considering that inside the laboratory heat accumulates due to its zinc roof, fans were implemented to improve the working environment, automated using a LOGO! obtaining that its ignition is when the temperature exceeds 20°C and turns off when it decreases of the 18°C, whose energy required for its supply for 5 hours of operation was of 1.5 kWh. Using the PVsyst software, the solar radiation data available at the project site was obtained, With this, we started with the design of the photovoltaic system obtaining its conformation with 3 polycrystalline panels of 270W and an inverter ON GRID that acts autonomously without the need for the operator to keep monitoring. The project has been designed to use solar energy as a daily source of electricity within the high-voltage laboratory, with automatic interconnection by the equipment, which is kept in balance to supply the load either with photovoltaic panels or the grid. In conclusion, the automation of the fans helped to improve working conditions within the laboratory and with the photovoltaic system produced environmentally friendly energy helping to combat climate change.

Keywords: Inverter, photovoltaic system, automation, ventilation equipment

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

Automatización de un Sistema de Ventilación mediante el Uso Fotovoltaico On Grid para el Laboratorio de Alto Voltaje de la Carrera de Ingeniería Eléctrica

Fecha de inicio:

Mayo 2021

Fecha de Finalización:

Julio 2021

Lugar de ejecución:

Barrio El Ejido, Sector San Felipe, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Universidad Técnica de Cotopaxi.

Facultad que auspicia:

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA)

Carrera que auspicia:

Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia

Proyecto de investigación vinculado:

Conversión y uso racional de la energía

Equipo de trabajo:

Tutor del proyecto de investigación:

Nombre: Ing. MSc Castillo Fiallos Jessica Nataly

Nacionalidad: Ecuatoriana

Cedula N°: 0604590216

Celular: 0984317422

Dirección: Cotopaxi – Latacunga

Correo institucional: jessica.castillo@utc.edu.ec

Estudiante 1:

Nombres y apellidos: Jhonny Fernando Basurto Espinosa

Fecha de nacimiento: 28/08/1993

Nacionalidad: Ecuatoriana

Cedula N°: 1500866874

Dirección: Napo - Tena

Teléfono: 0995727192

E-mail: jhonny.basurto4@utc.edu.ec

Estudiante 2:

Nombres y apellidos: Henry David Mise Changoluisa

Fecha de nacimiento: 07/04/1993

Nacionalidad: Ecuatoriana

Cedula N°: 0503494528

Dirección: Cotopaxi - Latacunga

Teléfono: 0979064431

E-mail: henry.mise1@utc.edu.ec

Área de conocimiento:

07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y Energía.

Línea de Investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental

Sub líneas de investigación de la carrera:

Conversión y uso racional de la energía eléctrica

2. INTRODUCCIÓN

2.1. EL PROBLEMA

2.1.1 Situación Problemática

El modelo energético actual del planeta está centrado en el consumo de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón). Esto implica la emisión a la atmósfera de importantes cantidades de gases de efecto invernadero, principales causantes del cambio climático y el aumento de la temperatura en el planeta.

Generalmente cuando el ser humano es expuesto a una situación donde la temperatura aumenta, acostumbra a desarrollar síntomas de ansiedad, irritabilidad, intranquilidad, incomodidad física y presenta problemas para concentrarse. Lo que en un estudiante perjudica su desempeño escolar ya que un salón de clases muy caluroso conlleva a que este más distraído, agitado y le cueste enfocarse.

Esto se vuelve un problema para el rendimiento tanto de estudiantes como de docentes que utilicen el laboratorio de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi ya que, al no contar con un sistema de ventilación, el calor que se acumula en el laboratorio llega a afectar su rendimiento.

2.1.2 Formulación del Problema

Necesidad de contar con un sistema de generación de energía eléctrica amigable con el ambiente que garantice el suministro de energía a ventiladores en el laboratorio de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1 Objeto de Estudio

Sistema fotovoltaico ON GRID.

2.3.2 Campo de Acción

3311.01 Tecnología de la Automatización.

3311.05 Equipos Eléctricos de Control.

3311.16 Instrumentos de Medida de la Temperatura.

2.4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

2.4.1 Beneficiarios directos

Universidad Técnica de Cotopaxi

2.4.2 Beneficiarios indirectos

Estudiantes, personal docente de la carrera de Ingeniería Eléctrica y personas que ingresen al laboratorio de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En la actualidad las principales energías empleadas alrededor del mundo son de carácter fósil, llamadas también energías no renovables. Su principal problema es su factor contaminante que afecta al medio ambiente, además de que no se regeneran y tarde o temprano se van a terminar. Es por eso que como solución surgen las energías renovables que provienen de fuentes naturales como el sol, agua y viento. Su uso es cada vez más necesario para reducir el consumo de combustibles fósiles, ya que son consideradas como energías limpias por no ser contaminantes y además se tiene la garantía que son inagotables.

La radiación proveniente del sol es uno de los recursos renovables que más se aprovecha y el cual está adquiriendo un papel cada vez más importante. Los sistemas fotovoltaicos contribuyen al desarrollo sostenible y representan una de las principales alternativas para reducir la emisión de gases de efecto invernadero en el planeta.

Lo anteriormente expresado, demuestra la importancia del presente proyecto de investigación en el cual se implementó un sistema de generación solar fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a ventiladores que se instalaron en el laboratorio de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Con esto se contribuyó con el cuidado del medio ambiente y se generó energía eléctrica amigable con el mismo, además que se consiguió mejorar el ambiente de trabajo dentro del laboratorio.

2.6. HIPÓTESIS

Con la implementación de un sistema fotovoltaico se podrá abastecer de energía eléctrica al sistema de ventilación para mejorar el ambiente de trabajo en el laboratorio de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.7. OBJETIVOS

2.7.1 Objetivo General

Implementar un sistema de generación de energía fotovoltaica para la automatización de ventiladores en el laboratorio de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.7.2 Objetivos Específicos

- Realizar una investigación bibliográfica sobre los parámetros necesarios para el desarrollo del proyecto.
- Implementar un sistema fotovoltaico para el funcionamiento de ventiladores en el laboratorio de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Automatizar el funcionamiento de los ventiladores del laboratorio de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Validar el funcionamiento del sistema de generación de energía fotovoltaica en el laboratorio de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.8. SISTEMA DE TAREAS

Tabla 1. Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos establecidos.

Objetivos específicos	Actividades (Tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Objetivo 1: Realizar una investigación bibliográfica sobre los parámetros necesarios para el desarrollo del proyecto.	- Búsqueda bibliográfica de los aspectos necesarios para el desarrollo del proyecto.	- Información necesaria para la realización del proyecto de investigación.	- Libros, artículos, ensayos, revistas de ingeniería, páginas web, documentos y normas.
Objetivo 2: Implementar un sistema fotovoltaico para el funcionamiento de ventiladores en el	- Diseño del sistema de solar fotovoltaica. - Adquisición de los elementos del sistema solar fotovoltaico.	- Carga eléctrica a instalar. -Recurso solar disponible.	- Cálculos matemáticos - Paneles solares, inversor On Grid, protecciones. - PVsyst 7.2

laboratorio de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	- Implementación del sistema de solar fotovoltaica.	- Número de paneles fotovoltaicos e inversor a utilizar. - Diagrama del sistema fotovoltaico.	- AutoCad.
Objetivo 3: Automatizar el funcionamiento de los ventiladores del laboratorio de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	- Selección del software y elementos necesarios para la automatización de los ventiladores. - Diseño de la programación para el funcionamiento automatizado de los ventiladores.	- Automatización del funcionamiento de los ventiladores. -Optimización del consumo energético.	- Computadora - Logo Siemens 12-24VDC. -Contactor. -Relé -Sensores de presencia y temperatura.
Objetivo 4: Validar el funcionamiento del sistema de generación de energía fotovoltaica en el laboratorio de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	- Pruebas de funcionamiento del sistema solar fotovoltaico. - Abastecimiento de energía eléctrica a los ventiladores.	- Corrección de posibles fallas en el funcionamiento del sistema. - Verificación del funcionamiento del sistema.	- Equipos de medición

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 Energías Renovables

El hombre ha aprovechado las fuentes de energía renovable desde hace muchos siglos atrás, energías renovables como la solar, eólica e hidráulica eran utilizadas para actividades domésticas, agrícolas, artesanales y comerciales. No fue sino hasta la Primera Revolución Industrial del Siglo XVIII que se desencadenaron cambios sociales y económicos reemplazando los recursos naturales con recursos fósiles (petróleo y carbón) que se ofrecían como fuentes energéticas abundantes y económicas [1].

Las energías renovables o alternativas provienen de fuentes naturales inagotables o que se pueden renovar con el tiempo. Las fuentes de energías renovables se encuentran a nuestro alrededor como son el sol, el viento, el agua. Dentro de los principales tipos de energía renovable tenemos la solar, eólica, hidráulica, geotérmica, biogás y biomasa [1].

3.2 Energía Solar

La energía solar se obtiene del aprovechamiento de la radiación electromagnética que proviene del Sol, la cual se manifiesta en diferentes fenómenos como viento, ciclos del agua o la propia radiación solar. Todos son llamados energías renovables ya que se renuevan conforme el ciclo solar anual. Esta radiación que llega a la tierra se la puede aprovechar por medio de distintos captadores, como células fotovoltaicas, colectores térmicos que permiten su transformación en energía eléctrica o térmica [2], [3].

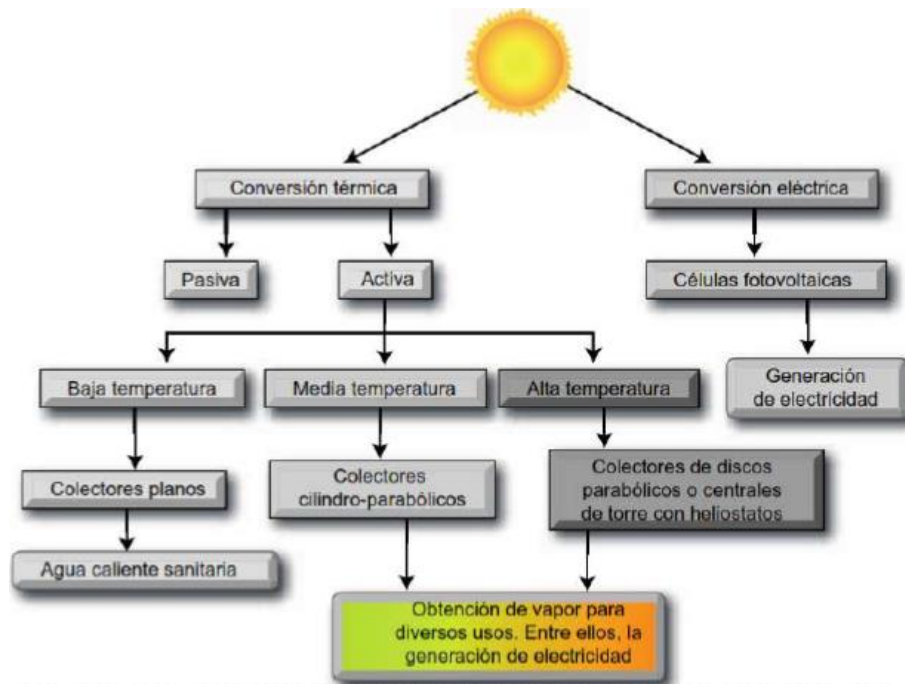


Figura 1. Tecnologías para aprovechar la energía del sol [4].

3.2.1 Radiación Solar

Es el conjunto de ondas electromagnéticas que alcanzan la atmósfera terrestre en forma de radiación o espectro electromagnético, se generan por reacciones nucleares de fusión en el centro del sol para después emitirse en diferentes frecuencias distribuidas en forma de luz visible, infrarroja y ultravioleta. No toda la radiación llega hasta la superficie terrestre, debido a que las ondas ultravioletas son absorbidas o reflejadas por la atmósfera terrestre [5].

La radiación que llega a la Tierra varía según la latitud del lugar, la hora del día y condiciones climatológicas. Esto condiciona el aprovechamiento de la energía del Sol. La unidad que se utiliza para medir la radiación es el W/m^2 que expresa la cantidad de energía que llega a un área de un metro cuadrado [6].

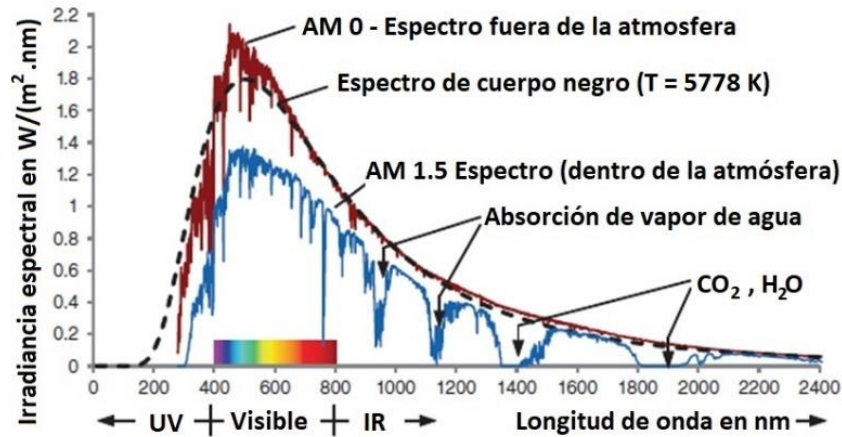


Figura 2. Espectro fuera y dentro de la atmósfera [7].

3.2.1.1 Parámetros de la radiación solar

Para cuantificar la radiación solar se utiliza dos parámetros:

Irradiación: Es la densidad de energía de radiación solar incidente en una superficie, expresándose en Wh/m^2 [8].

Irradiancia: Es la densidad de potencia de radiación solar incidente en una superficie, indica la intensidad de la radiación solar y se expresa en W/m^2 [8].

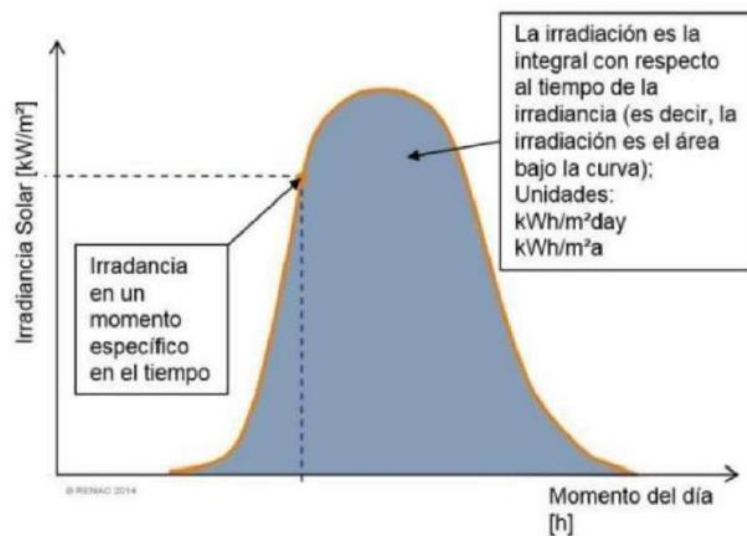


Figura 3. Relación entre la irradiancia y la irradiación [4].

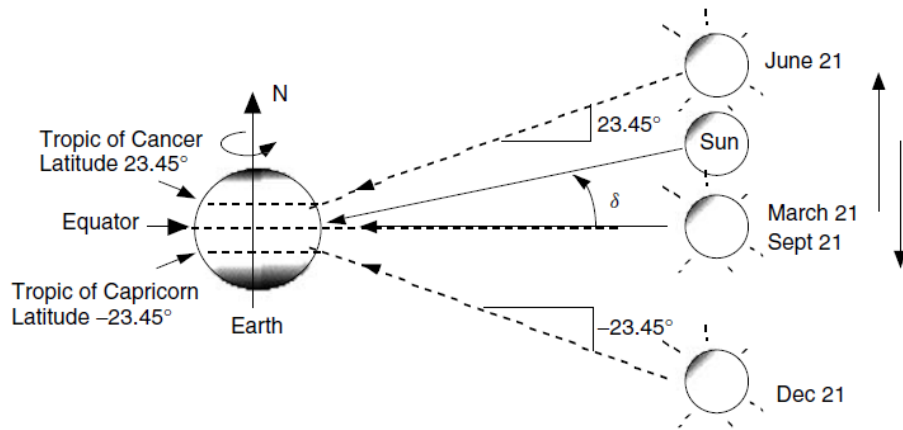


Figura 7. Distintos valores de los ángulos de la declinación solar [7].

El ángulo de declinación se puede obtenerse por la fórmula de Cooper:

$$\delta = 23.45 \text{ Seno} \left[\frac{284 + n}{365} \times 360 \right] \quad (3)$$

Siendo “n” el día del año del 1 al 365.

3.2.5 Coordenadas Solares

Su finalidad es establecer la posición del sol en el cielo, el origen de su sistema de referencia es la ubicación del observador.

Acimut Solar (Ψ): Es el ángulo formado por el meridiano del sol y la superficie horizontal del lugar, tomando como referencia el Sur en el hemisferio norte y el Norte en el hemisferio sur. Sus valores son positivos de 0 a 180° hacia el Oeste y negativos de 0 a -180 hacia el Este [14].

Altura Solar (α o H): Es el ángulo que forman los rayos solares con la horizontal. Tienen valores que van de $(90^\circ - \phi - \delta)$ en el solsticio de invierno a $(90^\circ - \phi + \delta)$ en el solsticio de verano, siendo Φ la latitud del lugar y β la declinación [14].

$$\alpha_{\max} = 90^\circ - \text{latitud } (\phi) + \text{declinacion } (\beta) \quad (4)$$

Ángulo o distancia cenital (θ): Es el ángulo formado por la dirección del sol y la vertical. Es el ángulo complementario de la elevación solar [14].

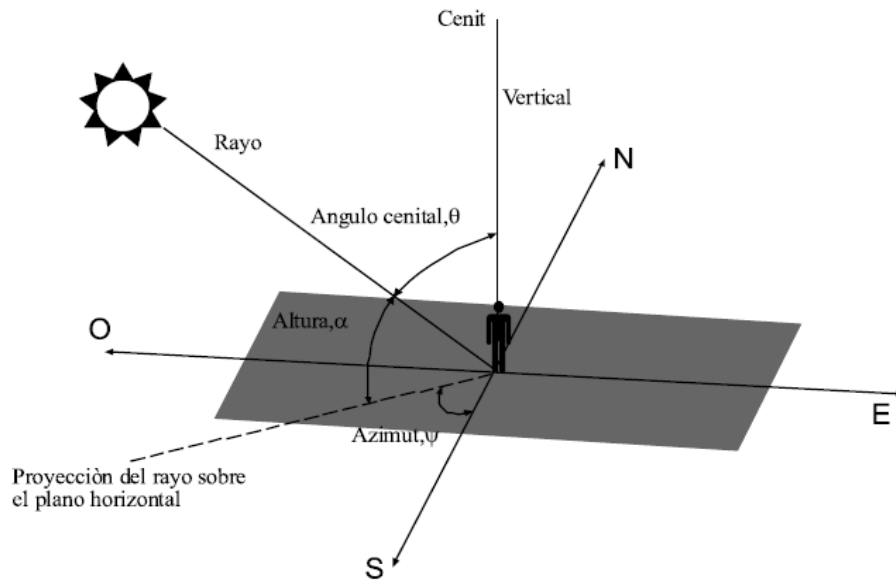


Figura 8. Ángulos que definen la posición del Sol en cada instante [13].

3.3 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica transforma la radiación solar en electricidad mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, es una fuente de energía renovable que aprovecha la energía del Sol [15].

3.3.1 Sistema Fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar según el tipo de instalación en:

Sistemas Aislados: Son aquellos que tratan de cubrir la demanda de energía en lugares en los que no hay red eléctrica de distribución o de difícil, el máximo tiempo posible. Cuentan con sistemas de acumulación de energía, es por eso que el sistema debe estar pensado para alimentar la carga y recargar los acumuladores durante el día [16].

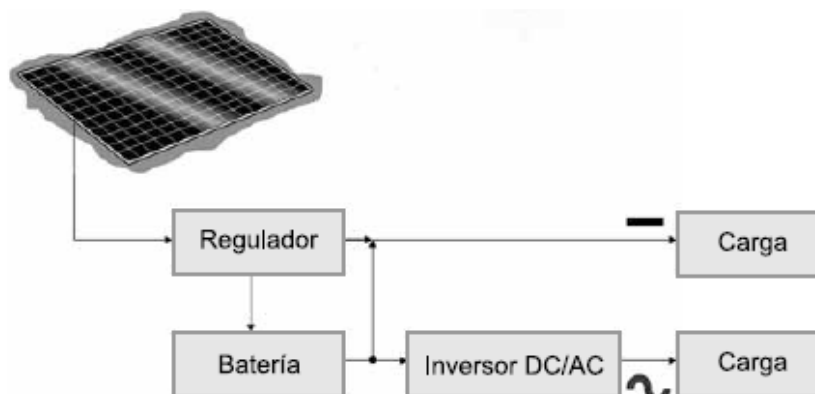


Figura 9. Sistema aislado (OFF GRID) [17].

Sistemas conectados a la red: Son sistemas que operan en paralelo a la red eléctrica existente, si su producción excede el consumo local, la energía generada es inyectada a la red eléctrica y si sucede lo contrario el sistema extrae energía. Su objetivo principal es la disminución del consumo eléctrico. Se eliminan los acumuladores de energía en este tipo de sistemas [18].

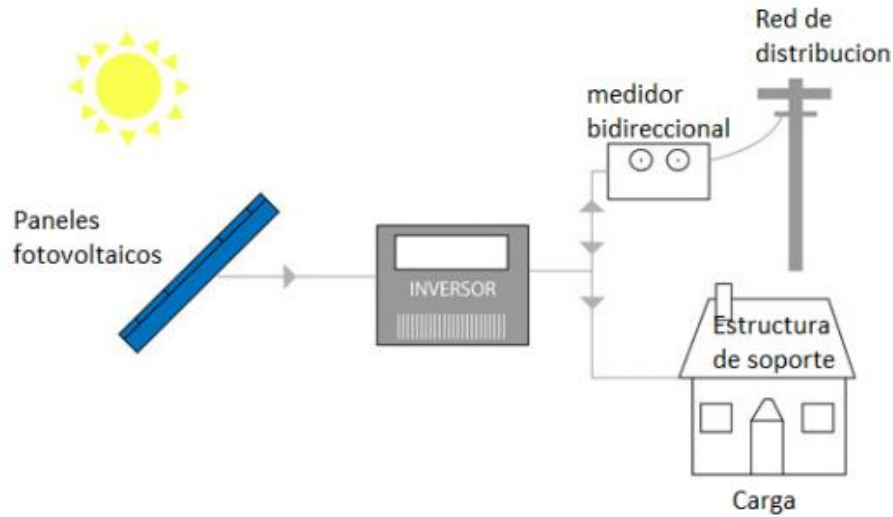


Figura 10. Sistema conectado a la red (ON GRID) [19].

3.3.2 Panel Fotovoltaico

Es el dispositivo encargado de convertir la radiación en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico, está formado a partir de células conectadas en serie y/o paralelo. La interconexión de un número de paneles conforma un arreglo, el cual, al conectarse a un inversor, junto con el sistema de protección y control, conforman un sistema fotovoltaico [19].

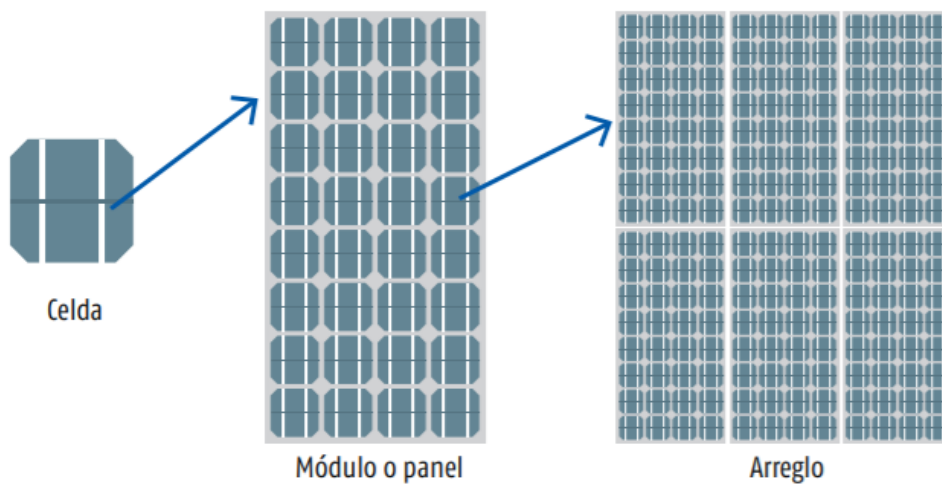


Figura 11. Celda, panel y arreglo fotovoltaicos [20].

En los módulos fotovoltaicos se encapsulan las células en una resina, para formar los paneles se las sitúan entre dos laminas, la exterior es de vidrio y la posterior puede ser de plástico o vidrio [21].



Figura 12. Partes de un panel fotovoltaicos [21].

3.3.2.1 Efecto fotovoltaico

El silicio es el principal material del que están fabricados los paneles solares, en el cual se basa su funcionamiento. Pero para poder emplearlo adecuadamente es necesario “dopar” el silicio en dos capas separadas por una unión NP; esta operación tiene como objetivo final tener un exceso de electrones en el lado expuesto a la luz y un déficit de electrones por el otro el cual es agregado de boro [22].

Cuando la luz del sol incide sobre el lado negativo el cual posee exceso de electrones, golpea sus átomos y libera electrones a los paneles los cuales se los conectan a equipos que se encarguen de consumir o almacenar esa energía dependiendo del tipo de sistema que se ha empleado [22].

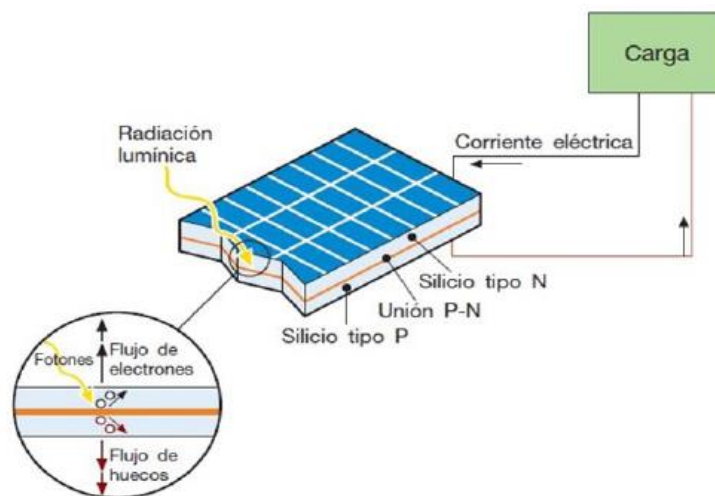


Figura 13. Funcionamiento de una célula fotovoltaica [22].

3.3.2.2 Clasificación

Panel monocristalino: Este tipo de panel está conformado por un solo cristal de silicio dopado con boro. Las diferentes pruebas realizadas en laboratorio demuestran que alcanzan rendimientos del 18-22%. Tienen un elevado costo y poca tolerancia a altas temperaturas [18].

Panel policristalino: Estos paneles están basados en la unión de varios cristales de silicio los cuales se encuentra constituidos desorganizadamente, cuya eficiencia alcanza el 14-17%, esto influye en la reducción de su precio [18].

Panel amorfo: Compuesto de silicio no puro con hidrógeno, posee una eficiencia comercial entre 7 y 13%, su costo es bajo y tiene alta tolerancia a altas temperaturas [4].

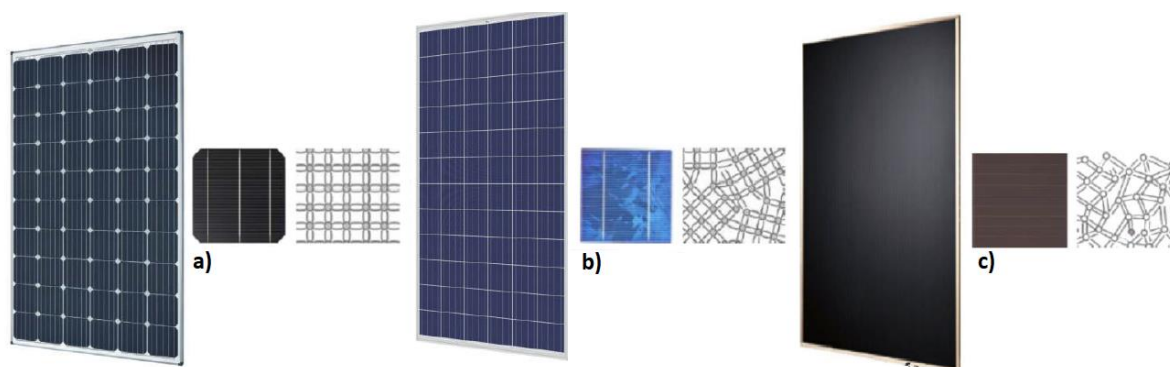


Figura 14. a) Módulo monocristalino, b) Módulo policristalino c) Módulo amorfo [21].

2.3.2.3 Parámetros eléctricos

Los parámetros de funcionamiento de un panel vienen representados en una curva característica de tensión vs corriente, en la cual se puede observar también la curva de potencia [17].

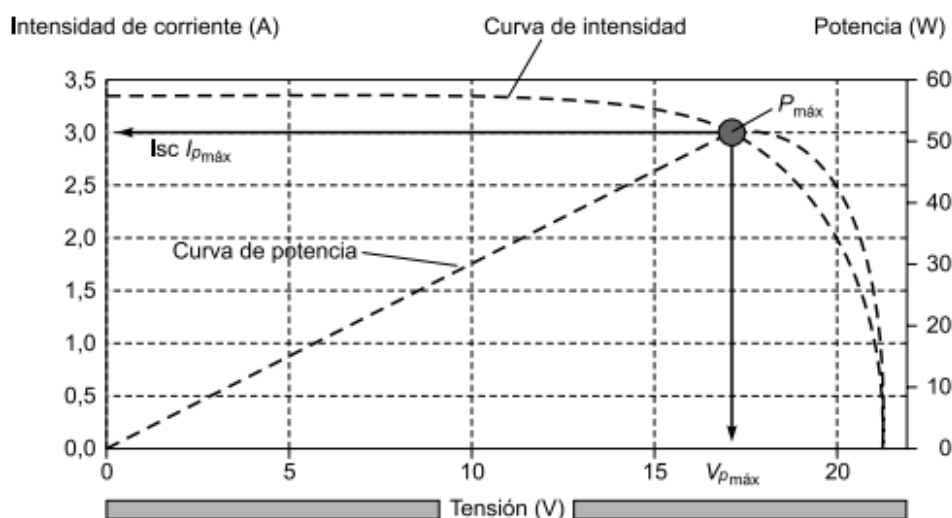


Figura 15. Característica I-V de una célula FV [17].

Corriente de cortocircuito (I_{SC}): Es la corriente máxima disponible en una célula solar y se obtiene cuando está en cortocircuito (cuando la tensión en los bornes de la célula es cero) [17].

Tensión de circuito abierto (V_{OC}): Es la tensión máxima disponible en una célula solar y se obtiene cuando no está conectada a ninguna carga (la corriente de la célula es cero) [17].

Punto de máxima potencia (PMP): Es el punto de trabajo donde la potencia entregada a una carga externa es la máxima. La potencia entregada es igual [23]:

$$P_{\max} = V_{\max} * I_{\max} \quad (5)$$

Factor de forma (F_F): El máximo valor que puede tomar es $F_F= 1$, mientras mas eficiente es la célula, su valor aumenta. Se vincula con la potencia máxima, tensión en circuito abierto y corriente de cortocircuito [17].

$$P_{\max} = I_{SC} * V_{OC} * F_F \quad (6)$$

$$F_F = \frac{P_{\max}}{I_{SC} * V_{OC}} = \frac{V_{\max} * I_{\max}}{I_{SC} * V_{OC}} \quad (7)$$

Eficiencia (η): Es el parámetro que define el funcionamiento de la célula solar y se expresa en porcentaje (%). Es la relación entre la potencia que obtenemos de la célula y la potencia de la radiación incidente sobre ella [17].

$$\eta = \frac{I_{SC} * V_{OC} * F_F}{A * P_{SOL}} * 100 \quad (8)$$

Donde

$P_{SOL} = 1000 \text{ W/m}^2$ en STC.

A = es el área de la célula.

Estos parámetros se obtienen en unas condiciones estándar de medida de uso universal según la norma IEC/EN 61215.

2.3.2.4 Parámetros técnicos

Influencia de la radiación: La radiación influye en la corriente del panel fotovoltaicos, mientras más radiación exista, más elevado va a ser el valor de la corriente.

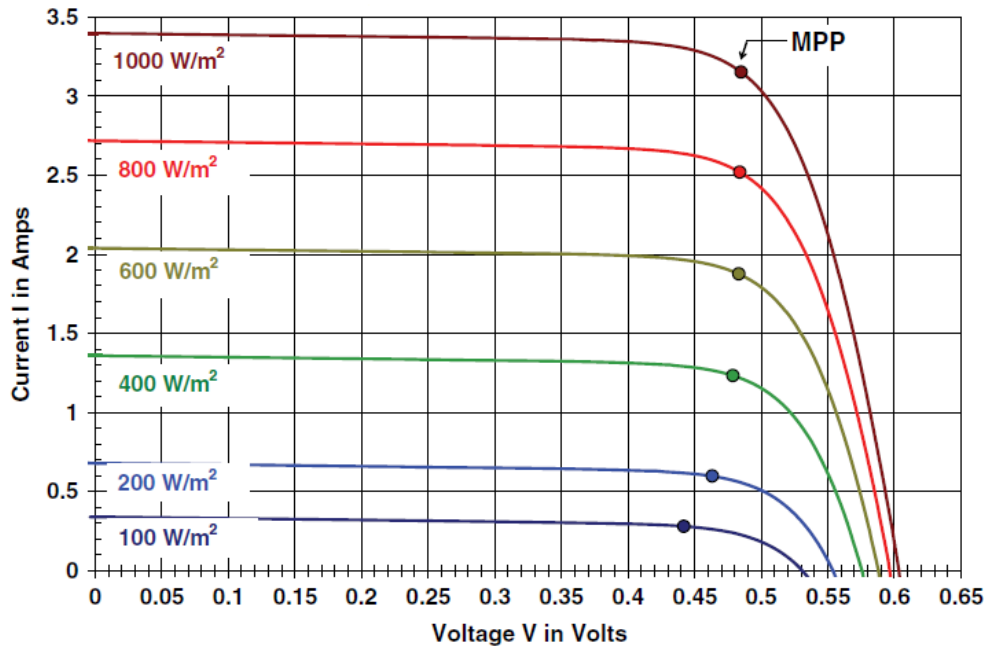


Figura 16. Características I-V con irradiancia variable a una temperatura de 25°C [7].

Influencia de la temperatura: La temperatura influye en la tensión del panel fotovoltaico, mientras más elevada sea la temperatura, el voltaje va a disminuir.

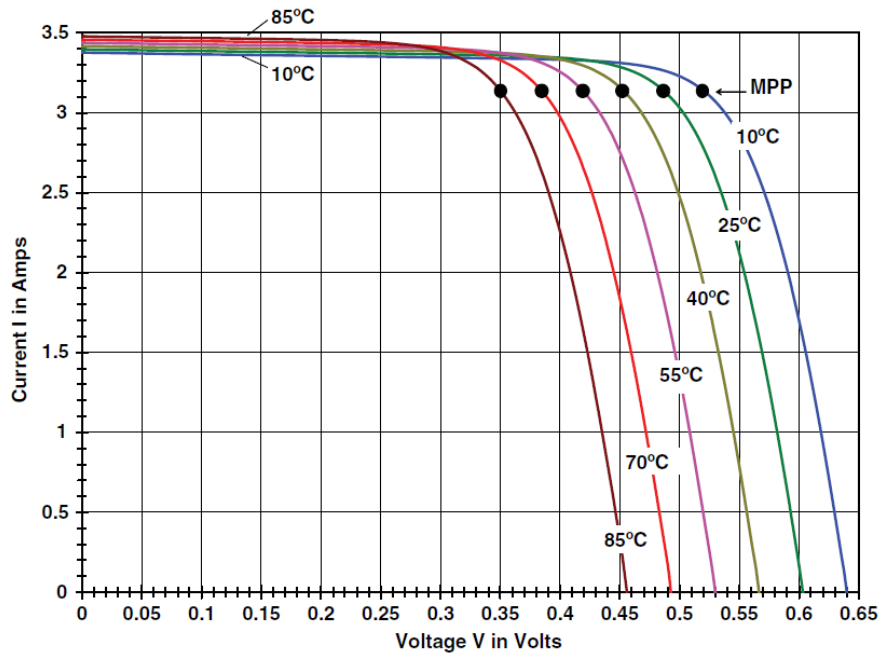


Figura 17. Características I-V, con temperatura variable a una irradiancia 1000 W/m² [7].

2.3.2.5 Condiciones de referencia

Dado que la curva característica del módulo fotovoltaico cambia con las condiciones ambientales, es necesario definir una serie de condiciones de operación [24].

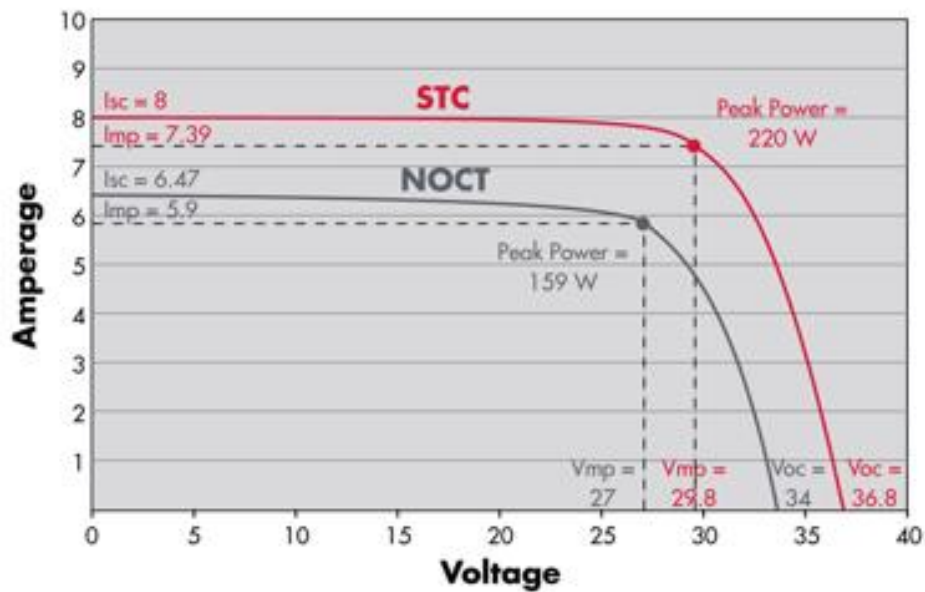


Figura 18. Comparación de las curvas características I-V para condiciones STC y NOCT [7].

STC: En inglés sus siglas quieren decir Standar Test Condition y son las condiciones a las que los módulos son sometidos para obtener sus parámetros básicos [25].

Son las de uso universal, y vienen definidas según la norma IEC/EN 61215 [24], [26]:

- Irradiancia = 1000 W/m^2
- Distribución espectral = AM 1.5G
- Incidencia Normal
- Temperatura de la célula 25°C

Un nivel de irradiancia de 1000 W/m^2 puede alcanzarse al mediodía, los módulos fotovoltaicos generalmente adquieren temperaturas de más de 25°C , es por eso que pocas veces llegan alcanzar las condiciones STC [24].

NOCT: En inglés sus siglas quieren decir Nominal Operating Cell Temperature o sus siglas en castellano TONC Temperatura de Operación Nominal de la Célula. A diferencia de las STC, las NOCT tratan de establecer unas condiciones con parámetros más reales [25].

- Irradiancia = 800 W/m^2
- Distribución espectral = AM 1.5G
- Velocidad del viento = 1 m/s
- Temperatura de la célula 20°C

3.4 Sistema Fotovoltaico Conectado A La Red (SFCR)

Un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) trabaja en paralelo con la red de la Empresa distribuidora y no requiere de sistemas de almacenamiento ya que toda la radiación solar que recibe el generador fotovoltaico es transformada en energía eléctrica y es utilizada directamente para el consumo o entregada a la red de distribución [11], [17].

En un sistema fotovoltaico conectado a red, se pueden distinguir algunos elementos fundamentales:

- Módulos fotovoltaicos.
- Inversor fotovoltaico On Grid.
- Contador de energía bidireccional.

Este tipo de sistema si no hay consumo de parte del usuario o haya menor consumo de energía que la generada, el excedente de electricidad producido es inyectado a la red eléctrica. Pero en periodos donde la generación de energía no abastezca el consumo del usuario, se toma la electricidad de la red de distribución a la que el sistema fotovoltaico esté conectado. Al momento de facturar se hace un balance la energía que fue inyectada a la red y aquella energía que el usuario recibió de parte de la red de distribución [27].

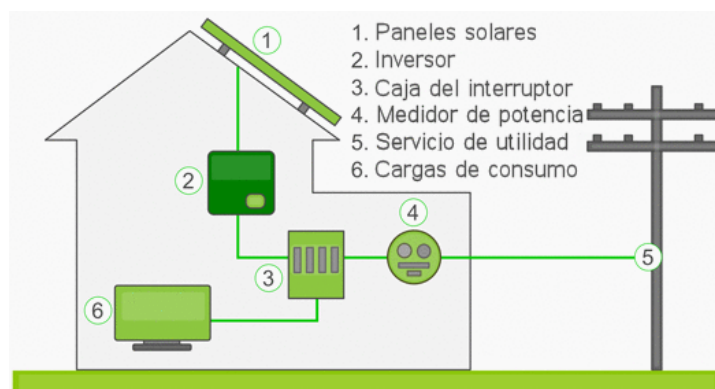


Figura 19. Sistema fotovoltaico conectado a la red [27].

3.4.1 Esquema de Instalación

En la Regulación Nro. ARCONEL 003/18 “Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica”, se establece que un proyecto con una capacidad nominal de hasta 100kW debe conectarse con la red de la empresa de distribución eléctrica, según el siguiente esquema [28]:

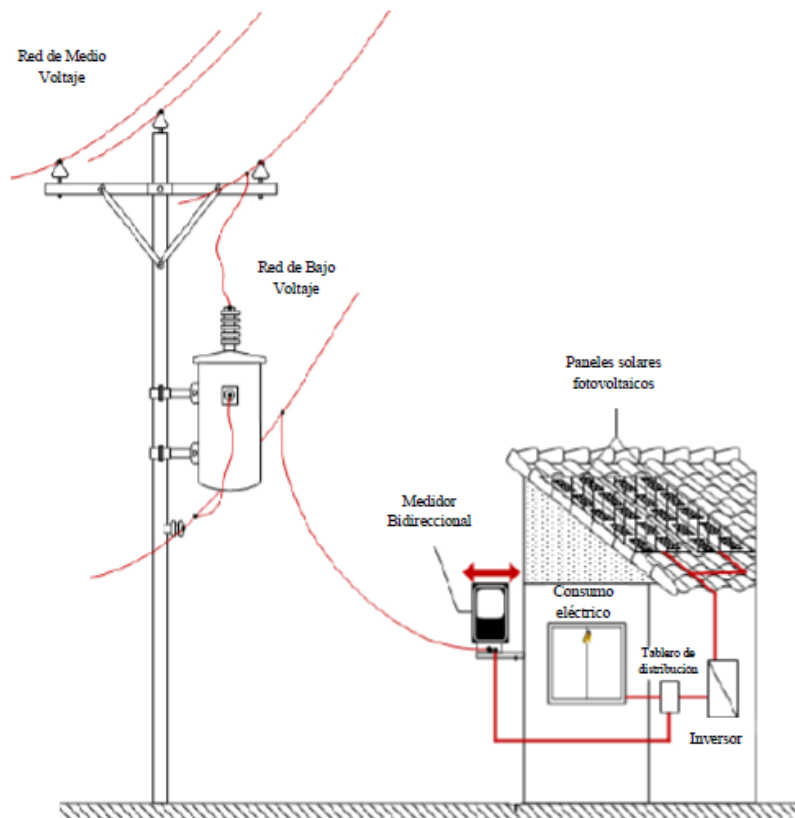


Figura 20. Esquema de instalación del µSFV [28].

Los consumidores cuyo funcionamiento sea únicamente para autoconsumo, no estarán sujetos a las condiciones establecidas de la regulación [28].

3.4.2 Metodología para el Dimensionamiento

Dimensionar un sistema fotovoltaico significa calcular el número de sus componentes y su interconexión, para cumplir objetivos determinados que dependen de su aplicación [4].

3.4.2.1 Características de la Carga

Carga Instalada: Es la suma de las potencias nominales individuales de los elementos de consumo conectados a un mismo sistema eléctrico [29].

$$C_i = \sum \text{Potencias nominales de las cargas} \quad (9)$$

Demanda eléctrica: Es la potencia usada por el consumidor medida en los terminales receptores de la instalación eléctrica durante un periodo de tiempo determinado, se puede expresar en KVA, KW, KVAR [30].

Demanda máxima (D_M): Es el consumo máximo registrado en la curva de demanda de un usuario en un periodo de tiempo determinado, se debe especificar el intervalo de demanda para medirla, se denomina también demanda pico [31].

Demanda promedio (D_p): Es una demanda constante en un determinado periodo de tiempo y se calcula con la siguiente expresión [30]:

$$D_p = \frac{\text{Energía consumida en el tiempo T (kWh)}}{\text{Tiempo (h)}} \quad (10)$$

$$\text{Energía} = \sum[\text{Tiempo (h)} * \text{Potencia (W)}] \quad (11)$$

Curva de demanda: Es la representación gráfica de la variación de la demanda en función del tiempo, puede ser diaria, mensual o anual [32].

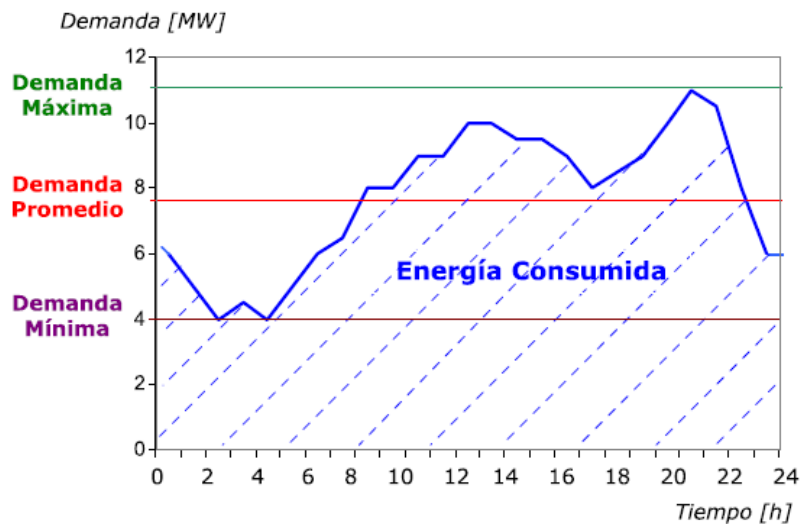


Figura 21. Curva de demanda diaria [32].

Factor de demanda (F_D): Refleja el grado al cual la carga total instalada opera simultáneamente, por lo general es menor a 1 [30].

$$F_D = \frac{\text{Demanda maxima}}{\text{Carga instalada}} = \frac{D_M}{C_I} \leq 1 \quad (12)$$

Factor de utilización (F_U): Representa la fracción de la capacidad del sistema que se está utilizando durante la demanda máxima en el periodo de tiempo dado [29].

$$F_U = \frac{\text{Demanda maxima}}{\text{Capacidad nominal}} = \frac{D_M}{P_I} \quad (13)$$

Factor de planta (F_{PL}): Es usado comúnmente en estudios de generación e indica la utilización promedio del equipo o instalación [30].

$$F_{PL} = \frac{\text{Generacion real producida}}{\text{Potencia nominal maxima de la planta} * t} = \frac{E}{P_1 * t} \quad (14)$$

3.4.2.2 Estimación de la potencia del sistema fotovoltaico

$$\text{Potencia fotovoltaica} = \frac{\text{Consumo diario (Wh)}}{\text{Hora solar pico (h)}} \quad (W) \quad (15)$$

El consumo diario se calcula sumando la energía consumida durante todo el día en cada uno de los centros de potencia de la instalación [33]. A continuación, se muestra un ejemplo:

Red	Consumo	Potencia [W]	Uso [Hr]	Unidades	Consumo Total [Wh]
	Ilu. Dormi 1	50	3	1	150
Baja	Ilu. Dormi 2	60	3	1	180
	Ilu. Cocina	60	4	1	240
Mediana	TV	30	4	1	120
	Radio	30	3	1	90
Alta	Refrigerador	75	6	1	450
					1230

Figura 22. Estimación de Consumo para un hogar [33].

Generalmente se hace un sobredimensionamiento sumando un promedio del 20-30% a la potencia requerida del sistema fotovoltaico para compensar pérdidas [34].

$$P_{GFV} = P_{\text{fotovoltaica}} + (P_{\text{fotovoltaica}} * 20\%) \quad (W) \quad (16)$$

Donde

P_{GFV} : Potencia del generador fotovoltaico.

$P_{\text{fotovoltaica}}$: Potencia del sistema fotovoltaico.

20%: Porcentaje de perdidas.

Perdidas y factores de corrección: Estos conceptos son necesarios para obtener un resultado más exacto y evitar que nuestro sistema fotovoltaico no alcance la potencia requerida [34].

- Coeficiente de temperatura del módulo.
- Nubosidad.

- Eficiencia del inversor.
- Condiciones atmosféricas.

3.4.2.3 Selección del inversor DC/AC

El inversor se lo selecciona con base al voltaje de la red eléctrica del sitio de instalación y con base a la potencia requerida para cubrir la necesidad considerando las pérdidas [33].

Las características ideales que se busca para un inversor las podemos resumir de la siguiente manera:

- Eficiencia alta.
- Bajo consumo cuando no haya cargas conectadas.
- Alta resistencia a los picos de arranque.
- Protección contra cortocircuitos e inversión de polaridad.
- Seguridad.
- Buen control de la regulación del voltaje y frecuencia de salida.



Figura 23. Variables de entrada y salida para un inversor interconectado [33].

En el lado input se tiene el voltaje entregado por el arreglo fotovoltaico que será importante para obtener el tipo de inversor adecuado (voltaje máximo V_{oc}). En el final output estarán los parámetros dados por la fuente de consumo o red [33].

El voltaje y corriente en el input se calcula de la siguiente forma:

Conexión serie:

$$V_T = V_1 + V_2 + \dots + V_N \quad (17)$$

$$I_T = I_1 = I_2 = \dots = I_N$$

Conexión paralelo:

$$V_T = V_1 = V_2 = \dots = V_N \quad (18)$$

$$I_T = I_1 + I_2 + \dots + I_N$$

La potencia que el inversor puede entregar se obtiene con:

$$P_{IN} = P_{efectivaFV} * \eta_{IN} \quad (19)$$

Donde

$P_{efectivaFV}$: Potencia efectiva del arreglo fotovoltaico

η_{IN} : Es la eficiencia del inversor

Relación entre la potencia nominal del inversor y la potencia pico del arreglo fotovoltaico.

$$f_p = \frac{P_{AC,nominal}}{P_{picoFV}} \quad (20)$$

Valores recomendados

$$\text{Sistema fijos} \quad 0,8 \leq f_p \leq 1$$

$$\text{Sistema con seguimiento} \quad f_p \approx 1$$

Se debe diseñarse el sistema fotovoltaico en forma que el valor de f_p maximice el rendimiento medio del inversor.

3.4.2.4 Configuración del arreglo fotovoltaico

La conexión entre un arreglo fotovoltaico y un inversor involucra calcular el número de módulos que componen cada rama y número de ramas que componen el arreglo fotovoltaico. El número de módulos en cada rama determinará el rango de tensiones que entregará el arreglo fotovoltaico, mientras que el número de ramas impondrá el valor máximo de corriente que es capaz de proporcionar [35].

Temperatura de la célula: Es el parámetro que nos permite conocer la temperatura real que tendrán las células fotovoltaicas en cualquier situación viene dado por la expresión [4]:

$$T_c = T_{amb} + \frac{(T_{NOC} - 20^\circ\text{C})}{800\text{W/m}^2} * G \quad (21)$$

Donde

T_c : Temperatura de la célula.

T_{amb} : Temperatura ambiente.

T_{NOC} : Temperatura en condiciones TONC (dato facilitado por el fabricante)

G : Irradiancia (W/m^2)

3.4.2.4.1 Potencia del módulo fotovoltaico

$$P = P_{STC} \frac{G}{G_{STC}} [1 - \gamma * (T_C - T_{C,STC})] \quad (22)$$

Donde

T_C : Temperatura de operación de la célula.

γ : Coeficiente de variación de la potencia con la temperatura.

3.4.2.4.2 Tensiones máximas y mínimas de un módulo fotovoltaico

Caso de que β venga en $V/^\circ C$

Valor mínimo del rango

$$V_{mp\ min\ M} = V_{mpM} + \beta_{Voc} * (T_{c\ max} - 25) \quad (23)$$

Valor máximo del rango

$$V_{mp\ max\ M} = V_{mpM} + \beta_{Voc} * (T_{c\ min} - 25) \quad (24)$$

Voltaje mínimo en vacío del módulo fotovoltaico

$$V_{oc\ min\ M} = V_{ocM} + \beta_{Voc} * (T_{c\ max} - 25) \quad (25)$$

Voltaje máximo en vacío del módulo fotovoltaico

$$V_{oc\ max\ M} = V_{ocM} + \beta_{Voc} * (T_{c\ min} - 25) \quad (26)$$

Corriente máxima del panel fotovoltaico

$$I_{sc\ max\ M} = I_{scM} + \alpha * (T_{c\ min} - 25) \quad (27)$$

Caso de que β venga en $\%/^\circ C$

$$V_M(T_c) = V_M * \left[1 + \frac{\beta}{100} * (T_c - 25) \right] \quad (28)$$

Donde

V_{mpM} : Voltaje pico del módulo fotovoltaico

β_{Voc} : Coeficiente de temperatura de V_{oc} ($mV/^\circ C$)

T_c : Temperatura de la célula fotovoltaica.

α : Coeficiente de temperatura de I_{sc} (mA/°C).

3.4.2.4.3 Número total de módulos fotovoltaicos

$$N_T = \frac{P_{AInv}}{P_{nominalModulo}} \quad (29)$$

$$P_{picoFV} = N_T * P_{nominalModulo} \quad (30)$$

Donde

N_T : Número máximo de módulos fotovoltaicos.

P_{AInv} : Potencia máxima que admite el inversor.

P_{picoFV} : Potencia pico del arreglo fotovoltaico.

3.4.2.4.4 Número de módulos conectados en paralelo

Para el diseño del arreglo fotovoltaico se debe elegir el número de cadenas de paneles en paralelo para que no supere la corriente de entrada al inversor.

$$I_{SCFV} < I_{maxINV} \quad (31)$$

Dado que:

$$I_{SCFV} = N_p * I_{SCModulo} \quad (32)$$

El número máximo de cadenas en paralelo es:

$$N_p \leq \frac{I_{dc,maxINV}}{1.25 * I_{SCModulo}} \quad (33)$$

Donde

N_p : Número máximo de módulos FV en paralelo que admite el inversor.

$I_{dc,maxINV}$: Intensidad de corriente continua que admite el inversor.

$I_{SCMódulo}$: Intensidad de cortocircuito del módulo FV en STC.

1,25: Coeficiente que tiene en cuenta que la radiación (G) puede llegar a 1200 W/m² y que la corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico aumenta con la temperatura.

3.4.2.4.5 Numero de módulos conectados en serie

La tensión de circuito abierto del arreglo fotovoltaico se calcula:

$$V_{OC}FV = N_{S_{max}} * V_{OC}Modulo \quad (34)$$

$$V_{OC}FV < V_{max}Inversor$$

Se suelen generar pérdidas cuando se trabaja en un punto alejado del MPP, para que no ocurra esto la tensión del arreglo fotovoltaico debe estar dentro de los rangos de máxima tensión admitida y la tensión necesaria para el encendido del inversor. Por tanto, el número mínimo de módulos en serie que garantice la tensión mínima del inversor [35]:

$$N_{S_{MPP}^{min}} \leq \frac{V_{mpp}MIN}{V_{mpp}Modulo} \quad (35)$$

mientras que el número máximo de módulos en serie sin sobrepasar la tensión máxima de entrada del inversor:

$$N_{S_{MPP}^{max}} \geq \frac{V_{mpp}MAX}{V_{mpp}Modulo} \quad (36)$$

3.4.2.5 Orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos

La ubicación más apropiada de un panel fotovoltaico en cada emplazamiento depende de la latitud y de la época del año, siendo aconsejable un estudio de radiación solar recibida para cada emplazamiento. Por otro lado, la inclinación de los módulos cambia en función del periodo que se va a utilizar y las necesidades de la carga [21].

Se puede fijar la posición de los paneles fotovoltaicos por medio de dos coordenadas angulares:

Orientación o ángulo acimutal (α): Es el ángulo que forma el Sur geográfico y los paneles fotovoltaicos y define la dirección de los paneles fotovoltaicos. La orientación sur del panel fotovoltaico que corresponde con el origen toma el valor 0° , la orientación Oeste 90° , la orientación Norte 180° y la orientación Este 270° [36].

Para que el aprovechamiento anual de la radiación sea el máximo, la orientación de los paneles fotovoltaicos debe ser hacia el Sur [11].

Inclinación o ángulo de elevación (β): Es el ángulo que forma por la superficie del módulo fotovoltaico con respecto al plano horizontal. Su valor es 0° en posición horizontal, y 90° para módulos en posición vertical. Para instalaciones donde el panel es fijo, este ángulo lo determina la latitud del lugar [36].

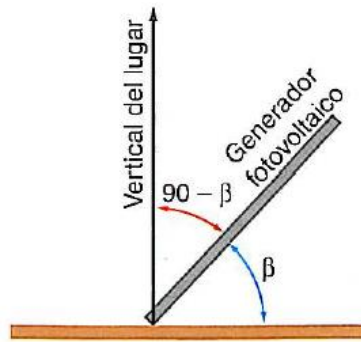


Figura 24. Angulo de inclinación (β) de un módulo fotovoltaico [14].

La inclinación de los paneles en sistemas fotovoltaicos tiene una gran importancia ya que con la inclinación adecuada se logra captar mayor radiación [37]. Para obtener el ángulo de inclinación que optimiza el funcionamiento de un sistema fotovoltaico se utiliza la siguiente ecuación:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * |\phi| \quad (37)$$

Donde

β_{opt} : Ángulo de inclinación óptimo.

$|\phi|$: Latitud del lugar de la instalación fotovoltaica.

La pérdida por inclinación se puede calcular con la siguiente expresión [14]:

$$\text{Perdidas (\%)} = 100 * [1.2 * 10^{-4} * (\beta - \phi + 10)^2]; \text{ para } \beta \leq 15^\circ \quad (38)$$

Donde

β : Inclinación del arreglo fotovoltaico (grados).

Φ : Latitud del lugar (grados decimales).

La orientación siempre debe ser hacia el sur porque el aprovechamiento anual de la radiación será el máximo, por ello, determinar el sur geográfico resulta muy importante [11].

3.5 LOGO! 12/24V RCE Siemens

Un LOGO! es un controlador programable (módulo lógico), que permite que las maquinas funcionen sin que intervenga el ser humano, pero es necesario programarlo para que realice su función. Se lo utiliza principalmente para pequeñas automatizaciones y domótica, ya que es un autómatas de poca potencia y está limitado en su número de entradas, entre sus ventajas esta su

instalación y programación sencilla, cableado mínimo, ahorro de espacio y permite implementar funciones fácilmente [38].

El LOGO! 12/24RCE, es un módulo lógico, pantalla PS/I/O: 12/24VDC/relé, 8DI (4AI) /4DQ, memoria 400 bloques, se puede añadir un módulo expandible, tiene conexión internet Ethernet, servidor web integrado, registro de datos, tarjeta microSD estándar para LOGO! [39].



Figura 25. LOGO! Siemens [39].

3.6 Sensor de Temperatura

La temperatura es una magnitud la cual puede ser medida mediante sensores que son componentes eléctricos y electrónicos. Los sensores de temperatura entre sus muchas aplicaciones, se utilizan para el control de circuitos, como en los sistemas de ventilación y climatización, donde juegan un papel importante. Se usan para medir las temperaturas del aire en la estancia, tanto en la extracción de aire como en la impulsión y en base a estas temperaturas se regulan los sistemas y equipos, también se llaman sensores de calor, detectores de calor o termo sensores [40].

El sensor de temperatura es de la marca JUJIE, de uso industrial [41].



Figura 26. Sensor de Temperatura [41].

3.7 Sensor de Movimiento ST05C

El sensor de movimiento o presencia es dispositivo electrónico que detecta cualquier tipo de movimiento físico en un área específica y pone en funcionamiento un sistema (encendido y apagado), se utiliza principalmente para sistemas de ventilación, climatización, iluminación y aplicaciones en el ámbito de seguridad, ayudando a tener un ahorro y eficiencia energética [42].

El sensor ST05C es un detector de movimiento infrarrojo (PIR), es ideal para la instalación en la superficie del techo interior (IP20). Tiene un rango de detección de 360°, un alcance de 6mts y una carga máxima soportada de 2000W (Incandescente.) o 1000W (LED) [43].



Figura 27. Sensor de Movimiento ST05C [43].

4. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente proyecto de investigación, se efectúa el dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico para energizar un sistema de ventilación para mejorar el ambiente de trabajo en el laboratorio de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi estableciendo los diversos parámetros eléctricos necesarios para la investigación, por otra parte, las técnicas, métodos y tipos de investigación estarán acordes al estudio.

4.1 Tipos de Investigación

4.1.1 Investigación Bibliográfica

El presente proyecto de investigación se realizará mediante la recopilación de información en libros, artículos científicos, tesis y papers dedicados a los sistemas de energía solar fotovoltaica siendo de guía para el análisis y dimensionamiento del sistema a implementar.

4.1.2 Investigación Descriptiva

Esta investigación se utiliza para detallar el sistema solar fotovoltaico, además de los elementos que van a ser energizados por el mismo.

4.1.3 Investigación de Campo

Este tipo de investigación se empleará para la recolección de datos del lugar donde va a ser instalado el sistema de ventilación y sistema fotovoltaico permitiendo su dimensionamiento.

4.2 Métodos de Investigación

4.2.1 Método Deductivo

Se lo empleó este método para deducir los conocimientos obtenidos de fuentes bibliográficas, y aplicarlos en el dimensionamiento del sistema fotovoltaico conectado a la red.

4.2.2 Método Analítico

Este método permite analizar el comportamiento y las propiedades de los elementos que conforman el sistema fotovoltaico y así hacer un dimensionamiento adecuado para abastecer la demanda generada por parte del sistema de ventilación a implementar.

4.3 Técnicas de investigación

4.3.1 Lectura Comprensiva

La lectura comprensiva estará presente en todo nuestro proyecto investigativo ya que necesitaremos analizar la información de diferentes autores y sacar una idea común para dirigir nuestro proyecto a una solución viable.

4.3.2 Interpretación de la información

Esta técnica se utilizó para analizar e interpretar la información de nuestro proyecto de investigación, ya que a partir de una base teórica bien fundamentada se pudo realizar un dimensionamiento del sistema fotovoltaico adecuado para no tener inconvenientes al abastecer la carga del sistema de ventilación.

4.3.3 Cálculo

El cálculo fue fundamente para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, con él se pudo obtener el número de paneles, inversor, generación eléctrica, reducción de emisiones de CO2 y presupuesto del proyecto.

4.4 Instrumentos

4.4.1 Programa AutoCAD

Se utilizó este programa para el diseño de los esquemas eléctricos correspondientes al estudio del sistema fotovoltaico On Grid.

4.4.2 Programa PVsyst

Con este software se obtuvo los datos de irradiación sobre la Universidad Técnica de Cotopaxi necesarios para el diseño del sistema fotovoltaico.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 Ubicación Geográfica Del Proyecto

El presente proyecto de investigación se realizó dentro de la Universidad Técnica de Cotopaxi, la cual su área está delimitada con color rojo como se puede observar en la Figura 28 y el Laboratorio de Alto Voltaje de la Carrera de Ingeniería Eléctrica con color amarillo.



Figura 28. Ubicación geográfica del Laboratorio de Alto Voltaje [44].



Figura 29. Laboratorios de CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Con la ayuda Google Earth se pudo dar más detalles de la ubicación del proyecto que se pueden apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1. Ubicación del Laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi [44].

Datos de Ubicación del Proyecto	
Dirección	Avenida Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe
Ciudad	Latacunga
Provincia	Cotopaxi
País	Ecuador
Grados decimales	Latitud: -0.918961° Longitud: -78.632560°
Grados, minutos y segundos	Latitud: 0°55'8.26"S Longitud: 78°37'57.22"O
Hemisferio	Sur
Altura sobre el nivel del mar	2795 m

5.2 Sistema Fotovoltaico Conectado A La Red

5.2.1 Consumo Energético

En la Tabla 2 se detalla el consumo eléctrico de la carga, el cual permitió obtener el valor de la energía diaria necesaria para el diseño del sistema fotovoltaico.

Tabla 2. Estimación del Consumo de Energía del Sistema de Ventilación.

Demanda Eléctrica					
Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Potencia Total (W)	Uso diario (h)	Energía (Wh/día)
Ventilador	4	75	300	5	1500
Potencia Total Instalada			300 W		
Energía Requerida por Día			1.5 kWh/día		

Se determinó que el valor de la energía diaria requerida en el sistema es de $W_d = 1500$ Wh/día.

5.2.2 Recurso Solar Disponible

Para determinar el recurso solar disponible se tomaron datos de la radiación solar que incide en el lugar de instalación del proyecto donde se eligió el promedio de 3 bases de datos meteorológicas las cuales tienen datos satelitales que se encuentran disponibles para Ecuador:

- NASA Surface Meteorology and Solar Energy.
- Global Solar Atlas.
- 1998-2016 NSRDB: National Solar Radiation Database.

Tabla 3. Radiación global promedio diaria sobre la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Irradiación Promedio Diaria kWh/ (m2* día)				
MES	NASA	PVGIS	NSRDB	PROMEDIO
Enero	4,14	4,93	4,85	4,50
Febrero	4,35	5,08	4,76	4,56
Marzo	4,55	4,44	3,96	4,26
Abril	4,33	4,63	3,81	4,07
Mayo	4,12	4,39	3,70	3,91
Junio	4,02	4,39	4,06	4,04
Julio	4,27	5,05	4,37	4,32
Agosto	4,46	4,67	4,58	4,52
Septiembre	4,27	5,24	3,92	4,10
Octubre	4,24	5,21	4,33	4,29
Noviembre	4,30	5,42	5,40	4,85
Diciembre	3,98	5,50	4,32	4,15
Anual	4,25	4,91	4,34	4,30

Realizando el promedio anual de los datos obtenidos nos da como resultado una irradiación promedio diaria de 4.30 kWh/ (m² * día), este dato se utilizará más adelante para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

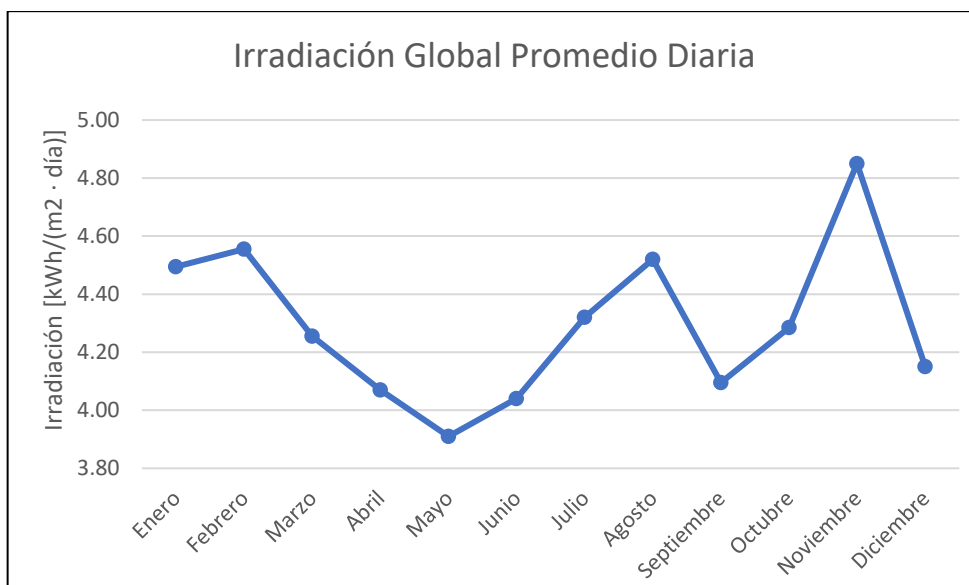


Figura 30. Curva de la irradiación global promedio diaria.

En la Figura 30 observamos la curva anual de irradiación, mientras que en la Figura 31 tenemos en forma de columnas los datos obtenidos.

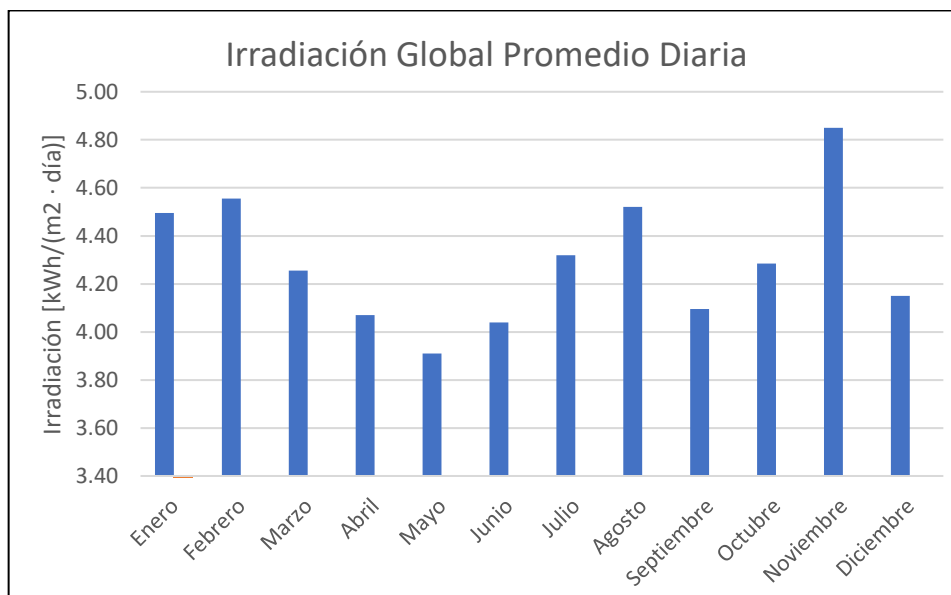


Figura 31. Datos de la irradiación global promedio diaria.

A continuación, en la Figura 32 se tiene los dos gráficos anteriores en uno solo junto con una línea roja de recomendación que indica que a partir de la línea hacia arriba es recomendable la generación con energía solar. Como se puede observar a excepción del mes de mayo, en todos los meses se tiene una irradiación por encima de la línea roja.

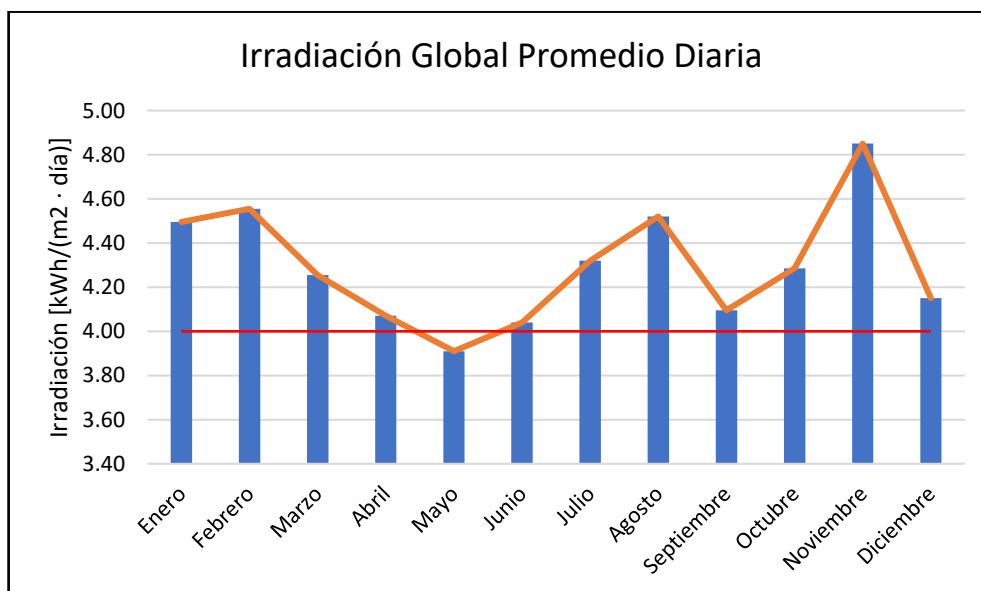


Figura 32. Irradiación global promedio diaria.

Teniendo en cuenta el objetivo de un sistema fotovoltaico conectado a la red y que en todos los meses del año no se obtiene la misma irradiación solar, se estableció un promedio anual de la irradiación solar para el cálculo de la hora solar pico (HSP) disponible para obtener la mayor producción de energía posible por el sistema fotovoltaico.


$$HSP = \frac{\text{Irradiación promedio}}{1000 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{día})} = \frac{4300 \text{ Wh}/(\text{m}^2 * \text{día})}{1000 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{día})} = 4.30 \text{ h}$$

5.2.3 Dimensionamiento (SFCR)

5.2.3.1 Parámetros de los Equipos a Utilizar


Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico conectado a la red se empleó paneles fotovoltaicos ECO GREEN ENERGY LMTD modelo EGE-270P-60. En la Tabla 4 se indican las principales características del dispositivo.

Tabla 4. Características del panel fotovoltaico.

Módulo Fotovoltaico ECO GREEN ENERGY LMTD	
	
Características Generales - Eléctricas	Modelo EGE-270P-60
Potencia nominal (Pnom)	270Wp
Voltaje de Circuito Abierto (Voc)	38,45
Corriente de cortocircuito (Isc)	9,03
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmax)	31,44
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	8,59
Eficiencia	16,60%
Coeficiente de temperatura de Pmax	-0,41 %/°C
Coeficiente de temperatura de Voc	-0,31 %/°C
Coeficiente de temperatura de Isc	0,06 %/°C
Voltaje máximo del sistema	1500V
Límite de corriente	15 Amp
Tipo de células	Policristalino
Dimensiones (L*W*H)	164x99,2x3,5 cm
Peso	18,8 kg

También se empleó un inversor de GROWATT modelo MIC 2000TL-X. En la Tabla 5 se indican las principales características del dispositivo.

Tabla 5. Características del inversor On Grid.

Inversor GROWATT	
	
Características Generales - Eléctricas	Modelo MIC 2000TL-X
Peso (Kg)	6
Dimensiones (mm)	274 x 254 x 138 mm
Datos de entrada	
Potencia FV recomendada	2800 W
Voltaje máx. DC	500 V
Voltaje de funcionamiento	80 V
Voltaje nominal	360 V
Rango de voltaje de MPPT	50V - 500 V
Corriente máx.	13 A
Cantidad de MPPT	1
Datos de salida	
Potencia nominal CA	2000 W
Voltaje nominal de CA	220 V
Corriente máxima CA	9,5 A
Frecuencia nominal de red	50/60 HZ
Factor de potencia	0,8
Distorsión armónica total	< 3
Eficiencia máxima	97,40%

5.2.3.3 Generación Solar

Según los datos que se recopiló de diferentes fuentes fiables sobre el recurso solar disponible en el lugar de instalación del proyecto, disponemos en promedio de una radiación global media de 4.30 kWh/(m² * día). Los módulos instalados tienen una potencia nominal de 270 Wp, los cuales tienen un área de 1.62 m² y una eficiencia de conversión del 16.6%.

De los 4.30 kWh/(m² * día) de irradiación disponible, un panel con un área de 1.62 m² aproximadamente solo generará un 16.6% de la radiación disponible.

Para determinar la energía que generará al día un módulo, se ocupó la siguiente fórmula:

$$\text{Energía}_{\text{módulo}} = G_{di} * \text{Área de captación del módulo} * \eta_{\text{módulo}} \quad (39)$$

$$\text{Energía}_{\text{módulo}} = 4.30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 * \text{día}) * 1.62 \text{ m}^2 * 0.166$$

$$\text{Energía}_{\text{módulo}} = 1.15 \text{ kWh}/\text{día}$$

En teoría un solo módulo de 270 Wp generará 1.15 kWh/día. Como siguiente paso se restó un 20% de pérdidas del sistema, a la energía que puede generar un módulo fotovoltaico, este valor es un estándar que se puede aplicar al no contar con estudios específicos de pérdidas.

Recalculando obtenemos la producción de energía diaria:

$$\text{Energía}_{\text{diaria}} = 1.15 \text{ kWh/día} - 20\% \text{ pérdidas}$$

$$\text{Energía}_{\text{diaria}} = 0.92 \text{ kWh/día}$$

Como resultado final tenemos que cada módulo podrá generar 0.92 kWh/día.

5.2.3.4 Paneles necesarios para cubrir la demanda

La demanda que se debe cubrir es de 1.5 kWh/día y la producción media diaria por módulo de acuerdo a lo calculado es de 0.92 kWh/día. Para determinar el número total de paneles necesarios para cubrir la demanda debemos aplicar la siguiente ecuación:

$$N_T = \frac{\text{Energía requerida}}{\text{Energía producida}} \quad (40)$$

$$N_T = \frac{1.5 \text{ kWh/día}}{0.92 \text{ kWh/día}} = 1.63 \approx 2 \text{ paneles}$$

La potencia solar a instalar es:

$$\text{Potencia FV}_{\text{total}} = 270 \text{ W} * 2 \text{ paneles solares}$$

$$\text{Potencia FV}_{\text{total}} = 540 \text{ W}$$

Comprobando:

$$\text{Potencia requerida} < \text{Potencia instalada}$$

$$300 \text{ W} < 540 \text{ W}$$

La energía que se genera es:

$$\text{Energía}_{\text{diaria}} = 0.92 \text{ kWh/día} * 2 \text{ paneles solares}$$

$$\text{Energía}_{\text{diaria}} = 1.84 \text{ kWh}$$

Comprobando:

$$\text{Energía requerida} < \text{Energía generada}$$

$$1.5 \text{ kWh} < 1.84 \text{ kWh}$$

De acuerdo a los resultados obtenidos, dos paneles solares serían suficientes para abastecer de energía eléctrica a los ventiladores instalados. Pero también hay que tener en cuenta el voltaje de funcionamiento del inversor el cual se va a comprobar a continuación si cumple con el requerimiento mínimo para su funcionamiento.

5.2.3.5 Configuración del arreglo fotovoltaico

Los paneles fotovoltaicos trabajando en condiciones reales de funcionamiento tienen un porcentaje de pérdidas de rendimiento por efecto de la temperatura que puede hacer variar la potencia máxima que entrega el panel. Debido a que el montaje de los paneles se lo va a realizar paralelo a una cubierta de zinc la temperatura de trabajo en el panel, podrá aumentar entre 30°C y 50°C sobre la temperatura ambiente.

Para efectos de cálculo, el valor que se tomará de la temperatura máxima de trabajo será de 50°C sobre su temperatura media máxima del lugar de instalación.

Temperatura ambiente media mínima: -2°C

Temperatura ambiente media máxima: 20°C + 30°C = 50°C

Los parámetros del módulo fotovoltaico en el rango de temperaturas de -2 y 50 °C son calculados mediante la ecuación 28.

Valor máximo en el punto máxima potencia del módulo fotovoltaico.

$$V_{\text{mppmax}}(-2^{\circ}\text{C}) = V_{\text{mpp}} * \left[1 + \frac{\beta}{100} * (T - 25) \right]$$

$$V_{\text{mppmax}}(-2^{\circ}\text{C}) = 31.44 * \left[1 + \frac{-0,41}{100} * (-2^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) \right]$$

$$V_{\text{mppmax}}(-2^{\circ}\text{C}) = 34.92 \text{ V}$$

Valor mínimo en el punto máxima potencia del módulo fotovoltaico.

$$V_{\text{mppmin}}(50^{\circ}\text{C}) = V_{\text{mpp}} * \left[1 + \frac{\beta}{100} * (T - 25) \right]$$

$$V_{\text{mppmin}}(50^{\circ}\text{C}) = 31.44 * \left[1 + \frac{-0,41}{100} * (50 - 25) \right]$$

$$V_{\text{mppmin}}(50^{\circ}\text{C}) = 28.21 \text{ V}$$

Voltaje máximo en vacío del módulo fotovoltaico

$$V_{OCmax}(-2^{\circ}C) = V_{OC} * \left[1 + \frac{\beta}{100} * (T - 25) \right]$$

$$V_{OCmax}(-2^{\circ}C) = 38.45 * \left[1 + \frac{-0.31}{100} * (-2^{\circ}C - 25^{\circ}C) \right]$$

$$V_{OCmax}(-2^{\circ}C) = 41.66 \text{ V}$$

Voltaje mínimo en vacío del módulo fotovoltaico

$$V_{OCmin}(50^{\circ}C) = V_{OC} * \left[1 + \frac{\beta}{100} * (T - 25) \right]$$

$$V_{OCmin}(50^{\circ}C) = 38.45 * \left[1 + \frac{-0.31}{100} * (50^{\circ}C - 25^{\circ}C) \right]$$

$$V_{OCmin}(50^{\circ}C) = 35.47 \text{ V}$$

Posteriormente se procede a comprobar si el voltaje mínimo que alcanzan los módulos fotovoltaicos a 50° abastasen el funcionamiento del inversor.

Voltaje de funcionamiento del inversor: 80 V

Voltaje a 50° que entrega cada módulo al inversor: 28.21 V

$$V_{\text{funcionamiento del inversor}} < V_{\text{mpp}}(50^{\circ})$$

$$80V < 28.21 \text{ V} * 2 \text{ módulos fv}$$

$$80V < 56.42 \text{ V}$$

Se pudo comprobar que dos módulos fotovoltaicos no son suficientes para el funcionamiento del inversor. Como el voltaje de entrada del inversor no puede ser inferior a 80V, se realizó nuevamente el cálculo de la configuración del arreglo fotovoltaico con la ecuación 35.

$$N_s \geq \frac{V_{\text{invmin}}}{V_{\text{mpp}}(50^{\circ}C)} = \frac{80 \text{ V}}{28.21 \text{ V}} = 2.83 \approx 3$$

$$N_s \geq \frac{V_{\text{invmin}}}{V_{OC}(50^{\circ}C)} = \frac{80 \text{ V}}{35.47 \text{ V}} = 2.55 \approx 3$$

Como resultado se tuvo que para el funcionamiento del inversor se debe conectar al inversor como mínimo tres módulos fotovoltaicos en serie.

La corriente continua máxima de entrada al inversor es de 13 A, por tanto, el número de módulos en paralelo será menor o igual, el cálculo se realizó con la ecuación 33.

$$N_P \leq \frac{I_{inv \max}}{1.25 * I_{SC}} = \frac{13 \text{ A}}{1.25 * 9.03 \text{ A}} = 1.15 \approx 1$$

Después se realizó una comprobación para que el arreglo fotovoltaico cumpla con las condiciones de funcionamiento adecuados.

Voltaje de entrada de funcionamiento del inversor 80 VDC,

$$V_{mpp (50^\circ\text{C})} = V_{(50^\circ\text{C})} * N_s \text{min} \quad (41)$$

$$V_{mpp (50^\circ\text{C})} = 28.21 \text{ V} * 3$$

$$V_{mpp (50^\circ\text{C})} = 84.65 \text{ V}$$

$$V_{inv \text{ min}} \leq V_{mpp (50^\circ\text{C})}$$

$$\mathbf{80 \text{ V} \leq 84.65 \text{ V}}$$

$$V_{OC (50^\circ\text{C})} = V_{(50^\circ\text{C})} * N_s \text{min} \quad (42)$$

$$V_{OC (50^\circ\text{C})} = 35.47 \text{ V} * 3$$

$$V_{OC (50^\circ\text{C})} = 106.41 \text{ V}$$

$$V_{inv \text{ min}} \leq V_{OC (50^\circ\text{C})}$$

$$\mathbf{80 \text{ V} \leq 106.47 \text{ V}}$$

Se comprobó que se cumple con la condición de que el voltaje resultante del arreglo fotovoltaico sea mayor al voltaje de funcionamiento del inversor.

Corriente máxima a la entrada del inversor (13 A).

$$I_{\max \text{ inversor}} \geq I_{sc \text{ módulo}}$$

$$\mathbf{13 \text{ A} \geq 8.59 \text{ A}}$$

Se comprobó que se cumplió con la condición de que la corriente del arreglo fotovoltaico no sea mayor a la corriente máxima que admite del inversor.

Es así que, el arreglo fotovoltaico para cubrir la demanda del sistema de ventilación quedó de la siguiente manera:

Tres paneles fotovoltaicos en serie conectado a un inverso On Grid.

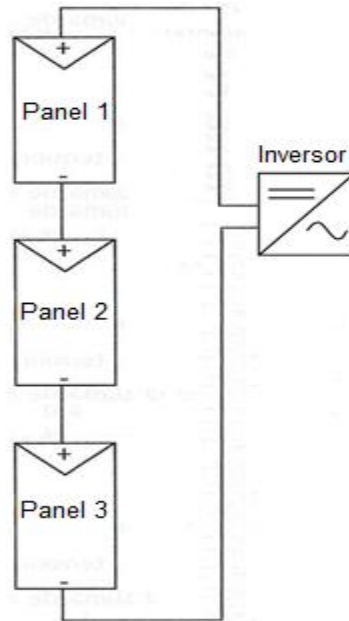


Figura 33. Sistema fotovoltaico resultante.

La potencia solar a instalar es:

$$\text{Potencia FV}_{\text{total}} = 270 \text{ W} * 3 \text{ paneles solares}$$

$$\text{Potencia FV}_{\text{total}} = 810 \text{ W}$$

La energía que se generará es:

$$\text{Energía}_{\text{diaria}} = 0.92 \text{ kWh/día} * 3 \text{ paneles solares}$$

$$\text{Energía}_{\text{diaria}} = 2.76 \text{ kWh}$$

Después de comprobar que todos los parámetros cumplen para el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico, como tenemos que la potencia a instalar es de 810W del arreglo fotovoltaico y va generar 2.76 kWh al día.

5.2.3.6 Resumen de los parámetros obtenidos

A continuación, se tiene el resumen de los parámetros del arreglo fotovoltaico calculados necesarios para cubrir la carga de los ventiladores:

Tabla 6. Datos del arreglo fotovoltaico resultante.

PARÁMETROS	ARREGLO FV
Potencia (Wp)	$P_{\text{picoFV}} = 810 \text{ W}$
Área Ocupada	3.24 m^2
Tensión de Circuito abierto (V_{OC})	$V_{\text{OCmin}}(50^{\circ}\text{C}) = 35.47 \text{ V}$ $V_{\text{OCArregloFV}} = 106.47 \text{ V}$
Tensión en el punto de máxima potencia	$V_{\text{mppmax}}(-2^{\circ}\text{C}) = 28.21 \text{ V}$ $V_{\text{mppArregloFV}} = 84.65 \text{ V}$
Intensidad de cortocircuito (I_{SC})	$I_{\text{SCmax}} = 9.03 \text{ A}$ $I_{\text{SCArregloFV}} = 9.03 \text{ A}$
Asociación fotovoltaica $N_p \times N_s$	1×3

5.2.3.7 Cálculos para la optimización del rendimiento del inversor

Para aprovechar toda la potencia del inversor se realizó el cálculo con la ecuación 36, del número máximo de módulos fotovoltaicos que se pueden conectar en serie al inversor.

La tensión máxima no debe sobrepasar los 500 V.

$$N_s \leq \frac{V_{\text{inv max}}}{V_{\text{mpp}}(-2^{\circ}\text{C})} = \frac{500 \text{ V}}{34.92 \text{ V}} = 14.31 \approx 14$$

$$N_s \leq \frac{V_{\text{inv max}}}{V_{\text{oc}}(-2^{\circ}\text{C})} = \frac{500 \text{ V}}{41.66 \text{ V}} = 11.91 \approx 11$$

Como resultado se obtuvo las siguientes condiciones impuestas por el inversor:

$$N_p \leq 1$$

$$3 \leq N_s \leq 11$$

Para aprovechar toda la potencia del inversor y obtener su mayor rendimiento se sugiere la siguiente configuración de acuerdo a los cálculos realizados en la Tabla 7:

Con la ecuación 20 obtenemos el fp recomendado para maximizar el rendimiento del inversor:

$$f_p = \frac{2000 \text{ W}}{2160 \text{ W}} = 0.93$$

Tabla 7. Asociación recomendada para maximizar el rendimiento del inversor.

Asociación serie-paralelo									
N_T	$N_S=3$	$N_S=4$	$N_S=5$	$N_S=6$	$N_S=7$	$N_S=8$	$N_S=9$	$N_S=10$	$N_S=11$
$N_P = 1$	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$P_T(\text{Wp})$	810	1080	1350	1620	1890	2160	2430	2700	2970
f_p	2.47	1.85	1.48	1.23	1.06	0.93	0.82	0.74	0.67

La asociación serie-paralelo que nos da como resultado para maximizar el rendimiento del inversor es la siguiente:

$$N_S = 8 \text{ paneles en serie}$$

$$N_P = 1 \text{ string}$$

Para finalizar se verificó que se cumpla con todas las condiciones necesarias para el correcto funcionamiento de todo el sistema. El voltaje de entrada al inversor no puede ser superior a 500V.

Voltaje máximo en el punto de máxima potencia.

$$V_{\text{mpp}(-2^\circ\text{C})} = V_{(-2^\circ\text{C})} * N_S \text{max} \quad (43)$$

$$V_{\text{mpp}(-2^\circ\text{C})} = 34.92 \text{ V} * 8$$

$$V_{\text{mpp}(-2^\circ\text{C})} = 279.36 \text{ V}$$

$$V_{\text{inv max}} \leq V_{\text{mpp}(-2^\circ\text{C})}$$

$$\mathbf{500 \text{ V} \leq 279.36 \text{ V}}$$

Voltaje máximo en vacío

$$V_{\text{OC}(-2^\circ\text{C})} = V_{\text{OC}(-2^\circ\text{C})} * N_S \text{max} \quad (44)$$

$$V_{\text{OC}(-2^\circ\text{C})} = 41.66 \text{ V} * 8$$

$$V_{\text{OC}(-2^\circ\text{C})} = 333.28 \text{ V}$$

$$V_{\text{inv max}} \geq V_{\text{G OC}(-2^\circ\text{C})}$$

$$\mathbf{500 \text{ V} \geq 333.28 \text{ V}}$$

Se comprobó que se cumplió con la condición de que el voltaje del arreglo fotovoltaico no sea mayor al voltaje máximo que admite del inversor.

Tabla 8. Verificación de parámetros del sistema fotovoltaico sugerido.

Verificación de Parámetros Del Sistema Fotovoltaico $N_S = 8$ y $N_P = 1$				
PARÁMETRO	INVERSOR		ARREGLO FV	
Potencia (Wp)	$P_{INVmax} = 2600$	\geq	$P_{picoFV} = 2160$	CUMPLE
Tensión de Circuito abierto (V_{OC})	$V_{DC\ INVmax} = 500\ V$	\geq	$V_{OCmax}(-2^\circ C) = 41,66\ V$ $V_{OCFV} = 333.28\ V$	CUMPLE
Intensidad de cortocircuito (I_{SC})	$I_{SC\ INVmax} = 16\ A$	\geq	$I_{SCmax} = 9.03\ A$ $I_{SCFV} = 9.03\ A$	CUMPLE
Tensión en el punto de máxima potencia	$V_{mpp\ INVmax} = 500\ V$	\geq	$V_{mppmax}(-2^\circ C) = 34.92\ V$ $V_{mppFV} = 279.36\ V$	CUMPLE
Intensidad en el punto de máxima potencia	$I_{mpp\ INVmax} = 13\ V$	\geq	$I_{mpp} = 8.59\ A$ $I_{mppFV} = 8.59\ A$	CUMPLE

5.2.4 Inclinación y Orientación

5.2.4.1 Angulo de inclinación

Para garantizar la mayor captación de radiación solar se utiliza la ecuación 37, con la que obtenemos la inclinación adecuada para que módulos fotovoltaicos trabajen de forma óptima.

Latitud del lugar de instalación del proyecto -0.918961°

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0,69 * 0,9189$$

$$\beta_{opt} = 4.33^\circ \approx 15^\circ$$

Sin embargo, es necesario que la inclinación del módulo fotovoltaico no sea menor de 15° , para permitir que la suciedad acumulada sobre su superficie sea retirada por el agua de lluvia. A continuación, con la ecuación 38 se calcula las pérdidas al subir el nivel.

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 * [1.2 * 10^{-4} * (15 - 0.918961 + 10)^2]$$

$$\text{Pérdidas (\%)} = 6.95 \%$$

El resultado de las pérdidas es menor al límite del 10% admisible por efecto de sombra, orientación e inclinación.

5.2.4.2 Orientación

Es importante elegir una correcta orientación, por lo cual, se determinó el sur geográfico y surge como resultado un ángulo azimut (α) de 22° .

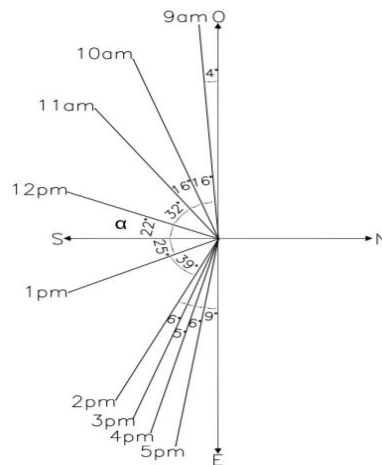


Figura 34. Sur geográfico del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi [11].

En la siguiente figura se visualiza la dirección del panel fotovoltaico.

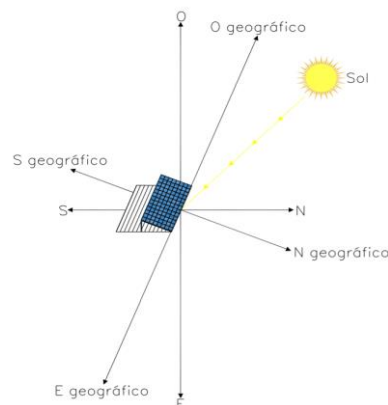


Figura 35. Panel fotovoltaico orientado hacia el sur geográfico [11].

5.2.5 Energía Anual Producida

Para obtener la energía de un mes del año, primero debe calcularse $G_{dm}(\alpha, \beta)$. Para el cálculo se empezó con el mes de enero que tiene el valor de 4.50 kWh/(m²*día) (Tabla 3).

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm} * \text{Perdidas de orientacion e inclinacion} \quad (45)$$

$$G_{dm}(\alpha = 22^\circ, \beta = 15^\circ) = 4.50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 * \text{día}) * (100\% - 6.95\%)$$

$$G_{dm}(\alpha = 22^\circ, \beta = 15^\circ) = 4.19 \text{ kWh}/(\text{m}^2 * \text{día})$$

El coeficiente de rendimiento 0.80 del sistema fotovoltaico que considera las pérdidas en los módulos por temperatura, pérdidas totales CC, perdidas de conversión DC/AC, perdidas por reflexión y pérdidas totales en CA.

$$E_d = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) * P_{Gmax} * PR}{G_{GEM}} \quad (46)$$

Donde:

E_d : Energía diaria producida (kWh/día).

$G_{dm}(\alpha, \beta)$: Valor mensual de irradiación diaria sobre el plano del generador.

P_{Gmax} : Potencia máxima o pico del arreglo fotovoltaico.

PR: Rendimiento energético de la instalación. Valores típicos 0.65-0.8.

G_{GEM} : Irradiación en condiciones estándar (STC = 1000 W/m²).

$$E_d = \frac{4.19 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{día}} * 0.81 \text{ kW} * 0,8}{1 \text{ kW}/\text{m}^2}$$

$$E_d = 2.71 \text{ kWh}/\text{día}$$

Como paso final se multiplicó la energía resultante por el total de días que tiene el mes de enero para obtener la energía que se generara mensualmente.

$$E_{\text{mesual}} = 2.71 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * 31 \text{ dias}$$

$$E_{\text{mesual}} = 84.11 \text{ kWh}$$

A continuación, en la Tabla 9 se presenta la energía diaria, mensual y anual que será generada por el sistema fotovoltaico:

Tabla 9. Energía diaria, mensual y anual generada por el sistema fotovoltaico.

MES	G _{dm}	G _{dm} (α, β)	PR	Energía diaria	Días del mes	Energía mensual
Enero	4,50	4,19	0,8	2,71	31	84,11
Febrero	4,56	4,24	0,8	2,75	28	76,90
Marzo	4,26	3,96	0,8	2,57	31	79,53
Abril	4,07	3,79	0,8	2,45	30	73,62
Mayo	3,91	3,64	0,8	2,36	31	73,09
Junio	4,04	3,76	0,8	2,44	30	73,08
Julio	4,32	4,02	0,8	2,60	31	80,75
Agosto	4,52	4,21	0,8	2,73	31	84,49
Septiembre	4,10	3,81	0,8	2,47	30	74,07
Octubre	4,29	3,99	0,8	2,58	31	80,09
Noviembre	4,85	4,51	0,8	2,92	30	87,73
Diciembre	4,15	3,86	0,8	2,50	31	77,57
Energía anual (kWh/año)						945,04

De acuerdo al pliego tarifario, se determinó el ahorro monetario por concepto de energía facturada. La Universidad Técnica de Cotopaxi al ser una entidad de beneficio público, está en la categoría general [45].

El sistema fotovoltaico ha sido dimensionado para funcionar 5 horas durante el día es por eso de modo que el costo del kWh es de 0.065 USD/kWh.

PERIODO:

ENERO - DICIEMBRE *

EMPRESAS ELÉCTRICAS:

AMBATO - AZOGUES - CNEL BOLÍVAR - CENTROSUR - COTOPAXI - NORTE - RIOBAMBA - SUR

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS

ENERO - DICIEMBRE **

NIVEL VOLTAJE	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	
1-300 Superior	BOMBEO AGUA - COMUNIDADES CAMPESINAS DE ESCASOS RECURSOS ECONÓMICOS SIN FINES DE LUCRO	
		0,040
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	ASISTENCIA SOCIAL, BENEFICIO PÚBLICO Y CULTO RELIGIOSO CON DEMANDA	
	3,000	0,065
	ASISTENCIA SOCIAL Y BENEFICIO PÚBLICO CON DEMANDA HORARIA	
	3,000	0,065
		0,054
		1,414

Figura 36. Extracto del pliego tarifario 2020 [45].

5.2.5.1 Ahorro por concepto de energía facturada

Lo siguiente es el cálculo del ahorro monetario por concepto de energía facturada, el cual se va a empezar por el mes de enero:

$$\text{Ahorro (USD)} = (E_{\text{mes}} \text{ kWh}) * (\text{carga por energía USD/kWh}) \quad (47)$$

$$\text{Ahorro mensual (USD)} = (84.11 \text{ kWh}) * (0.065 \text{ USD/kWh})$$

$$\text{Ahorro mensual (USD)} = 5.46 \text{ USD}$$

Como resultado se tuvo que en el mes de enero la Universidad Técnica de Cotopaxi podrá ahorrar la cantidad de \$5.46 por concepto de energía facturada.

A continuación, en la Tabla 10 se presenta el ahorro anual:

Tabla 10. Ahorro anual por concepto de energía facturada.

MES	AHORRO
Enero	5,47
Febrero	5,00
Marzo	5,17
Abril	4,79
Mayo	4,75
Junio	4,75
Julio	5,25
Agosto	5,49
Septiembre	4,81
Octubre	5,21
Noviembre	5,70
Diciembre	5,04
Ahorro anual	\$61,43

Como resultado se tuvo que la Universidad Técnica de Cotopaxi podrá ahorrar anualmente la cantidad de \$61.43 por concepto de energía facturada.

5.2.5.1 Factor de planta

Con la ecuación 14, se calcula el factor de planta del sistema fotovoltaico.

$$F_{PL} = \frac{945.04 \text{ kWh}}{0.810 \text{ kW} * 8760 \text{ h}} * 100\% = 13.31 \%$$

El 13.31% es un parámetro que indica la capacidad máxima nominal con la que el sistema fotovoltaico funcionara en el transcurso del año.

5.2.5.2 Costo de la energía solar

El costo de la energía considerando los costos asociados al sistema fotovoltaico y el total de energía generada durante su vida útil se lo calcula con la siguiente formula:

$$\text{Costo (USD)} = \frac{\text{Inversión total}}{\text{Energía durante su vida útil}} \quad (48)$$

$$\text{Costo (USD)} = \frac{2481.92}{945.04 * 20} = 0.13 \text{ USD/kWh}$$

Al utilizar energía solar, el combustible es gratuitos y los costos de operación y mantenimiento son mínimos. Por tanto, se puede calcular la energía a 15 años.

5.2.6 Reducción de Emisiones de CO₂ al Año

$$\text{Reducción de emisiones de CO}_2 = E_{F_{\text{grid,CM}}} * E_{\text{año}} \quad (49)$$

$$\text{Reducción de emisiones de CO}_2 = (0.6071 \text{ t CO}_2/\text{MWh}) * (0.94504 \text{ MWh/año})$$

$$\text{Reducción de emisiones de CO}_2 = 0.5737 \text{ t CO}_2/\text{MWh}$$

5.2.7 Implementación del Sistema Fotovoltaico

En la Figura 37 y Anexo L se detallan las medidas del laboratorio de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi, las cuales nos sirvieron para obtener el área disponible para la instalación de los paneles fotovoltaicos, mismo que fueron instalados en el techo aprovechando el espacio disponible que es de 189 m² de los cuales los paneles solo ocupan un 3.24 m².

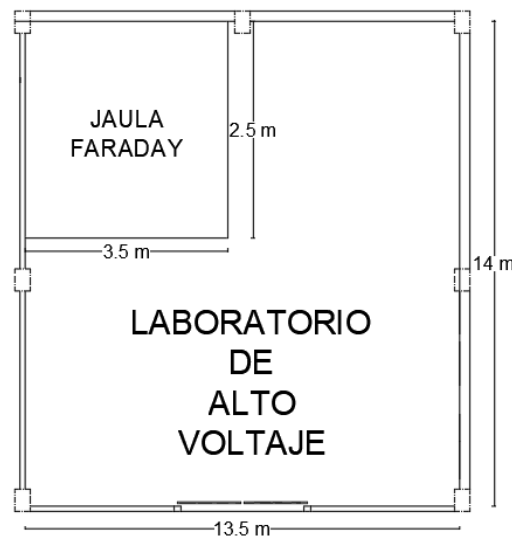


Figura 37. Espacio disponible para la implementación del proyecto.

Con las dimensiones del panel fotovoltaico, se construyó las estructuras para soportar los paneles, en la Figura 38 se observa como quedo la instalación de los paneles fotovoltaicos.



Figura 38. Paneles fotovoltaicos instalados en el techo del laboratorio de alto voltaje.

A continuación en la Figura 39 se observa el inversor Growatt instalado en el laboratorio de alto voltaje.



Figura 39. Inversor ON GRID Growatt de 2000W.

5.2.8 Monitoreo de los Parámetros del Sistema Fotovoltaico

Para el monitoreo de la generación de energía y los parámetros de entrada al inversor fue necesario los siguientes elementos:

5.2.8.1 Growatt SHINE WIFI-X



Figura 40. Data logger SHINE WIFI-X.

El dispositivo de Monitorización Growatt Shine Wifi-X es un componente que permite dotar de conexión Wifi al inversor Growatt implementado. Envía datos al servidor de Growatt ubicado en Frankfurt, Alemania, cada 5 minutos por lo que mediante la monitorización Wifi se pudo observar la representación de la producción en esos intervalos de tiempo. En caso de que se corte la conexión Wifi el data logger es capaz de almacenar los datos por 30 días.

5.2.8.2 Plataforma Shine de Growatt

El inversor Growatt nos da acceso a un portal de monitoreo que se puede visualizar desde:

ShinePhone APP: Es un software para la monitorización de la planta fotovoltaica de un teléfono móvil, donde se puede recopilar información del funcionamiento de la planta desde Growatt PV Data Center, como el rendimiento energético, los ingresos y el estado del sistema, a los que el usuario puede acceder de forma remota e inalámbrica.

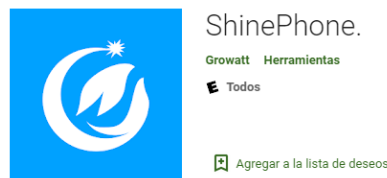


Figura 41. Logo de la aplicación ShinePhone APP en la tienda de Google Play.

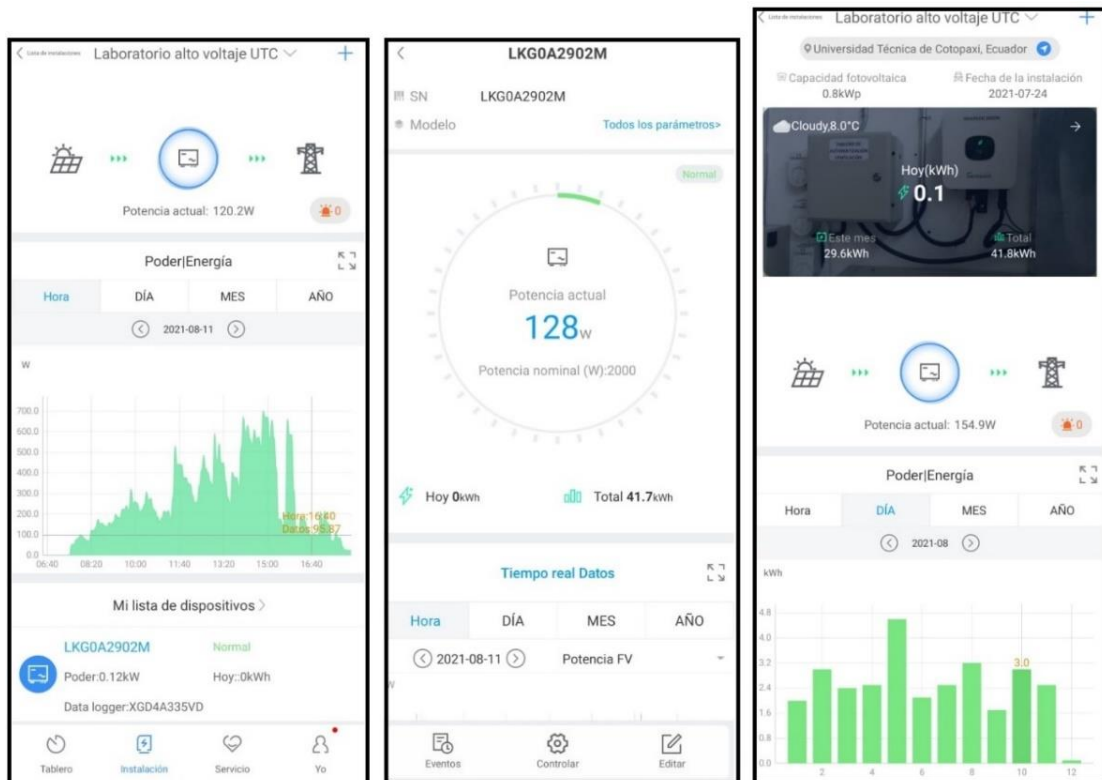


Figura 42. Imágenes de la aplicación ShinePhone APP.

Dentro de la aplicación se puede realizar lo siguiente:

- Obtener información de la planta fotovoltaica.
- Fácil configuración de la planta fotovoltaica.
- Gestión de dispositivos.
- Visualización y alerta de fallos.
- Ajuste de parámetros.

ShineServer: Ya sea para sistemas residenciales o comerciales, incluso para centrales fotovoltaicas, es una confiable solución de monitorización basada en Shine Server habilitada para Internet. Proporciona un acceso altamente interactivo e inmediato a los datos del sistema en cualquier momento y lugar. Las funciones de análisis e información ayudan a los propietarios y operadores a mejorar la productividad de la planta fotovoltaica y la eficiencia de las operaciones. En el Anexo S se especifica el manejo de la plataforma.

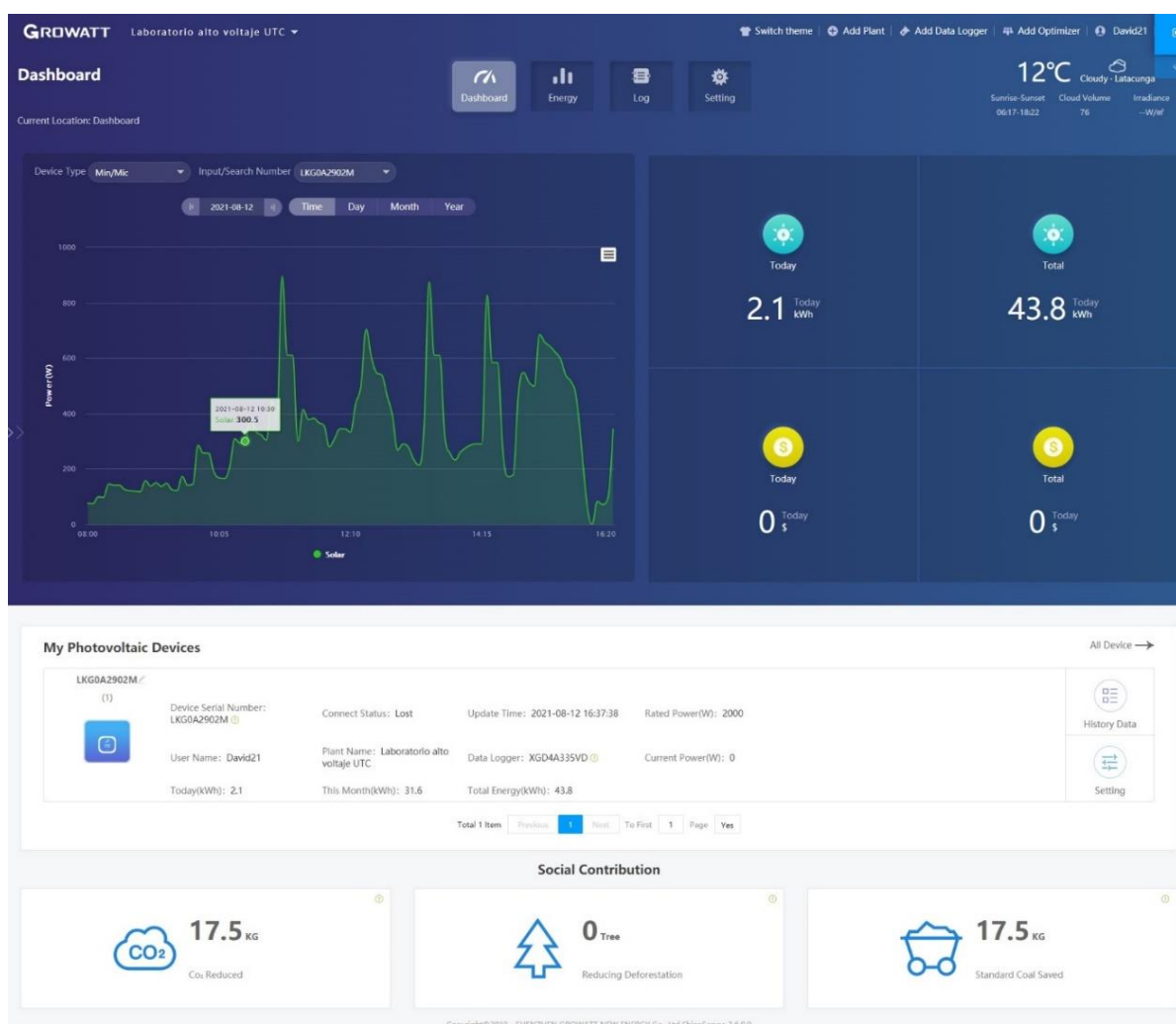


Figura 43. Interfaz de ShineServer.



Dentro de la plataforma se puede realizar lo siguiente:

- Visualización de la generación.
- Monitoreo del estado de los dispositivos.
- O&M remoto.
- Servicio en línea.
- Actualización remota.

5.2.8.3 Resultados del Sistema Fotovoltaico

Una vez concluido la instalación del sistema fotovoltaico fue sometido a pruebas de funcionamiento conectado al sistema de ventilación. A continuación, tenemos el promedio de los siete primeros días de trabajo del sistema:

Tabla 11. Promedio de datos entregados por el inversor

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI 2021  Ingeniería Eléctrica							
REGISTRO DE DATOS DEL INVERSOR GROWATT MIC 2000TL-X.							
INGENIERÍA ELÉCTRICA							
DE: 2021-07-28			HASTA: 2021-08-02			PRUEBAS	
NOMBRES: BASURTO JHONNY MISE HENRY							
DÍA	DC			AC			
	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (I)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (I)	Energía (kWh)
28/07/2021	431,68	90,24	5,00	424,65	218,36	1,94	2,5
29/07/2021	207,39	96,08	2,26	205,81	217,12	1,01	2,4
30/07/2021	252,12	94,45	2,81	248,74	217,90	1,33	2,9
31/07/2021	419,80	89,88	4,88	412,99	219,54	1,89	4,4
01/08/2021	192,39	95,43	2,05	188,54	220,23	0,98	2,2
02/08/2021	285,65	96,71	3,03	280,17	217,88	1,34	3
03/08/2021	208,44	91,94	2,22	204,17	206,91	0,99	2,4
PROMEDIO	285,35	93,53	3,18	280,72	216,85	1,35	2,83

En las Tabla 12 y 13 tenemos el inicio y fin de la generación de potencia durante los días de pruebas. Haciendo un promedio se puede notar que la generación empieza a partir de las 7am y termina a las 6:30pm, con 11:30 horas disponibles para generación de energía a partir de la radiación del sol.

Tabla 12. Inicio de la generación de cada día de prueba

INICIO DE LA GENERACIÓN							
FECHA	HORA	DC			AC		
		POTENCIA	V	I	POTENCIA	V	I
28/07/2021	11:44:36	389,9	86,6	4,4	375,3	215,5	1,7
29/07/2021	7:28:05	60,1	103,3	0,3	38,9	212,4	0,7
30/07/2021	7:36:01	68,3	94,7	0,8	68,7	218,1	0,9
31/07/2021	8:03:54	92,2	103	0,9	92,7	219,3	1,2
01/08/2021	8:01:34	50,5	94,4	0,5	49,7	219,9	1,3
02/08/2021	7:03:38	66	95	0,7	64,6	220,3	1,3
03/08/2021	7:13:29	64	100,6	0,5	62,8	216,1	0,8

Tabla 13. Fin de la generación de cada día de prueba

FIN DE LA GENERACIÓN							
FECHA	HORA	DC			AC		
		POTENCIA	V	I	POTENCIA	V	I
28/07/2021	17:53:31	18,3	80,7	0,2	18,8	220,8	0,3
29/07/2021	18:29:04	10	79,9	0,1	11,6	220,5	0,2
30/07/2021	18:33:43	9,6	72,1	0,1	11,4	218,7	0,2
31/07/2021	18:29:38	10,2	78,8	0,1	11,4	220,4	0,3
01/08/2021	18:29:40	10,1	65,6	0	9,9	219,4	0,2
02/08/2021	18:00:02	16,9	81,3	0,2	16,6	221,3	0,3
03/08/2021	18:20:52	10,3	77,8	0,1	10	219,4	0,2

En la Figura 44 se muestra la curva de potencia del día que se obtuvo la mayor producción de energía durante el periodo de prueba que fue de 4.40 kWh. Mientras que en la Figura 45 se muestra la curva de potencia del día que se obtuvo la menor producción de energía durante el periodo de prueba que fue de 2 kWh. En el Anexo A se encuentran las curvas de potencia de todos los días de prueba.

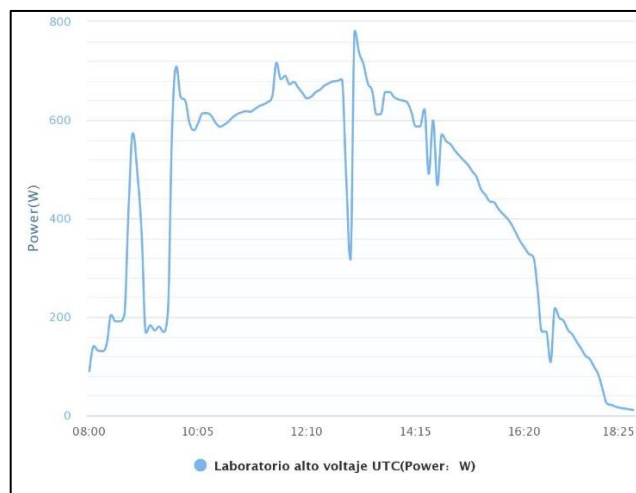


Figura 44. Curva de potencia obtenida el día 31/07/2021.

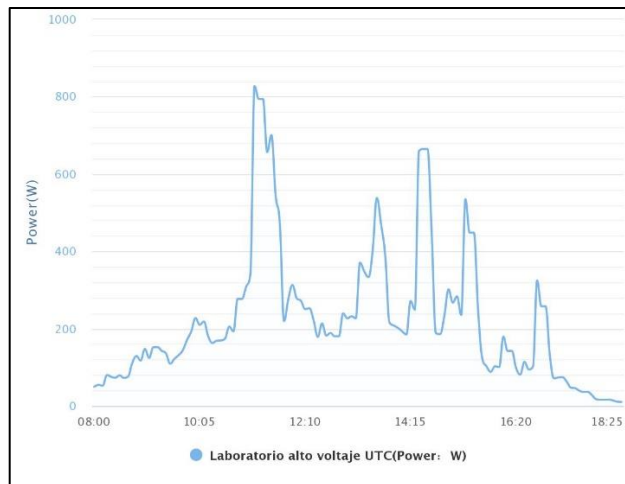




Figura 45. Curva de potencia obtenida el día 01/08/2021.

Debido a que al comienzo y final del día la generación de potencia es mínima afecta el promedio final del día, es por eso que se realizó nuevamente un promedio, pero esta vez se empezó desde las 11am hasta las 4pm, exactamente a esa hora se estaría tomando el último dato. Esto contempla las 5 horas de funcionamiento de los ventiladores que se plateo al comienzo del dimensionamiento.

Tabla 14. Promedio de datos entregados por el inversor durante las 5 horas planteadas

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI 2021		 Ingeniería Eléctrica					
REGISTRO DE DATOS DEL INVERSOR GROWATT MIC 2000TL-X.							
INGENIERÍA ELÉCTRICA							
DE: 2021-07-28			HASTA: 2021-08-02			PRUEBAS	
NOMBRES: BASURTO JHONNY						Hora: 11am – 4pm	
MISE HENRY							
DÍA	DC			AC			
	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (I)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (I)	Energía (kWh)
28/07/2021	549,37	90,82	6,43	539,36	221,84	2,45	2,2
29/07/2021	330,90	95,50	3,66	326,36	217,65	1,44	1,6
30/07/2021	441,30	92,18	5,05	434,33	218,04	1,97	2,2
31/07/2021	569,03	87,75	6,74	559,49	219,99	2,49	2,9
01/08/2021	284,87	95,84	3,11	279,10	220,23	1,24	1,4
02/08/2021	414,80	96,19	4,46	406,97	217,85	1,83	2,1
03/08/2021	226,89	98,18	2,34	222,09	217,98	0,98	1,2
PROMEDIO	402,45	93,78	4,54	395,39	219,08	1,77	1,94

5.2.8.4 Comparación de los datos cálculos con los obtenidos

A continuación, se va calcular el porcentaje de error entre los datos de la energía calculada y la energía real producida.

Para calcular el error utilizaremos la siguiente formula:

$$E_{\text{relativo}} = \frac{|E_{\text{absoluto}}|}{X_{\text{exacto}}} * 100 = \frac{|X - X_{\text{exacto}}|}{X_{\text{exacto}}} * 100 \quad (50)$$

Como resultado se tiene:

$$\text{Energía}_{\text{diaria}} = \frac{|2.76 \text{ kWh} - 2.83 \text{ kWh}|}{2.83 \text{ kWh}} * 100 = 2.47\%$$

El error que resulto fue del 2.47%.

5.3 Sistema de Ventilación

El sistema de ventilación está compuesto por cuatro ventiladores de techo de 56" (142 cm), que son de bastante ayuda para hacer circular el aire en el laboratorio de alto voltaje.

Dentro de la normativa ecuatoriana, en el Decreto Ejecutivo 2393, Art. 53. Condiciones generales ambientales: ventilación, temperatura y humedad y Art.54. Calor, expresa que en los locales de trabajo cerrados el suministro de aire fresco y limpio por hora y trabajador será por lo menos de 30 metros cúbicos, salvo que se efectúe una renovación total del aire no inferior a 6 veces por hora.

En la Figura 46 tenemos la relación del espacio de la habitación con el tamaño recomendado del ventilador para cubrir toda el área. Con esto se deduce que el número de ventiladores es el adecuado para cubrir toda el área del laboratorio.



Figura 46. Tamaño de ventiladores de techo según la relación del espacio de la habitación [46].

5.3.1 Ubicación del Sistema de Ventilación

Los ventiladores fueron ubicados en línea recta por la mitad del laboratorio debido a que es el único lugar donde se puede sujetarlos por poseer una estructura metálica, ya que el techo es de zinc y no brinda la seguridad necesaria.

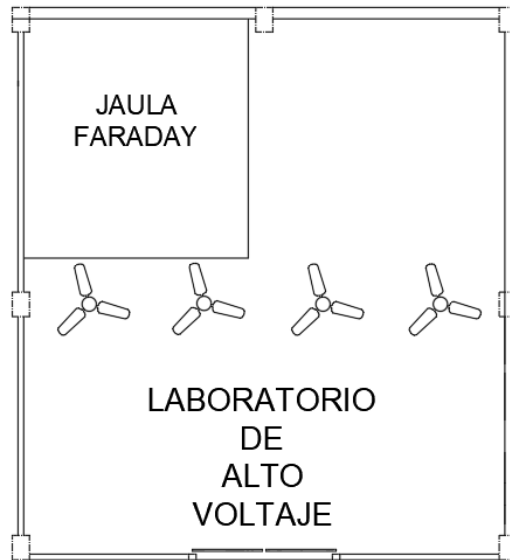


Figura 47. Ubicación de los ventiladores en el laboratorio de alto voltaje.



Figura 48. Estructura metálica del laboratorio.

5.3.2 Implementación del Sistema de Ventilación

En la Figura 49 se puede observar los ventiladores que conforman el sistema de ventilación ya instalados.



Figura 49. Ventiladores implementados en el laboratorio de alto voltaje.

Después de realizar las respectivas pruebas de funcionamiento de los ventiladores se notó que existía vibración por parte del soporte de los ventiladores, por tal motivo se implementó una estructura como refuerzo.



Figura 50. Ventiladores 1 y 2 con su estructura de refuerzo.



Figura 51. Ventiladores 3 y 4 con su estructura de refuerzo.

5.4 Automatización del Sistema de Ventilación

La automatización del sistema de ventilación se la realizo por medio un sensor de temperatura y un sensor de movimiento conectados a un LOGO! 12/24RCE el cual es el encargado de controlar el encendido y apagado de los ventiladores.

5.4.1 Sensores del Sistema

5.4.1.1 Sensor de temperatura

En la Figura 52 se observa el sensor de temperatura implementado. Las medidas de temperatura se transmitirán en forma de entradas analógicas al controlador de la instalación.

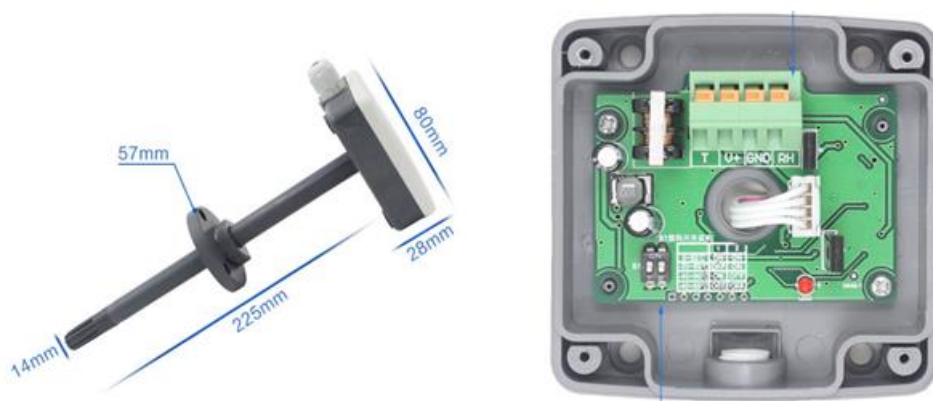


Figura 52. Sensor de temperatura PSWS-9TH.

5.4.1.1.1 Calibración del sensor de temperatura

El sensor de temperatura implementado utiliza una interfaz industrial estándar de salida de señal analógica de corriente entre 4 y 20mA, de voltaje entre 0 y 10V. Su rango de temperatura se puede ajustar libremente entre:

Tabla 15. Rangos del sensor de temperatura

	1	2
0°C y 50°C	ON	ON
-35°C y 50°C	OFF	ON
-35°C y 35°C	ON	OFF
-40°C y 80°C	OFF	OFF

Por defecto el dial del rango de temperatura viene ajustado entre -40°C y 80°C .

Para la instalación del sensor de temperatura en el laboratorio de alto voltaje se ha ajustado la medición de la temperatura entre los rangos de 0°C a 50°C debido a que solo se necesita medir la elevación de temperatura ambiente.

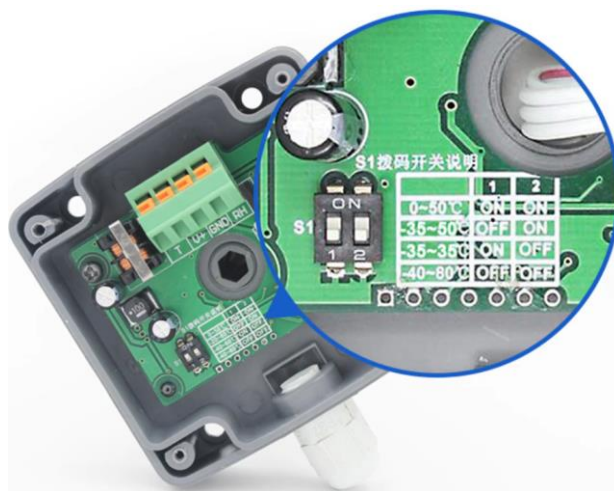


Figura 53. Dial de selección del rango de temperatura.

En la Figura 54 se observa el terminal de conexión del sensor de temperatura, el cual tiene letras en cada salida que significan:

1. T: Señal de temperatura (+).
2. V+: Alimentación del sensor (+).
3. GND: Alimentación del sensor (-).
4. RH: Señal de humedad (+).

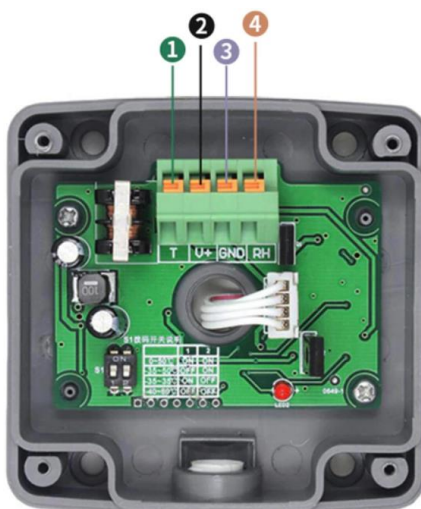


Figura 54. Terminal de conexión de salida del sensor de temperatura.

5.4.1.1.2 Escalonamiento de señal del sensor de temperatura

Del correcto tratamiento y/o escalonamiento de una señal analógica ya sea de 4-20mA o de 0-10V, depende la calidad de los datos provenientes de un transductor, por eso vamos a ver la forma de convertir este tipo de señales analógicas a una señal digital aceptable por cualquier Logo o PLC en un proceso de automatización.

En el cálculo para obtener el valor en mA o de V de un sensor en función de la medida física detectada, se emplea la ecuación de resolución del transductor.

$$\frac{V_{\text{salida(max)}} - V_{\text{salida(min)}}}{V_{\text{entrada(max)}} - V_{\text{entrada(min)}}} * V_{\text{entrada (act)}} + K \quad (51)$$

Donde:

$V_{\text{salida(max)}}$: Valor de salida máximo

$V_{\text{salida(min)}}$: Valor de salida mínimo

$V_{\text{entrada(max)}}$: Valor de entrada máximo

$V_{\text{entrada(min)}}$: Valor de entrada mínimo

$V_{\text{entrada(act)}}$: Ventrada actual

K: Valor mínimo de salida del sensor

En el escalonamiento de una señal analógica existen tres componentes para este proceso:

- El primer componente es el transductor el cual realiza la conversión de medida analógica física a medida analógica eléctrica de tipo V o I.
- El segundo componente es el módulo Analógico/Digital el cual correspondería a los módulos de entradas analógicas de cualquier PLC, y este realiza la conversión de medida eléctrica analógica a señal digital.
- El tercer componente es el PLC el cual realizara el procesamiento de la señal digital y tomara las decisiones respectivas según sea su lógica de programación para el respectivo proceso.

A continuación, como ejemplo tenemos el cálculo del voltaje a 0°, 20° y 50°.

$$V = \left(\frac{(10V) - (0V)}{(50C^\circ) - (0C^\circ)} * 0C^\circ \right) + 0V = 0V$$

$$V = \left(\frac{(10V) - (0V)}{(50C^\circ) - (0C^\circ)} * 20C^\circ \right) + 0V = 4V$$

$$V = \left(\frac{(10V) - (0V)}{(50C^\circ) - (0C^\circ)} * 50C^\circ \right) + 0V = 10V$$

En el Anexo B se muestra una tabla con todo el escalonamiento del sensor de temperatura y en el Anexo V se observa la medición del voltaje a la salida del sensor de temperatura, lo que comprueba que el cálculo del escalonamiento es correcto.

A continuación, se calculó el porcentaje de error entre la señal de voltaje medida y la señal de voltaje calculada que envía el sensor de temperatura al LOGO.

Voltaje calculado 31°:

$$V = \left(\frac{(10V) - (0V)}{(50C^\circ) - (0C^\circ)} * 31C^\circ \right) + 0V = 6.2V$$

Voltaje medido a 31°



Figura 55. Medición de la señal de voltaje del sensor de temperatura a 31°C.

Para el cálculo del error se va utilizar la ecuación 51.

$$\text{Error}_{\text{voltaje}} = \frac{|6.2 - 6.1|}{6.1} * 100$$

$$\text{Error}_{\text{voltaje}} = 1.6 \%$$

En el Anexo W se encuentran más mediciones realizadas.

5.4.1.1.3 Conexión del sensor de temperatura

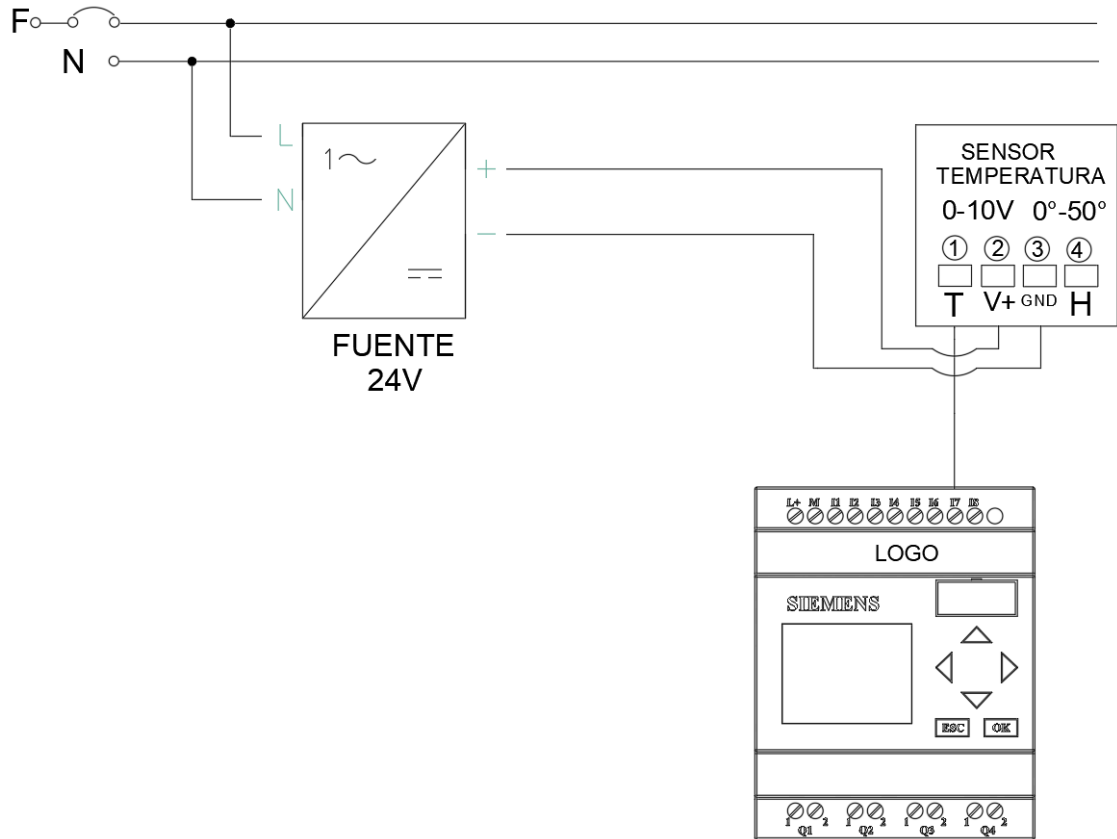


Figura 56. Conexión del sensor de temperatura.

5.4.1.1.4 Ubicación del sensor de temperatura

El sensor de temperatura se encuentra entre los ventiladores 1 y 2, junto con el sensor de movimiento 1.



Figura 57. Ubicación del sensor de temperatura.

5.4.1.2 Sensor de movimiento

En la Figura 58 se observa el tipo de sensor de movimiento implementado.



Figura 58. Sensor de movimiento para techo.

5.4.1.2.1 Calibración del sensor de movimiento

El sensor de movimiento implementado tiene un rango de detección de 360°, con una distancia máxima de detección de 6m y un tiempo de espera ajustable de 10 segundos a 2 minutos.

En la Figura 59 se pueden observar el ajuste que se puede hacer a las perillas del sensor de movimiento.

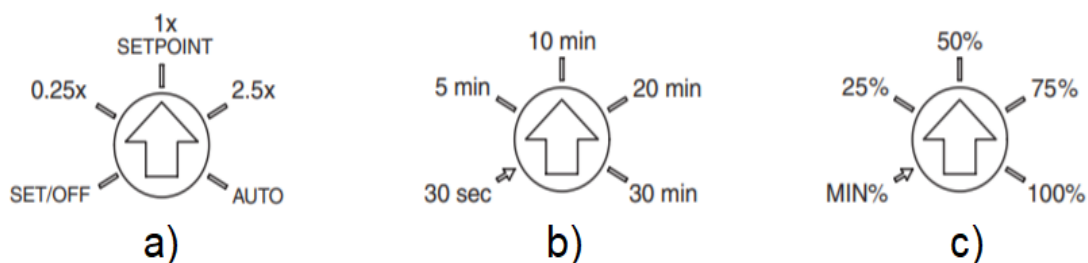


Figura 59. a) Ajuste de la fotocélula, b) Tiempo de demora de apagado, c) Sensibilidad

El rango de detección del movimiento es de 6m.

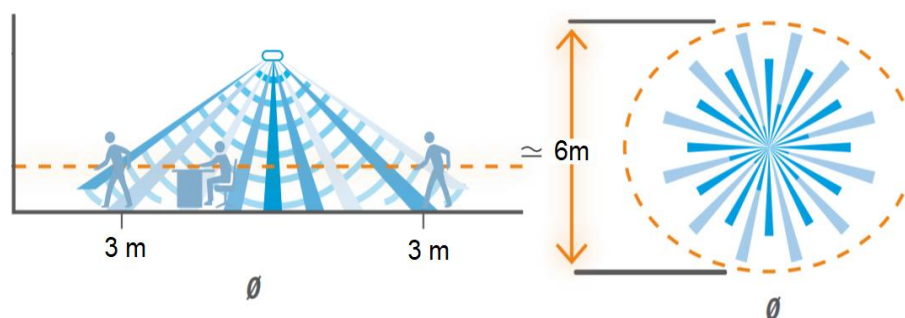


Figura 60. Rango de detección del sensor de movimiento.

5.4.1.2.2 Conexión de los sensores de movimiento

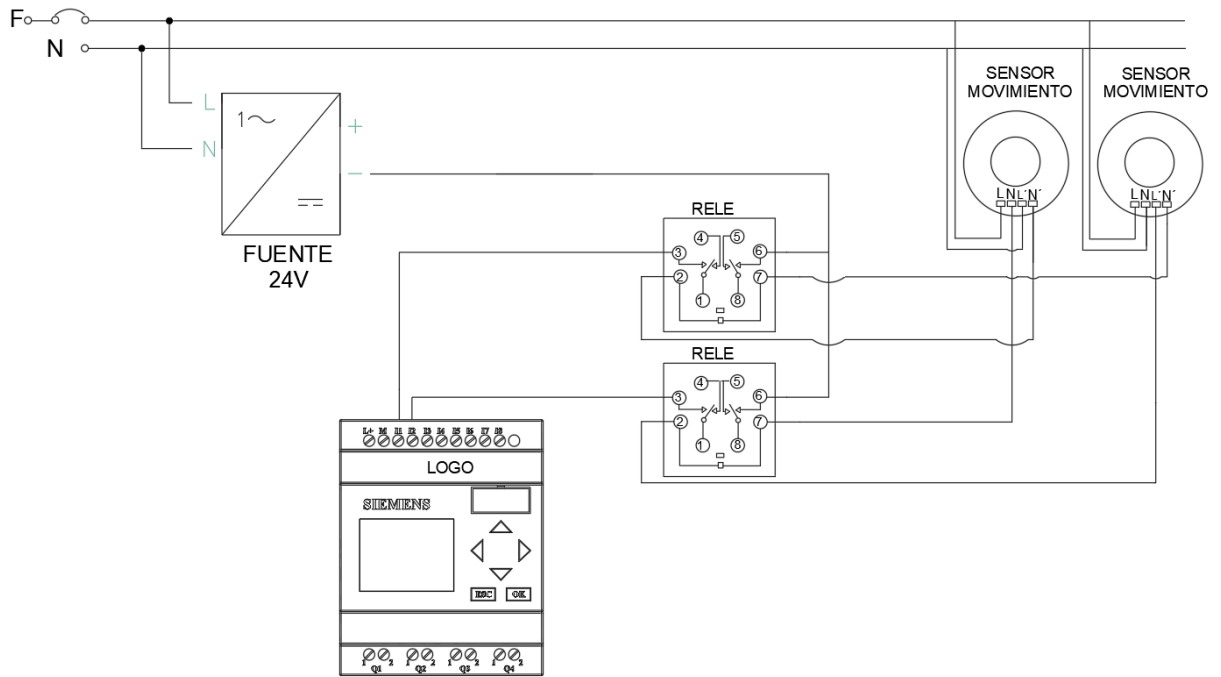


Figura 61. Conexión de los sensores de movimiento.

5.4.1.2.3 Ubicación de los sensores de movimiento

El sensor de movimiento 1 se encuentra entre los ventiladores 1 y 2.



Figura 62. Ubicación del sensor de movimiento 1.

El sensor de movimiento 2 se encuentra entre los ventiladores 3 y 4.



Figura 63. Ubicación del sensor de movimiento 2.

5.4.2 Programación del LOGO! 12/24RCE

Para la programación del LOGO! se utilizó los siguientes elementos:

- Laptop HP, Ryzen 5, 16 RAM
- Cable de Red Ethernet
- Software de PLC Logo Siemens: Logo Soft Comfort
- PLC LOGO! V8 12/24RCE Siemens

Técnicamente un LOGO! es un PLC, ya que el termino PLC es el acrónimo en inglés de Programmable Logic Controller, es decir, un controlador lógico programable, lo que viene siendo el LOGO!.

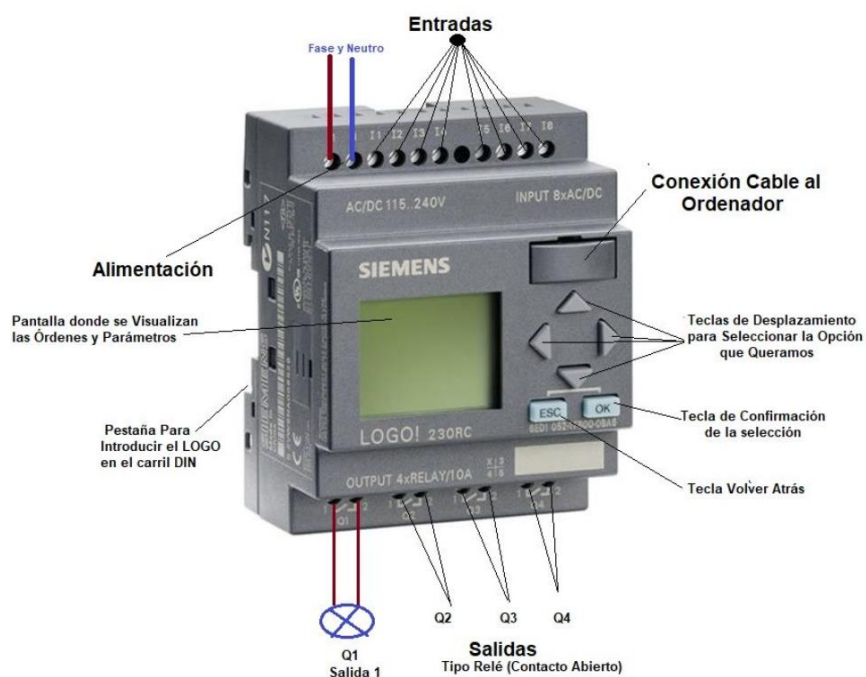


Figura 64. Partes del LOGO!.

Según el manual los terminales I1, I2, I7, I8 son entradas analógicas correspondiente a 0-10V, en el software de programación la entrada I1 va corresponder a la entrada analógica AI3, la entrada I2 a AI4, la entrada I8 a AI2 y la entrada I7 a AI1.

En la Figura 65 se observa la programación que fue cargada al LOGO! para la automatización de los ventiladores.

Donde:

- El Bloque A11 corresponde a la señal del sensor de temperatura, el cual está conectado a la entrada I7 del LOGO!.
- El Bloque B005 se utiliza para filtrar las señales de entrada analógicas.
- El Bloque B006 es un amplificador y con el cual se escala el valor de la temperatura.
- El Bloque B001 cumple la función de comparar los datos recibidos y en que rangos se desea activar o desactivar el circuito.
- Los Bloques I1 y I2 corresponden a las señales de los sensores de movimiento, los cuales están conectados a las entradas I1 e I2 del LOGO!.
- El Bloque B002 es una compuerta OR que envía una señal al siguiente bloque (B003) en caso de que cualquiera de los sensores de movimiento se active.
- El Bloque B003 es una compuerta AND que envía una señal al relé para que se enclave y se enciendan los ventiladores solo si se recibe señal del sensor de temperatura y los sensores de movimiento al mismo tiempo.
- El Bloque B007 es un relé auto enclavador que hace que se enciendan los ventiladores si recibe señal en su entrada S y se desactiven si recibe señal en su entrada R.
- Los Bloques Q1 y Q2 son sus respectivas señales piloto de encendido y apagado del sistema.
- El Bloque M2 corresponde a la señal de salida conectada a Q1 en el LOGO! y hace que se enciendan los ventiladores.
- Los Bloques High, B004 y M1 hacen que aparezcan los datos de la temperatura en la pantalla del LOGO!.

En el Anexo S se puede observar la programación realizada para automatizar los ventiladores.

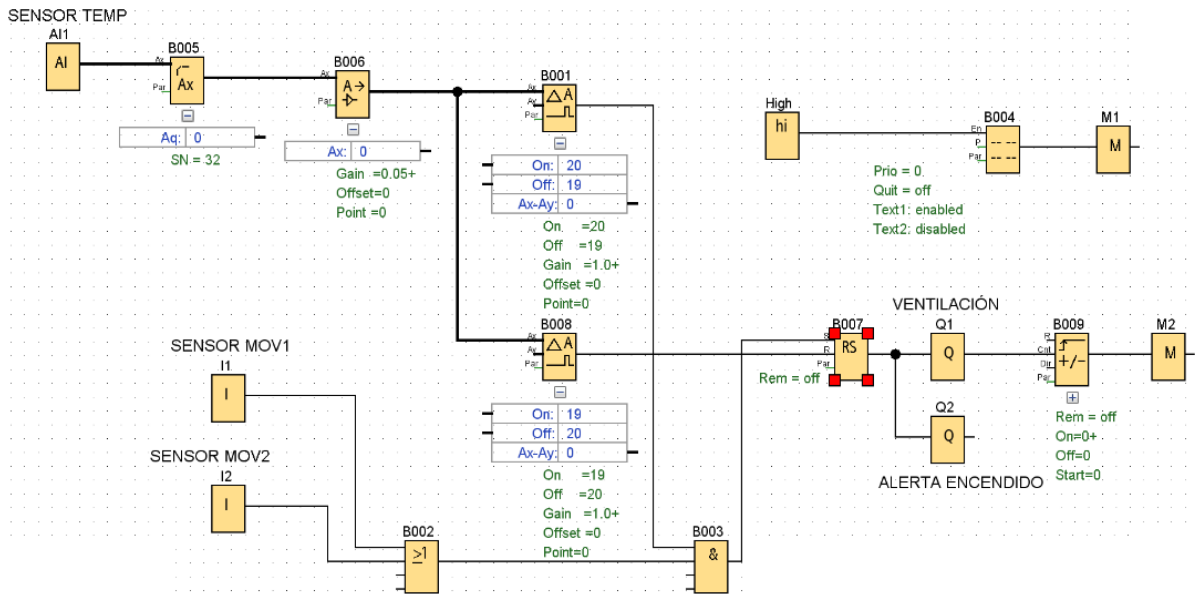
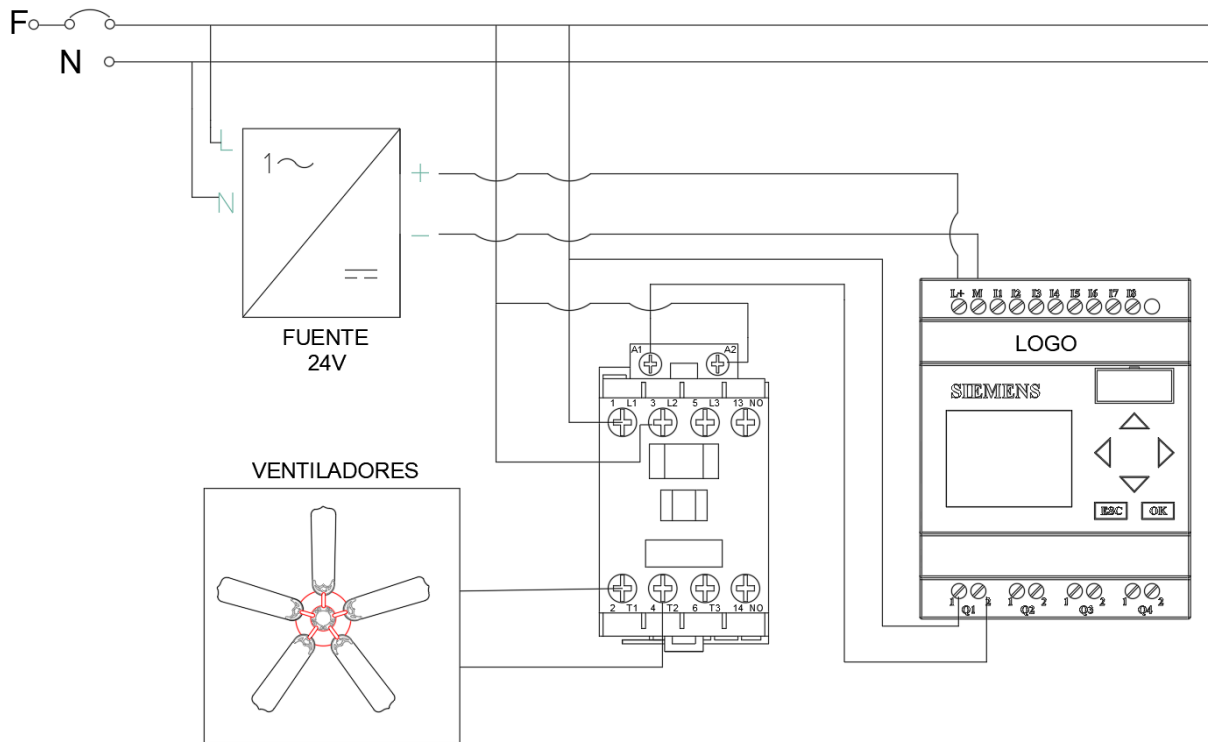


Figura 65. Diagrama de la automatización de los ventiladores.

5.4.2.1 Conexión del LOGO! a los ventiladores



A continuación, tenemos un diagrama de flujo del funcionamiento del sistema automatizado:

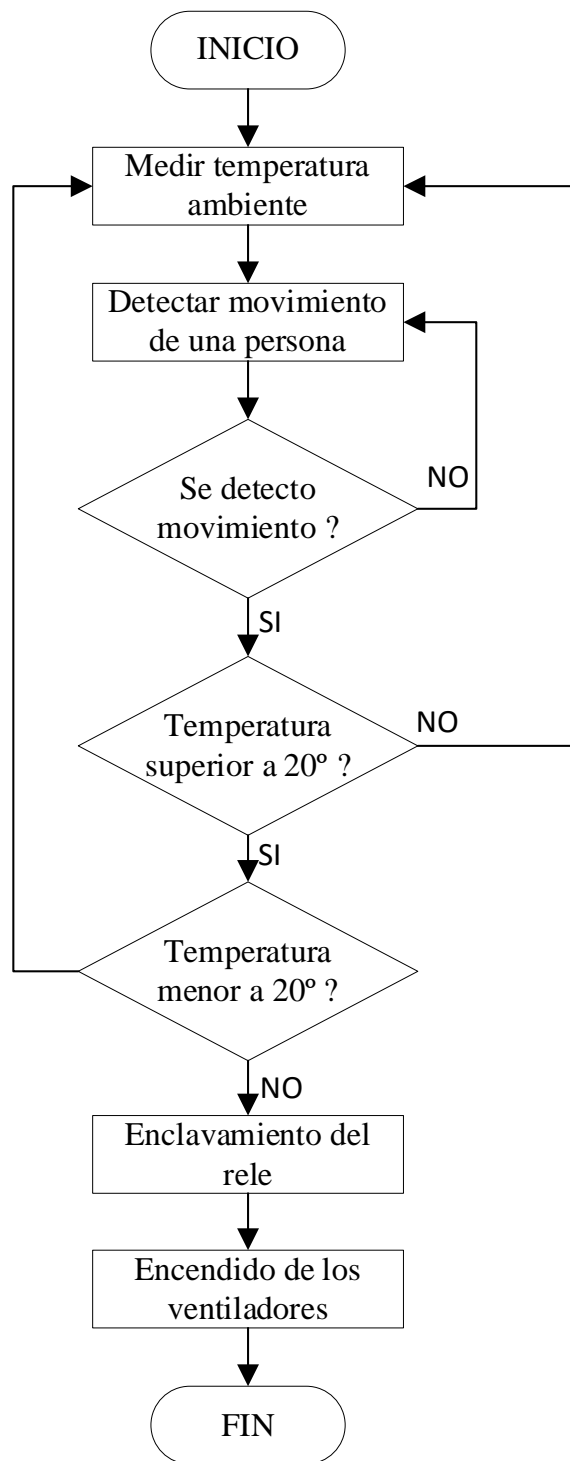


Figura 66. Diagrama de flujo del sistema automatizado de los ventiladores.

5.4.3 Diagrama de Conexión del Sistema Automatizado

En la Figura 67 se detalla la conexión de todos los elementos que conforman el sistema automatizado de ventilación.

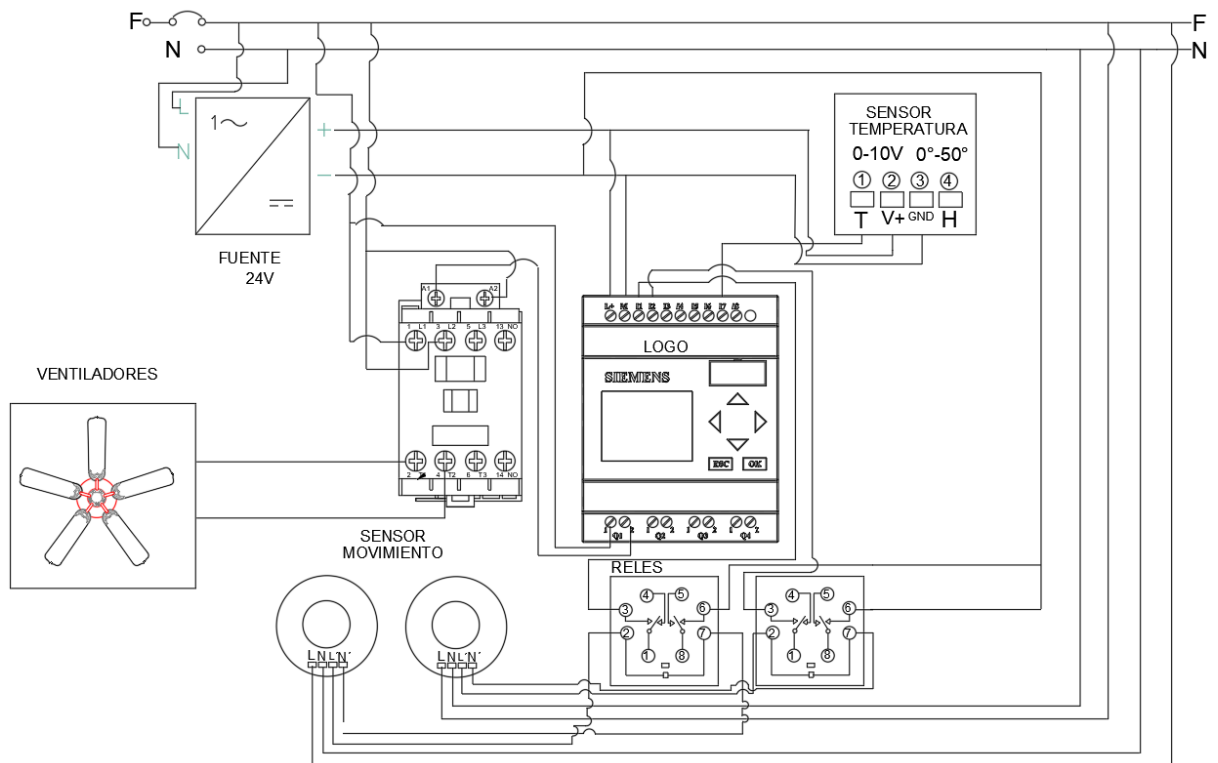


Figura 67. Diagrama de conexión del sistema automatizado.

5.4.4 Implementación del Sistema Automatizado

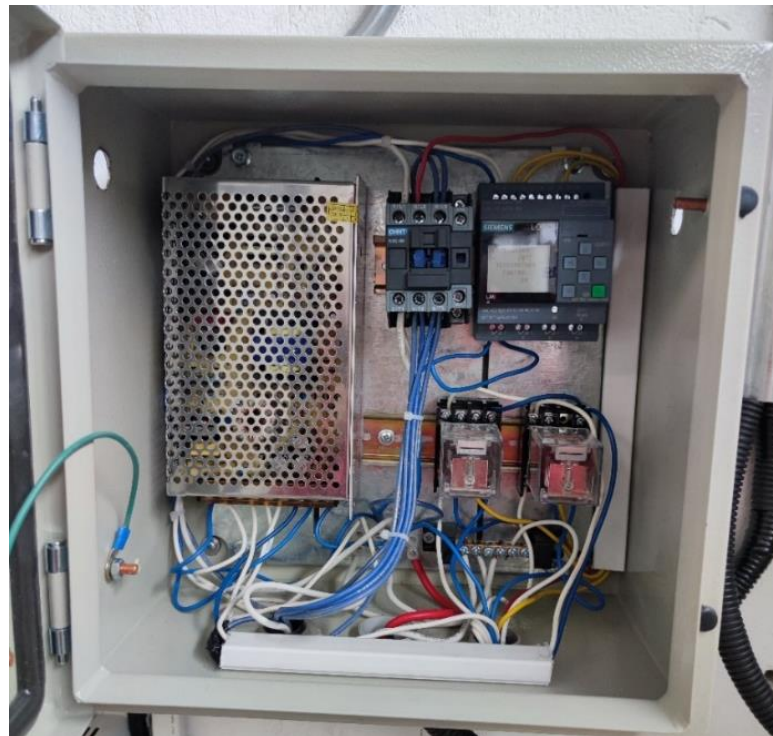


Figura 68. Tablero de control del sistema automatizado.

Dentro del tablero de control se encuentra la fuente de voltaje 12/24 VD, contactor, relés y el LOGO!. En la puerta del tablero de control se encuentran la luz piloto de encendido del sistema de color verde, luces de encendido de los sensores de movimiento de color anaranjado, un voltímetro que mide la señal de voltaje que envía el sensor de temperatura al LOGO! y una luz piloto de color rojo que indica que el sistema esta energizado.



Figura 69. Luces piloto y voltímetro del tablero de control.

5.5 Presupuesto del Proyecto

La Tabla 16,17 y 18 se detalla los costos de inversión para la implementación del proyecto.

Tabla 16. Gastos del sistema fotovoltaico.

Materiales	Cantidad	Precio	Total
Panel Fotovoltaico ECO GREEN ENERGY EGE-270P-60	3	130	390
Estructura para panel fotovoltaico	3	30	60
Inversor On Grid GROWATT MIC 2000TL-X	1	614	614
Módulo Wifi para Monitoreo Remoto	1	75	75
TOTAL			\$1169

Tabla 17. Gastos del sistema automatizado de ventilación.

Materiales	Cantidad	Precio	Total
Fuente 24 VDC	1	25,00	25,00
LOGO! SIEMENS	1	172,32	172,32
Relé encaps 24 VDC	2	7,62	15,24
Contactador CHINT 120V 9AMP	1	9,62	9,62
Sensor de Temperatura GT- FGWS	1	80,00	80,00
Sensores de movimiento 360°	2	6,31	12,62
Ventilador SKUT	4	110,00	440,00
Soporte para ventilador	4	5,00	20,00
TOTAL			\$774,80

Tabla 18. Gastos de la conexión de los equipos.

Materiales	Cantidad	Precio	Total
Breaker Schneider DC 1 polo 16 A	1	6,30	6,30
Tablero de paso 30x30x10	1	15,41	15,41
Barra de tierra 9x6 mm	1	1,43	1,43
Riel din	1	3,55	3,55
Breaker Schneider 1 polo 16 A	1	3,35	3,35
Tubo EMT 3/4	1	3,28	3,28
Unión EMT 3/4	2	0,31	0,62
Conector EMT 3/4	1	0,30	0,30
Codo EMT 3/4	2	0,76	1,52
Tubo EMT 1/2	1	2,85	2,85
Unión EMT 1/2	4	0,18	0,72
Conector EMT 1/2	2	0,20	0,40
Codo EMT 1/2	4	0,52	2,08
Cable flexible # 14	46	0,37	17,02
Cable flexible # 18	100	0,23	23,00
Manguera corrugada 1/2	23	0,19	4,37
Cable flexible # 10	22	0,89	19,58
TOTAL			\$105,78

Tabla 19. Inversión total.

INVERSIÓN TOTAL	
Sistema fotovoltaico	1139
Sistema de ventilación	774,8
Conexión de los equipos	105,78
SUBTOTAL	2049,58
Mano de obra	90
Transporte	70
Otros gastos	60
IVA 12%	245,94
TOTAL	\$2515,52

5.6 Impactos

5.6.1 Impacto Tecnológico

Dotar de ventiladores al laboratorio de alto voltaje con la generación de energía fotovoltaica, busca que los estudiantes de la universidad y de otros establecimientos tomen la iniciativa en realizar más proyectos del mismo tipo, debido a que el inversor implementado es de tecnología actual, se puede monitorear y gestionar desde cualquier lugar que tenga conexión a internet su funcionamiento, observando varios parámetros como datos de voltajes, corrientes, curvas de potencia y energía, y así verificar la eficiencia del uso de la energía solar.

5.6.2 Impacto Ambiental

La implementación de ventiladores alimentados por energía solar fotovoltaica en el laboratorio de alto voltaje, aportara al cuidado del medio ambiente, por ser un tipo de energía pura y limpia.

5.6.3 Impacto Económico

Debido a que el proyecto es en base a energía solar fotovoltaica, encontramos una inversión alta, pero con ayuda del innovador inversor que se ha implementado y una vez que ELEPCO S.A. realice la homologación de medidores bidireccionales, se podrá inyectar a la red, por lo que a largo plazo se generara un ahorro.

6. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

6.1 Conclusiones

- Los datos de radiación diaria recopilados en el software PVsyst, sirven como referencia para proyectos que involucran tecnologías de captación solar.
- El sistema fotovoltaico es capaz de cubrir la potencia requerida por el sistema de ventilación el cual es abastecido únicamente con energía solar durante el día.
- El inversor On Grid es capaz de realizar el Bypass automáticamente al detectar que la demanda de potencia es mayor a la suministrada por los paneles fotovoltaicos, combinando las dos fuentes de energía que se encuentran conectadas al inversor como son el arreglo fotovoltaico y la red convencional.
- En base a la viabilidad económica, no es rentable la instalación de pequeños sistemas fotovoltaicos debido a que no se recupera lo invertido mientras se cumple la vida útil de los equipos y el costo de inversión inicial es alto.
- La automatización del sistema de ventilación disminuye considerablemente la energía no aprovechada correctamente y favorece en la reducción del consumo energético.

6.2 Recomendaciones

- Realizar mediciones de campo en el lugar que se desea hacer un nuevo proyecto fotovoltaico para obtener datos más reales de la radiación, tomando en cuenta aspectos que pueden alterar los resultados como el cambio climático y otros factores como la nubosidad, humedad, smog y polvo.
- Realizar un nuevo estudio para implementar más paneles solares y así aprovechar toda la capacidad del inversor implementado.
- En el caso de aumentar la capacidad de generación del arreglo fotovoltaico, es recomendable verificar que los nuevos paneles solares sean compatibles con los ya implementados.
- No conectar en paralelo paneles solares debido a que el inversor solo admite una cadena en serie ya que su corriente de entrada no es alta.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Spiegel y J. I. Cifuentes, «Definición e Información de Energías Renovables,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4455/>.
- [2] A. M. Salvador Chávez, «Diseño de un Sistema Fotovoltaico Aislado: Caso de Estudio Casa de Campo en Tulipe – Pichincha Ecuador,» Universidad Internacional SEK, Ecuador, 2017.
- [3] G. Stapleton y S. Neill, *Grid-connected Solar Electric Systems*, USA: Routledge, 2012.
- [4] W. Guaman Cuenca, «Temas 2: Fundamentos de Energía Solar, Tema 4: Energía Solar Fotovoltaica, Tema 6: Dimensionamiento de Sistemas On Grid,» UTC, Ecuador, 2020.
- [5] W. Haro y W. Ocampo, «Diseño de un Sistema de Iluminación, Alimentado mediante Generación Fotovoltaica para el Complejo Deportivo La Bombonera,» UTC, Ecuador, 2019.
- [6] L. Fernández y A. Cervantes, «Proyecto de Diseño e Implementación de un Sistema Fotovoltaico de Interconexión a la Red Eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira,» CIMAV, Mexico, 2017.
- [7] GSS-VET, «Módulo 1: Introducción a la Tecnología Fotovoltaica,» 2017.
- [8] C. Grijalva y F. Vélez, «Estudio e Implementación de un Sistema Fotovoltaico Aplicado a Luminarias: Caso de Estudio Unidad Educativa Dr. Francisco Falquez Ampuero,» EPS Sede Guayaquil, Ecuador, 2020.
- [9] D. Vaca y F. Ordoñez, «Mapa Solar de Ecuador,» EPN, Ecuador, 2019.
- [10] M. Korand, *Photovoltaics Fundamentals, Technology and Practice*, United Kingdom: WILEY, 2014.
- [11] P. Potes Valencia, «Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red en el Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi,» UTC, Ecuador, 2019.

- [12] R. Guerrero Perez, UF0150: Replanteo y Funcionamiento de las Instalaciones Solares Fotovoltaicas, IC, 2017.
- [13] A. Martinez Fernandez, UF0145: Replanteo y funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas, España: VERTICE BOOKS.
- [14] A. Castejon Oliva y G. Santamaria Herranz, Instalaciones Solares Fotovoltaicas, EDITEX, 2010.
- [15] P. Abad y E. Flores, «Dimensionamiento de un Sistema Fotovoltaico Autonomo para Reducir el Consumo de Combustible en la Plataforma de Descarga de la Pesquera Exalmar-Chimbote Peru,» UNS, Peru, 2016.
- [16] M. Garcia Diaz, «Diseño de una Planta Fotovoltaica de Conexion a Red,» Universidad Calos III de Madrid, España, 2015.
- [17] J. Carta Gonzalez, R. Calero Perez, A. Colmera Santos y M. Castro Gil, Centrales de Energias Renovables, Madrid: PEARSON EDUCACION, 2009.
- [18] C. Buele Avila y A. Chazi Solis, «Modelacion del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red Electrica en la Universidad Politecnica Salesiana Sede Cuenca,» UPS, Ecuador, 2019.
- [19] J. Correa Herrera, «Dimensionamiento Optimo de Sistemas Fotovoltaicos Bajo el Marco Regulatorio de la Ley 20.571,» Universidad de Chile, Chile, 2017.
- [20] C. Uzquiano, M. Sullivan y X. Sandy, «Capacitacion e Instalacion de Sistemas Fotovoltaicos en las Comunidades de Carmen del Emero y Yosali,» WCS, Bolivia, 2015.
- [21] AylluSolar, «Manual sobre Instalaciones de Plantas Fotovoltaicas,» Chile.
- [22] J. Olvera Miranda y L. Montalvo Yagual, «Analisis y Diseño de una Planta de Generacion de Energia Electrica con Paneles Solares Fotovoltaicos Conectados a la Red de Distribucion Electrica de la Subestacion Santa Ana Ubicada en Guayaquil,» ESPOL, Ecuador, 2015.

- [23] UJA, «La Celula Solar,» Universidad de Jaen, [En línea]. Available: http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_04.htm.
- [24] J. Fernandez Ferichola, «Caracterizacion de Modulos Fotovoltaicos con Dispositivos Portatil,» Universidad Carlos III de Madrid, España.
- [25] HelioEsfera, «Siglas STC y NOCT,» [En línea]. Available: <https://www.helioesfera.com/que-significan-las-siglas-stc-y-noct/>.
- [26] SolarInnova, «Norma IEC/EN 61215,» Solar Innova, 2018. [En línea]. Available: <https://www.solarinnova.net/es/component/content/article/1155-es/servicios/noticias/115-iec-en-61215-61730#iec-61215>.
- [27] Acesolar, «Generacion Distribuida,» [En línea]. Available: <http://www.acesolar.org/que-es-generacion-distribuida/>.
- [28] ARCONEL, «Regulacion Nro. ARCONEL 003/18 “Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica”,» Ecuador, 2018.
- [29] J. Juarez Cervantes, Sistemas de Distribucion de Energia Electrica, Mexico: UAM, 1995.
- [30] S. Ramirez Castaño, Redes de Distribución de Energía, Colombia: UNAL, 2004.
- [31] R. Espinosa y Lara, Sistemas de Distribucion, Mexico: NORIEGA LIMUSA, 1990.
- [32] H. F. Espiritu, «SlideShare,» 5 Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/HiberFranciscoEspiritu/curvas-decargaygeneracin>.
- [33] P. Lillo Paniagua, «Manual para el Dimensionamiento y Evaluacion de un Arreglo Fotovoltaico Monofasico a Nivel Residencial en Chile,» UTFSM, Chile, 2016.
- [34] SolarCenter, «Criterios de Dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red,» YouTube, 19 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=BGQRs1COPtU&t=1334s>.
- [35] O. Perpiñan Lamiguero, Energia Solar Fotovoltaica, España: Creative Commons, 2020.

- [36] J. Perez Alvarez, «Guia para el Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos Conectados y Aplicacion de la Resolucion CREG 030 DE 2018 para Inyectar Excedentes de Energia a la Red,» UA, Colombia, 2019.
- [37] D. Mesias, «Diseño de un Sistema Solar Fotovoltaico para el Suministro de Energia Electrica en el Nuevo Campus de la Escuela Politecnica del Ejercito Extension Latacunga,» ESPE, Ecuador, 2014.
- [38] SiemensLogo, «Siemens Logo El Rele Programable,» Septiembre 2014. [En línea]. Available: https://siemenslogo.com/module/ph_simpleblog/module-ph_simpleblog-single?sb_category=general&rewrite=que-es-un-siemens-logo.
- [39] SIEMENS, «SIEMENS Industry Online Support,» [En línea]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/1470798?pti=pi&dl=en&lc=en-WW>.
- [40] RechnerSensor, «Rechner Sensor,» [En línea]. Available: <https://www.rechner-sensors.com/es/documentacion/knowledge/el-sensor-de-temperatura>.
- [41] JUJIE, «AliExpress,» [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/4000585754653.html?spm=a219c.12057483.detail.3.5f7037b9SSpyiS>.
- [42] «S&P,» SolerPalau El Blog de la ventilación eficiente, 2018. [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sensores-movimiento/>.
- [43] AronLight, «Aron Light,» [En línea]. Available: <https://aronlight.com/es/project-details/detector-sensor-movimento-st05c/>.
- [44] Google 2021, «Google Earth,» [En línea]. Available: <https://earth.google.com/>.
- [45] ARCONEL, «Pliego Tarifario para las Empresas Electricas de Distribucion,» Ecuador, 2020.
- [46] Ovacen, OVACEN, [En línea]. Available: <https://ovacen.com/ventiladores-de-techo/>.

8. ANEXOS

Anexo A: Curvas de potencia obtenida durante los días de prueba del 28/07/2021 al 02/08/2021.

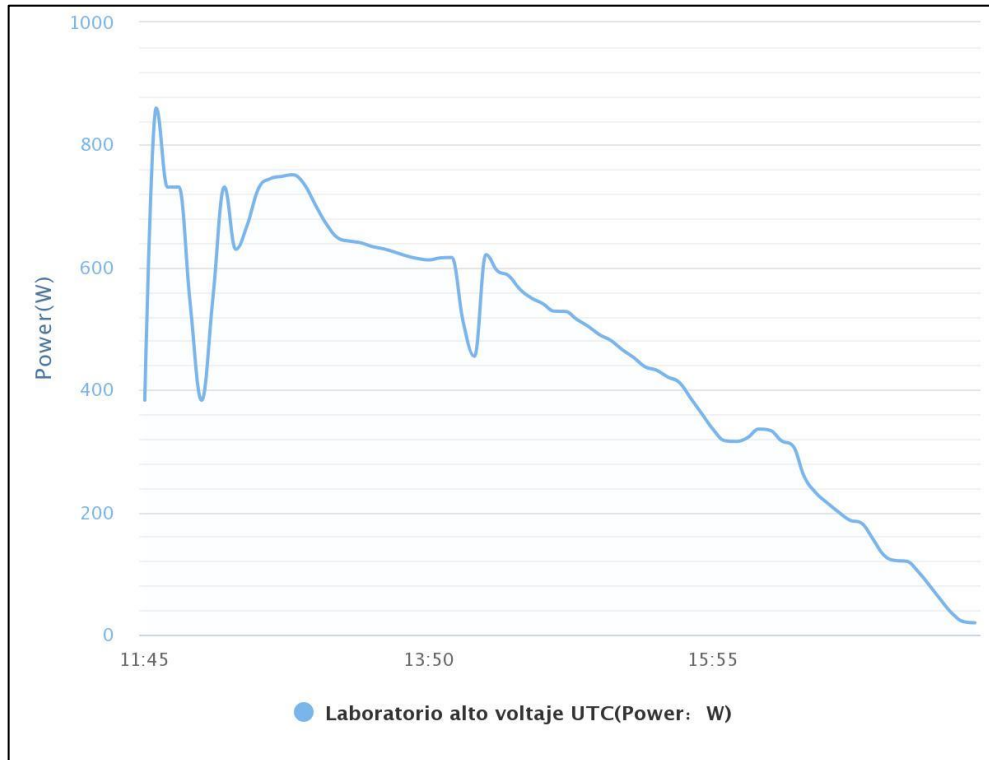


Figura A.1: Curva de potencia obtenida el día 28/07/2021.

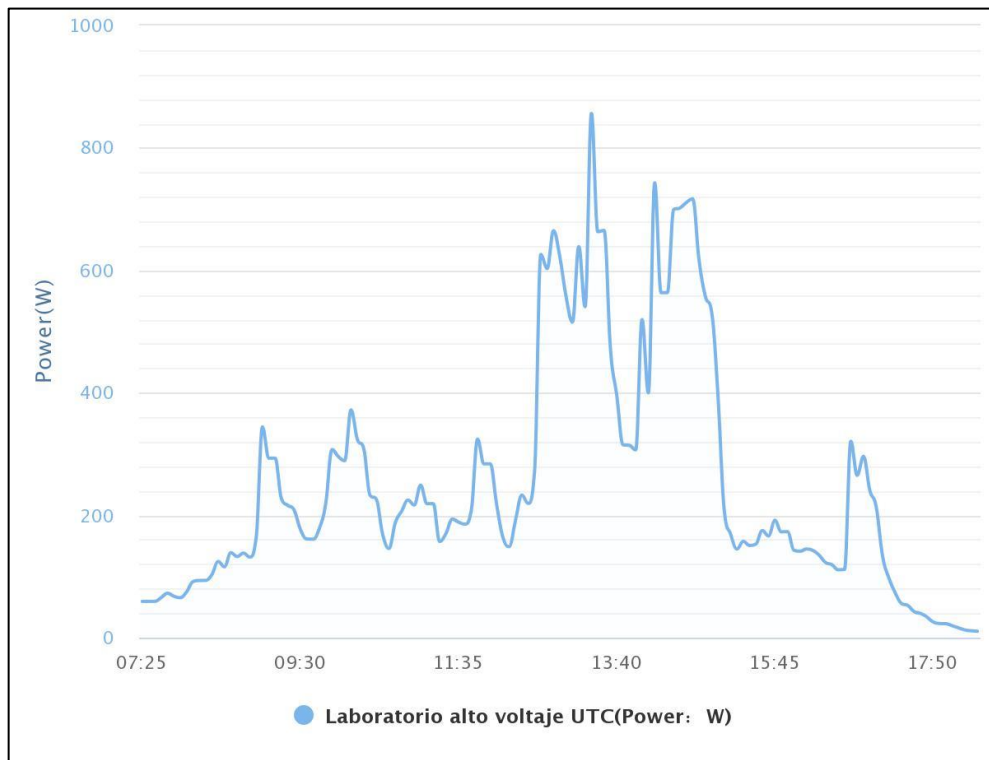


Figura A.2: Curva de potencia obtenida el día 29/07/2021.

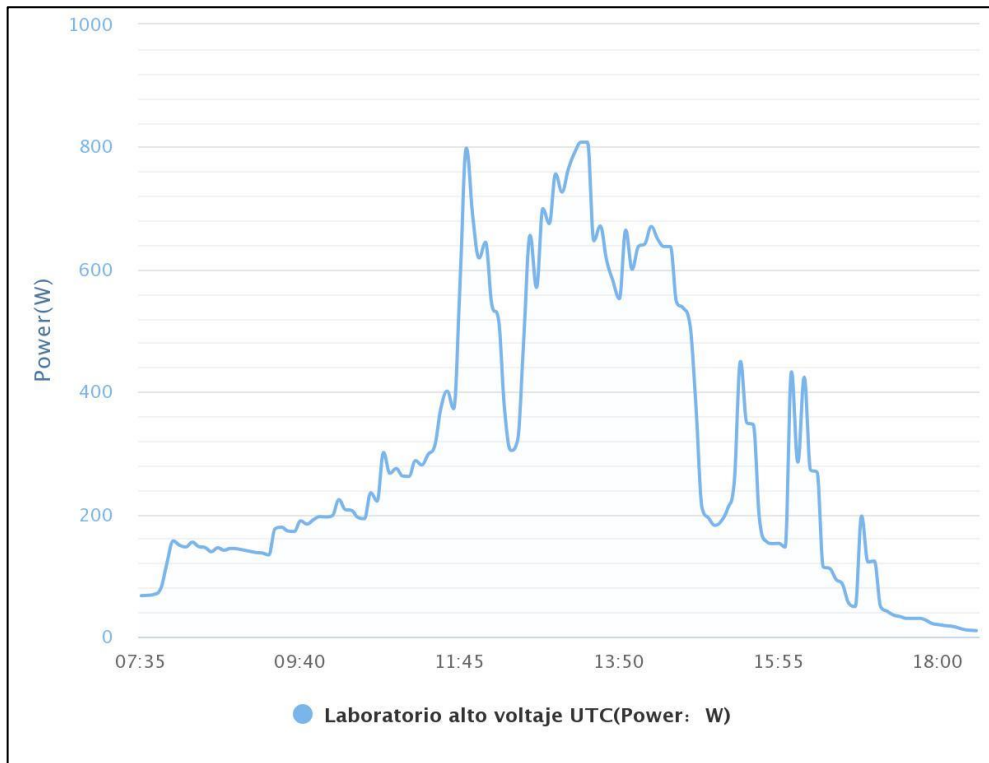


Figura A.3: Curva de potencia obtenida el día 30/07/2021.

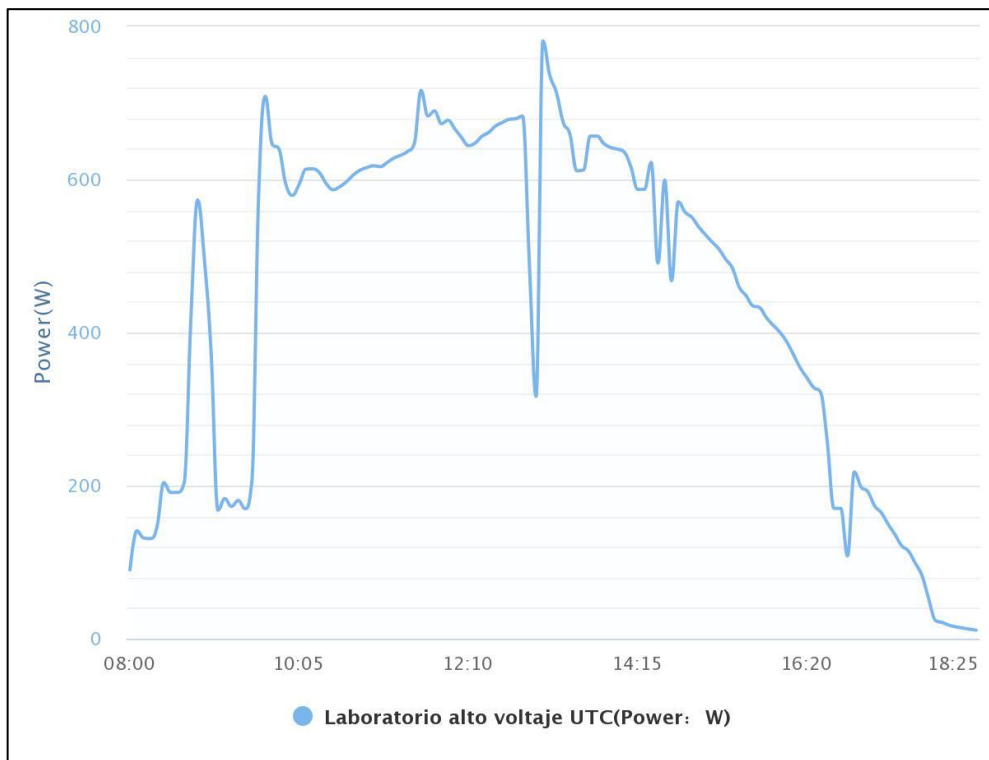


Figura A.4: Curva de potencia obtenida el día 31/07/2021.

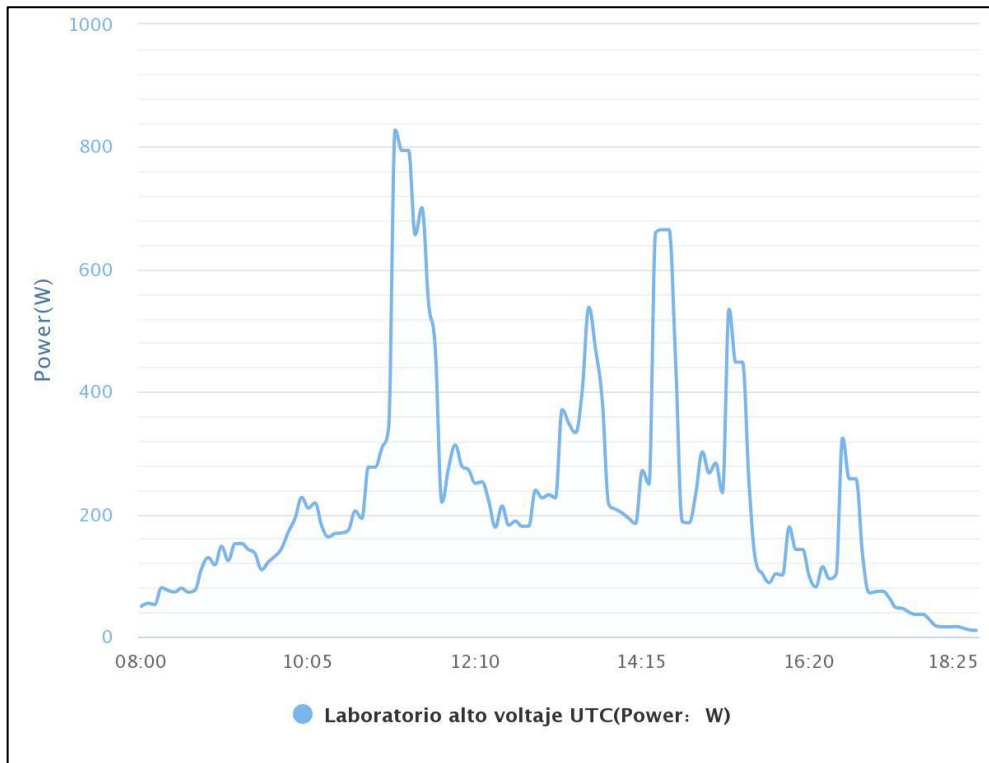


Figura A.5: Curva de potencia obtenida el día 01/08/2021.

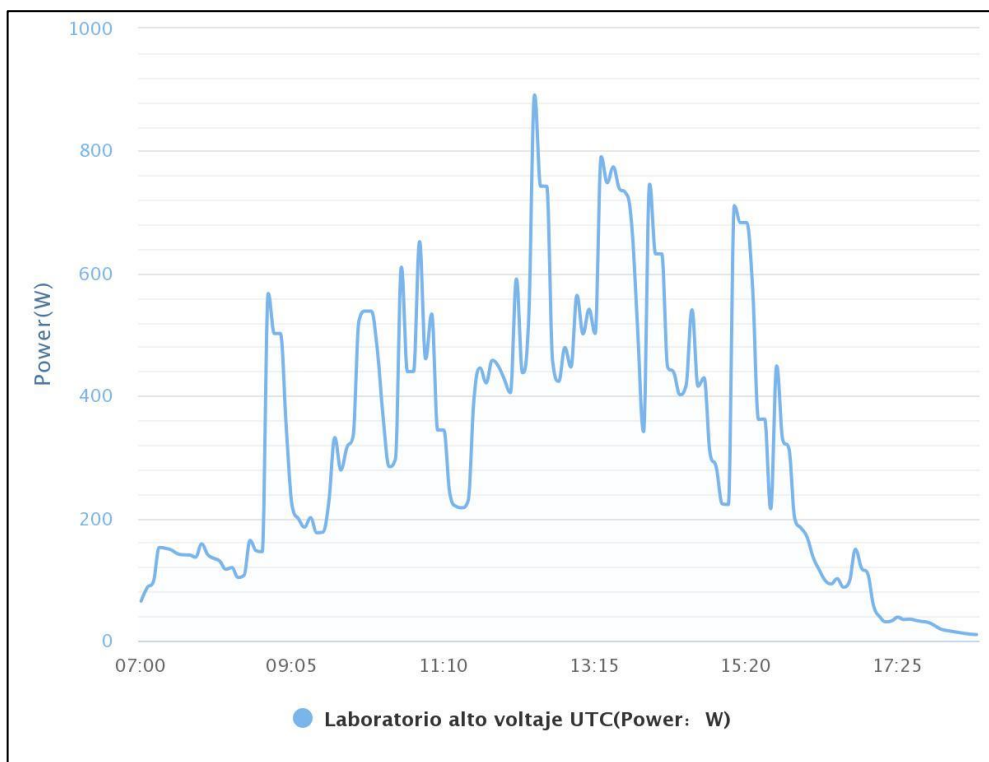


Figura A.6: Curva de potencia obtenida el día 02/08/2021.

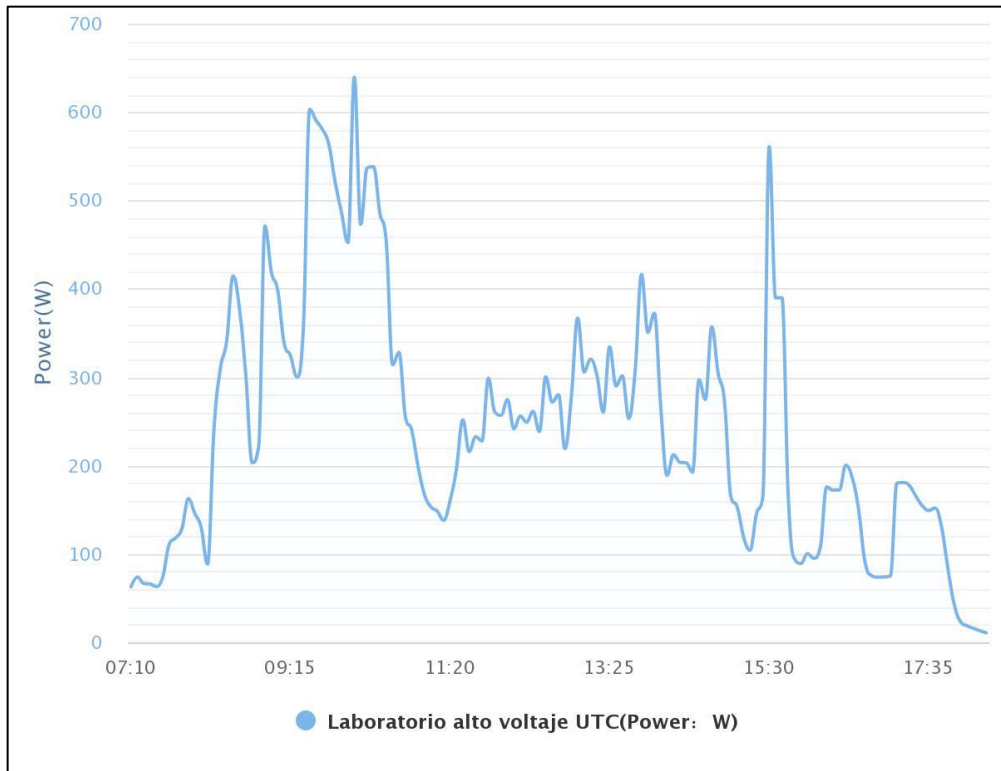


Figura A.7: Curva de potencia obtenida el día 03/08/2021.

Anexo B: Escalonamiento de señal del sensor de temperatura.

Tabla B.1: Escalonamiento de señal del sensor de temperatura.

Voltaje	Temperatura
0,2	1
0,4	2
0,6	3
0,8	4
1	5
1,2	6
1,4	7
1,6	8
1,8	9
2	10
2,2	11
2,4	12
2,6	13
2,8	14
3	15
3,2	16
3,4	17
3,6	18
3,8	19
4	20
4,2	21
4,4	22
4,6	23
4,8	24
5	25
5,2	26
5,4	27
5,6	28
5,8	29
6	30
6,2	31
6,4	32
6,6	33
6,8	34
7	35
7,2	36
7,4	37
7,6	38
7,8	39

8	40
8,2	41
8,4	42
8,6	43
8,8	44
9	45
9,2	46
9,4	47
9,6	48
9,8	49
10	50

Anexo C: Datos Técnicos del panel Fotovoltaico EGE-270/290P-60.



SOLAR MODULE EGE-270/290P-60 POLYCRYSTALLINE MODULE 270-290 W / 60 Cells / 5 Bus bars

ELECTRICAL DATA AT STC*

	270 W	275 W	280 W	285 W	290 W
Power output (Pmax)	270 W	275 W	280 W	285 W	290 W
Power tolerance	0-+5%	0-+5%	0-+5%	0-+5%	0-+5%
Module efficiency	16.60 %	16.90 %	17.21 %	17.52 %	17.83 %
Maximum power voltage (Vmp)	31.44 V	31.70 V	32.04 V	32.24 V	32.47 V
Maximum power current (Imp)	8.59 A	8.68 A	8.74 A	8.84 A	8.93 A
Open circuit voltage (Voc)	38.45 V	38.75 V	38.99 V	38.21 V	38.45 V
Short circuit current (Isc)	9.03 A	9.11 A	9.19 A	9.28 A	9.38 A

*Standard Test Conditions: Irradiance: 1 000 W / m² • Cell temperature: 25°C • AM: 1.5

ELECTRICAL DATA AT NOCT*

	270 W	275 W	280 W	285 W	290 W
Power output (Pmax)	199.74 W	203.44 W	207.14 W	210.84 W	214.54 W
Maximum power voltage (Vmp)	25.15 V	25.36 V	29.59 V	29.78 V	29.99 V
Maximum power current (Imp)	7.97 A	8.05 A	6.99 A	7.07 A	7.14 A
Open circuit voltage (Voc)	35.51 V	35.79 V	36.19 V	35.47 V	35.69 V
Short circuit current (Isc)	7.33 A	7.40 A	7.46 A	7.53 A	7.61 A

*Nominal Operating Cell Temperature: Irradiance: 800 W / m² • Ambient temperature: 20°C • AM: 1.5 • Wind speed: 1 m/s

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NOCT	45 °C ±2°C
Temperature coefficient of Pmax	-0.41%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.31%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.06%/°C

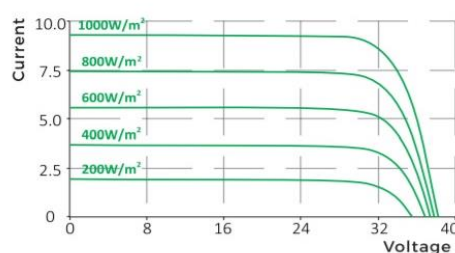
MAXIMUM RATINGS

Operating temperature range	-45°C ~+85°C
Maximum system voltage	1500 V
Max series fuse rating	15 A
Max front load (e.g.: snow)	5 400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2 400 Pa

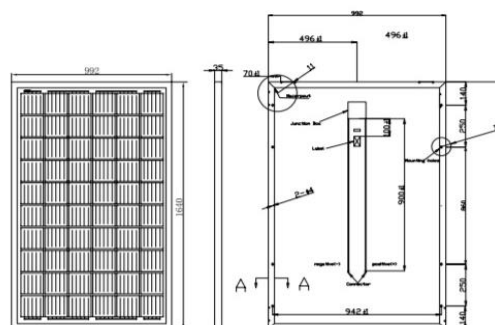
MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Polycrystalline (156x156 mm)
Number of cells	60
Dimensions	1640x992x35 mm
Weight	18.8 kg
Glass	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP65 or IP67
Cable	0.9 m
Connector	MC4 or MC4 compatible

I-V CURVES



ENGINEERING DRAWINGS (mm)



Anexo D: Datos técnicos del inversor GROWATT MIC 2000TL-X

Hoja de datos	MIC 1500TL-X	MIC 2000TL-X	MIC 2500TL-X
Datos de entrada (CD)			
Máxima potencia FV recomendada	2100W	2800W	3500W
Máximo voltaje CD	500V	500V	550V
Voltaje de arranque	80V	80V	80V
Rango de voltaje de MPPT / Voltaje nominal	50V-500V /250V	50V-500V /360V	65V-550V /360V
Máxima corriente por MPPT		13A	
Corriente de corto circuito por MPPT		16A	
Número de MPPTs / Cadenas por MPPT		1/1	
Salida (CA)			
Potencia nominal CA	1500W	2000W	2500W
Potencia aparente máxima	1500VA	2000VA	2500VA
Corriente máxima de salida	7.1A	9.5A	11.9A
Voltaje nominal CA (Rango*)	Predeterminado: 240V fase dividida, opcional: 208V & 240V monofásico, 183-228@208V 211-264@240V		
Frecuencia de red CA (Rango*)	50Hz/60Hz (45-55Hz/55-65Hz)		
Factor de potencia nominal / ajustable	>.99 / +0.8 ... -0.8		
Distorsión armónica total	<3%		
Tipo de conexión CA	Monofásico		
Eficiencia			
Máxima eficiencia	97.4%	97.4%	97.6%
Eficiencia europea	97.0%	97.0%	97.0%
Eficiencia de MPPT		99.90%	
Dispositivos de protección			
Protección de polaridad inversa CD	Sí		
Interruptor CD	Sí		
Protección contra sobretensión CA/CD	Clase III / Clase II		
Protección de corto circuito CA	Sí		
Monitoreo de falla a tierra	Sí		
Monitoreo de red	Sí		
Protección anti-isla	Sí		
Monitoreo de corriente residual	Sí		
AFCI	Sí		
Datos generales			
Dimensiones	274/254/138mm		
Peso	6.0kg	6.0kg	6.2kg
Rango de temperatura de operación	- 25°C ... +60°C(-13...+140°F)		
Altitud	4000m sin pérdida		
Autoconsumo (noche)	<0.5 W		
Topología	Sin transformador		
Enfriamiento	Convección natural		
Grado de protección	IP65		
Humedad relativa	100%		
Conexión CD	H4 / MC4 (opcional)		
Conexión CA	Conector		
Pantalla	OLED		
Comunicación: RS485 / USB / WIFI / GPRS / RF / LAN	Sí/Sí/Opc/Opc/Opc/Opc		
Garantía: 5 años / 10 años	Sí/Opc		
CE, AS4777, AS/NZS 3100, CEI 0-21, VDE-AR-N 4105, VDE 0126-1-1, UTE C 15-712-1, EN 50549, IEC 60068, IEC 61683, IEC 621 G98, EN61000-6-2, EN61000-6-3, EN61000-3-2, EN61000-3-3, IEC/EN62109-1, IEC/EN62109-2, UL1741, IEEB			

* El rango de voltaje AC puede variar dependiendo del estándar de red específico del país.
Todas las especificaciones son sujetas a cambio sin previo aviso.

SIEMENS

Hoja de datos


6ED1052-1MD08-0BA0

LOGO! 12/24RCE,mód. lógico,disp



Figura similar

Display	
Con display	Sí
Diseño/montaje	
Montaje	sobre perfil normalizado de 35 mm, 4 módulos de ancho
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	
• 12 V DC	Sí
• 24 V DC	Sí
Rango admisible, límite inferior (DC)	10,8 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Hora	
Programadores horario	
• Cantidad	400; Máx. 400, según la función
• Reserva de marcha	480 h
Entradas digitales	
Nº de entradas digitales	8; de ellas, 4 aptas como E analógicas (0 a 10 V)

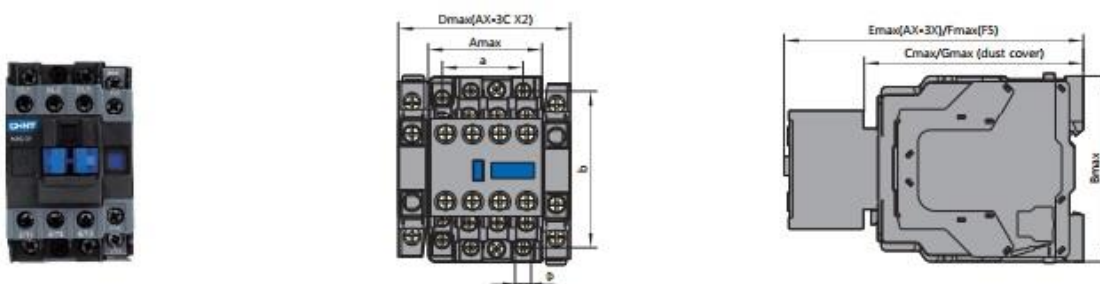
Salidas digitales	
Número de salidas	4; Relé
Protección contra cortocircuito	No; requiere protección externa
Intensidad de salida	
<ul style="list-style-type: none"> • para señal "1" rango admisible para 0 a 55 °C, máx. 	10 A
Salidas de relé	
Poder de corte de los contactos	
— con carga inductiva, máx.	3 A
— con carga resistiva, máx.	10 A
CEM	
Emisión de radiointerferencias según EN 55 011	
<ul style="list-style-type: none"> • Clase de límite B, para aplicación en el ámbito residencial 	Si
Grado de protección y clase de protección	
Grado de protección según EN 60529	
<ul style="list-style-type: none"> • IP20 	Si
Normas, homologaciones, certificados	
Marcado CE	Si
Homologación CSA	Si
Homologación UL	Si
Homologación FM	Si
desarrollado conforme a IEC 61131	Si
según VDE 0631	Si
Homologaciones navales	Si
Condiciones ambientales	
Temperatura ambiente en servicio	
<ul style="list-style-type: none"> • mín. 	-20 °C; Sin condensación
<ul style="list-style-type: none"> • máx. 	55 °C
Temperatura ambiente en almacenaje/transporte	
<ul style="list-style-type: none"> • mín. 	-40 °C
<ul style="list-style-type: none"> • máx. 	70 °C
Dimensiones	
Ancho	71,5 mm
Alto	90 mm
Profundidad	60 mm
Última modificación:	14/03/2020 

Anexo F: Datos técnicos del contactor CHINT NXC-09



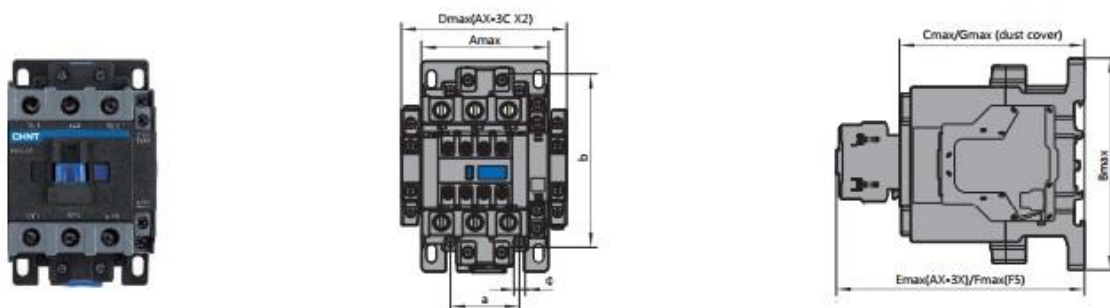
NXC-06-22

Dimensions and installation



NXC-25-100

Dimensions and installation



Model	Amax	Bmax	Cmax	Dmax	Emax	Fmax	Gmax	a	b	Φ
NXC-06-22	45.5	75	88	70	126.5	146.5	90	35±0.31	62±0.31	4.5
NXC-25-38	56.5	87	93	81	131.5	151.5	95	40±0.31	48±0.31	4.5
NXC-40-65	77	129	118	102	156.5	176.5	121	40±0.31	105±0.31	6.5
NXC-75-100	87	132	127	112	165.5	185.5	129	40±0.28	105±0.57	6.5

Anexo G: Datos técnicos del relé MK2P-I.



specification

		MY SERIES			LY SERIES			MK SERIES	
MODEL		MY-2	MY-3	MY-4	LY-2	LY-3	LY-4	MK2P-I	MK3P-I
EXTERNAL DIMENSION (mm)	L	27.6			27.6	27.6	27.6	34.7	
	W	21.5			21.5	21.5	21.5	34.7	
	H	34			36	36	36	52	
CONTACT FORM		2A2B	3A3B	4A4B	2A2B	3A3B	4A4B	2A2B	3A3B
CONTACT CAPACITY		28V DC 220V AC			28V DC 220V AC			28V DC 220V AC	
		5A	3A	15A/10A	10A		10A 5A		
COIL VOLTAGE	DC	6,12,24,36,110 V			6,12,24,36,48,110V			6,12,24,48,60,110,220V	
	AC	6,12,24,36,110,220V			6,12,24,36,48,110,220V			6,12,24,36,48,110,127,220,380V	
CONTACT RESISTANCE		≤ 50mΩ			≤ 50mΩ			≤ 50mΩ	
INSULATION RESISTANCE		≥ 1000MΩ			≥ 1000MΩ			≥ 500MΩ	
DIELECTRIC STRENGTH		1000V AC 50/60Hz			1500 AC 50/60 Hz			1500V AC 50/60Hz	
SERVICE LIFE	MECHANICAL	10,000,000			10,000,000			10,000,000	
	ELECTRICAL	100,000			100,000			100,000	
TERMINAL		OUTLET AND PRINTED-CIRCUIT BOARD			OUTLET AND PRINTED-CIRCUIT BOARD			OUTLET SOLDER	

MK2P-I

External dimension : L34.7 x W34.7 x H52 (mm)

Contact form : 2A2B

Contact capacity : 28V DC / 220V AC 10A 5A

Coil voltage : DC 6, 12, 24, 48, 60, 110V / AC 6, 12, 24, 36, 48, 110, 127, 220, 380V

Contact resistance : ≤50mΩ

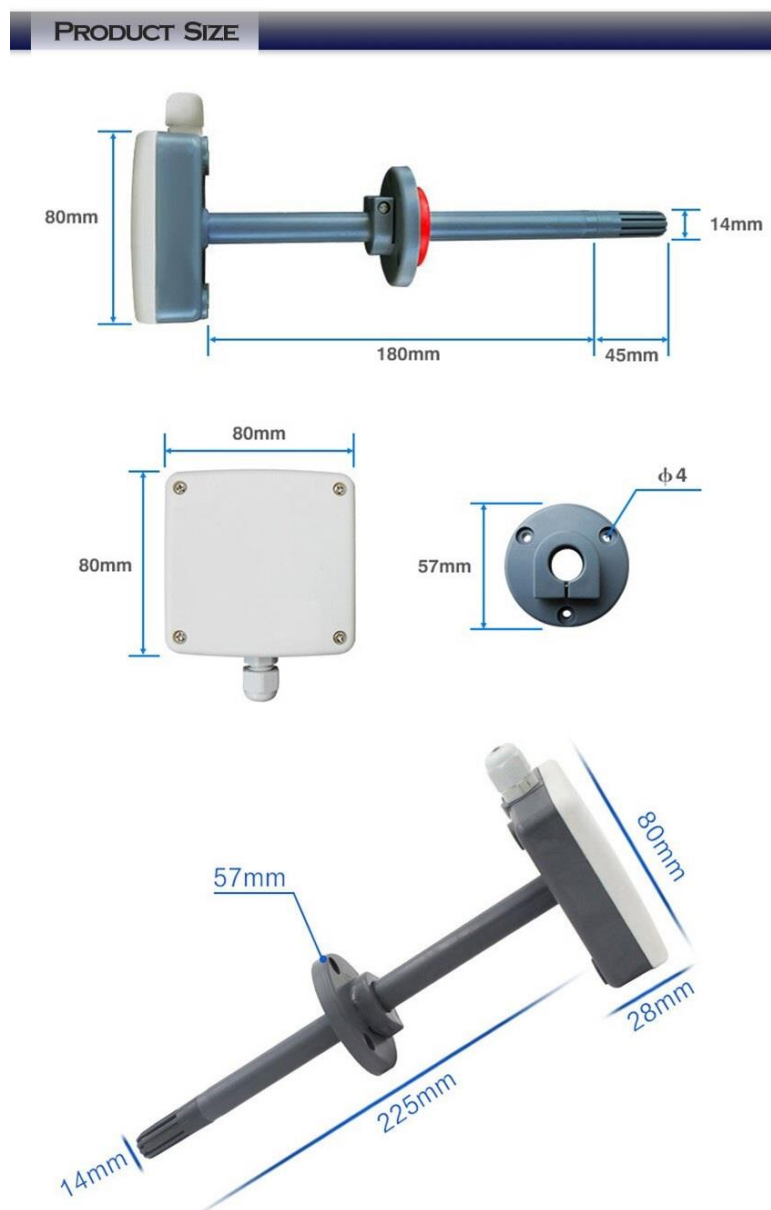
Insulation resistance : ≥500mΩ

Dielectric strength : 1500V AC 50/60Hz

Service life : Mechanical 10,000,000 / Electrical 100,000

Terminal : Outlet solder

Anexo H: Datos técnicos del sensor de Temperatura GT-FGWS



PARAMETER			
Brand	JUIE	Temperature Accuracy	±0.3%(25°C)
Product Name	Pipeline temperature and humidity transmitter	Humidity Accuracy	±3%RH
Power Supply	10~30 VDC 24V±10 % AC	Temperature Range	-40°C~+80°C(default) There are 4 levels to adjust
Signal Output	4-20mA/0~5VDC/ 0~10VDC	Humidity Range	0~100%RH
Power Consumption	≤0.5W	Product Size	225*80*14mm
Working Temperature	-40°C~+60°C	Working Humidity	0~80%RH

Anexo I: Datos técnicos del sensor de movimiento ST05C



Sensor Movimiento Techo ST05C

CÓDIGO: FT-119



REFERENCIA

12012

MODELO

SENSOR MOVIMIENTO TECHO ST05C



7 161320 012012

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sensor de movimiento para instalar en el techo, es muy útil en pasillos de apartamentos o en zonas donde sea necesario detectar movimientos o intrusos.

Presentación: Caja x 1

Producto de uso interior.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Voltaje	Frecuencia	Altura Instalación	Distancia de Detección	Temperatura de Operación	Consumo de Energía	
 110-130V	 50/60Hz	 2.2 - 4m	 6m. Max (<24°C)	 -20°C - 40°C	 0.5W	
Vida Útil	Rango de Detección	Tiempo Espera	Velocidad de Detección	Garantía	Grado IP	Carga Recomendada
 20.000 Horas	 360°	 10 seg - 2 min Ajustable	 0.6 - 1.5m/s	 2 años	 IP20	 200W

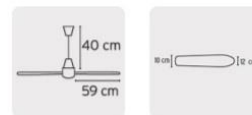
EXCELL S.A.S. - CERTIFICACIÓN ISO 9001:2008 IMPORTACION, COMERCIALIZACION Y DISTRIBUCION DE PRODUCTOS PARA ILUMINACION INTERIOR Y EXTERIOR.



Anexo J: Datos técnicos del ventilador SKUT



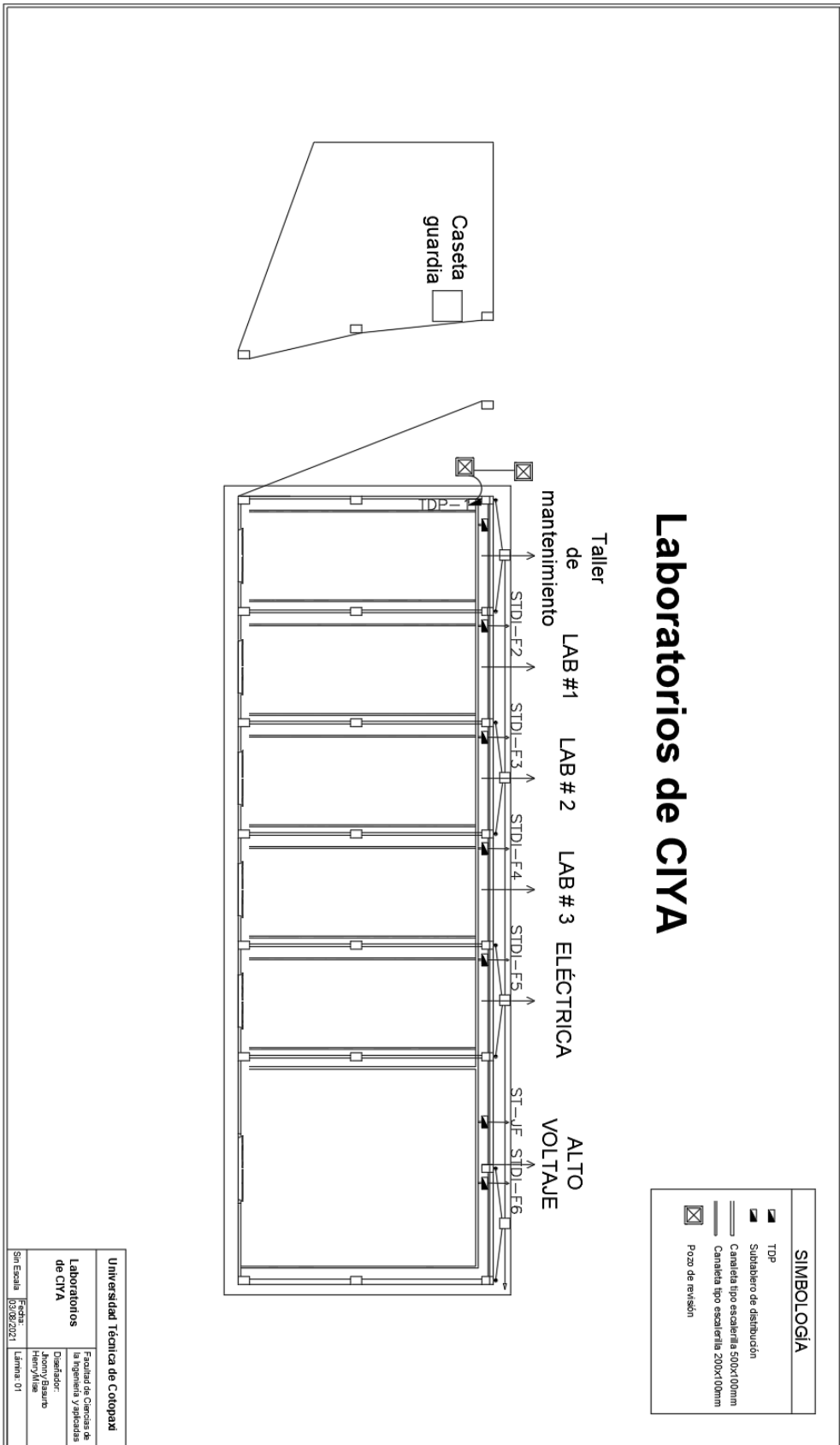
- Fabricado en acero
- 3 Aspas
- Control de pared de 5 velocidades



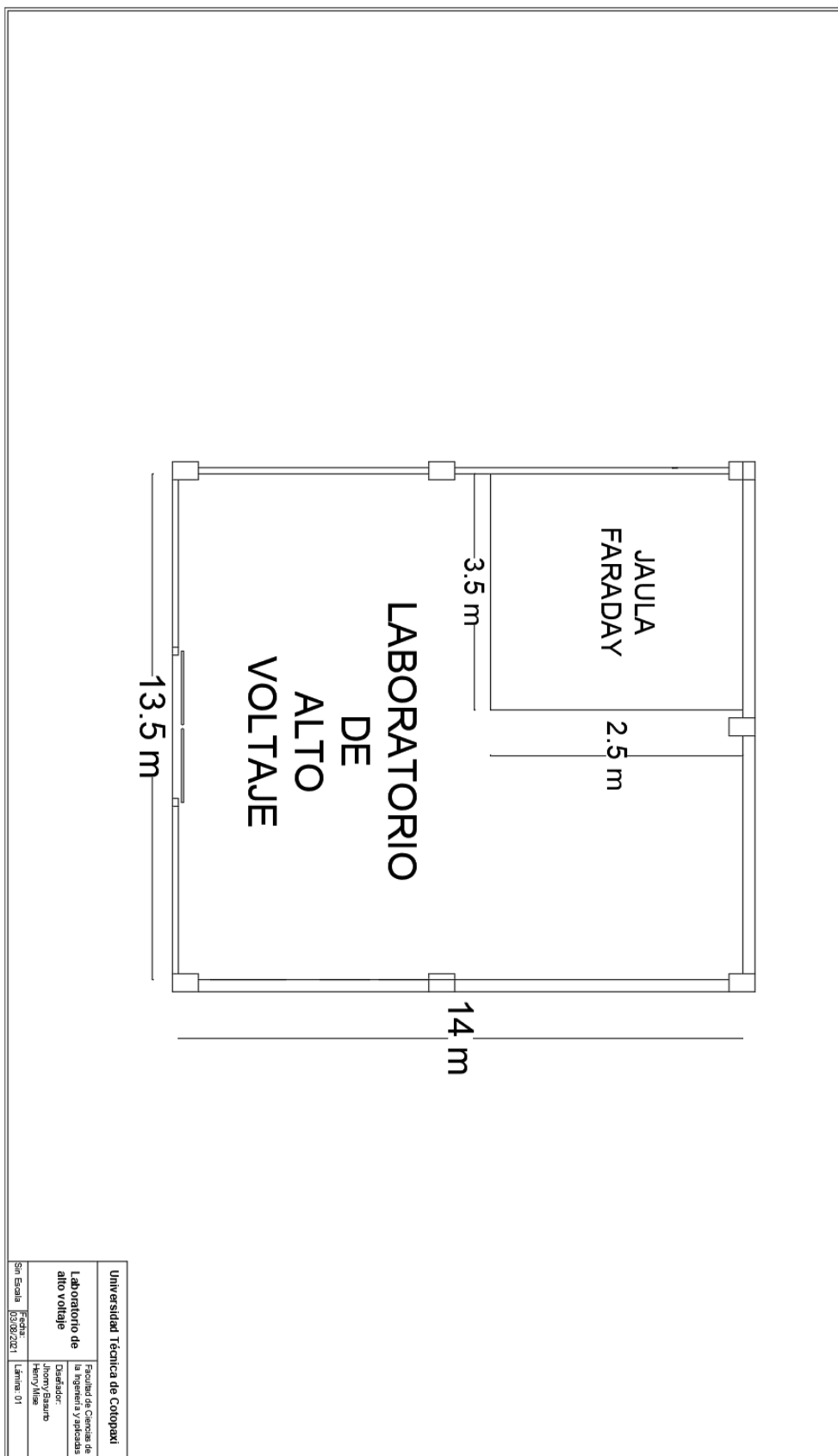
Especificaciones

Color	Blanco
Potencia	75 W
Tensión	127 V
Frecuencia	60 Hz
Flujo de aire	11 400 m ³ /h
Velocidad	300 rpm
Área máxima	15 m ² - 20 m ²
Diámetro	56" (142 cm)
Longitud del brazo	40 cm
Longitud del aspa	59 cm
Ancho del aspa (interno)	10 cm
Ancho del aspa (externo)	12 cm

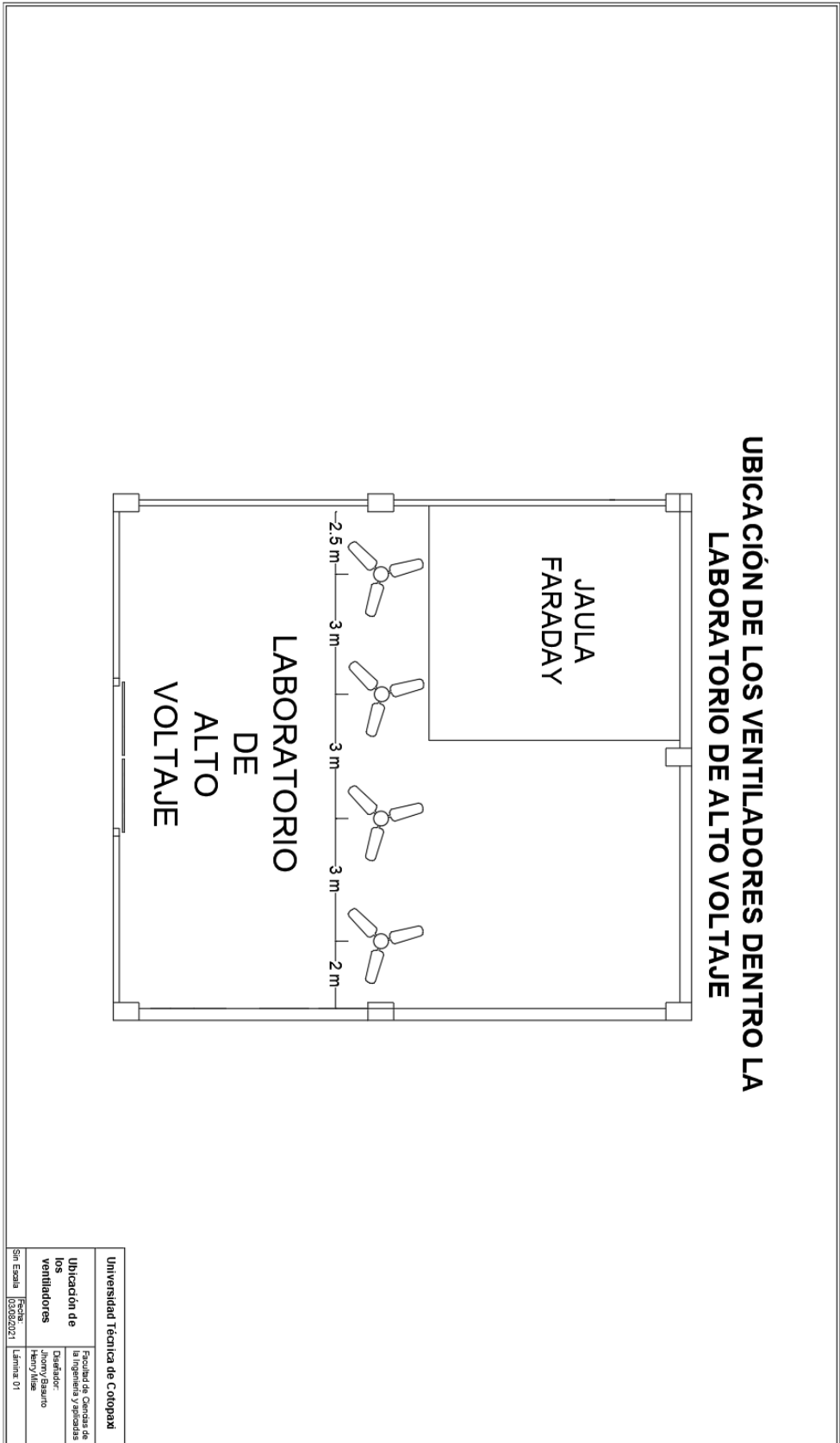
Anexo K: Laboratorios de CIYA.



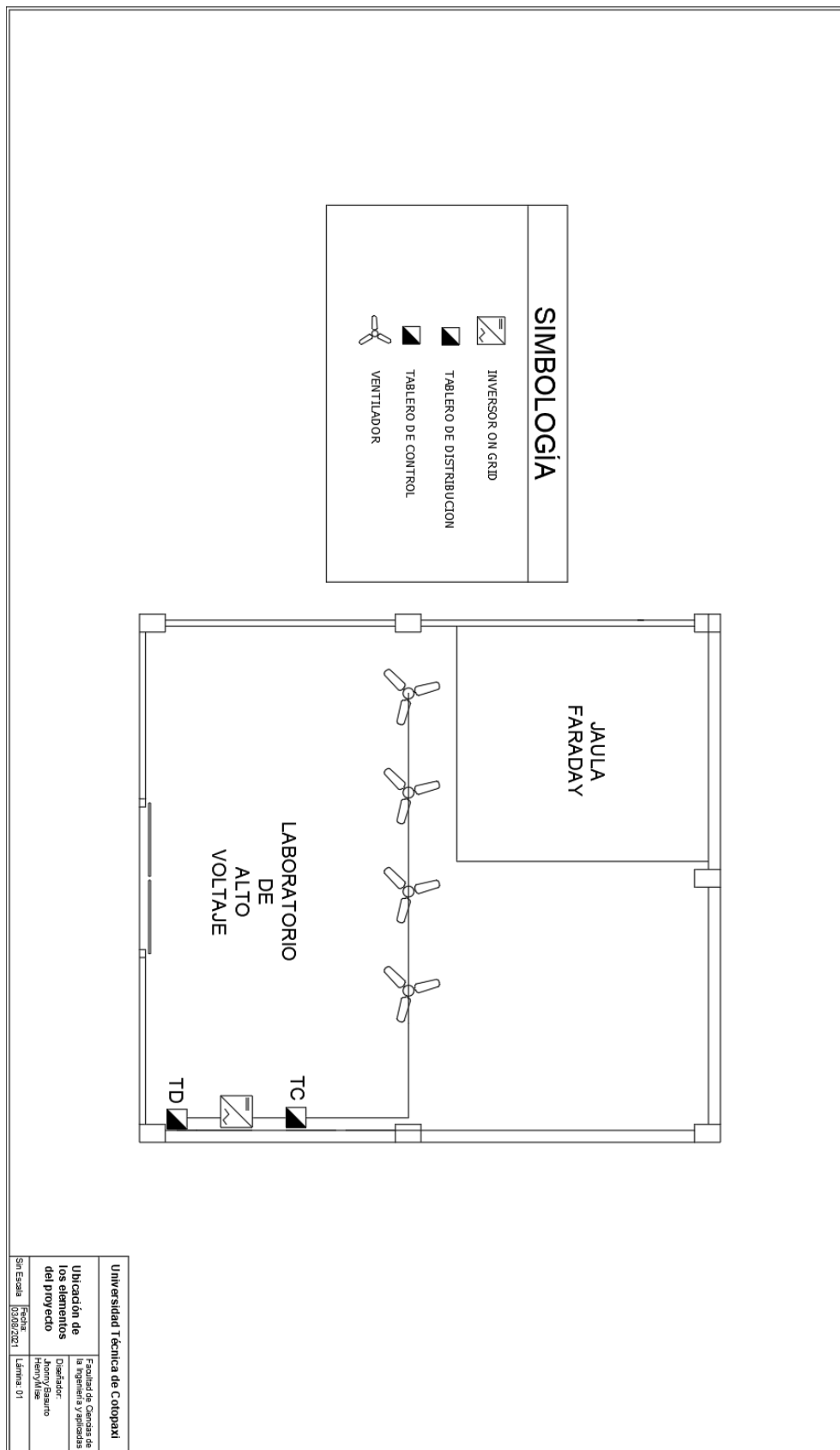
Anexo L: Laboratorio de alto voltaje.



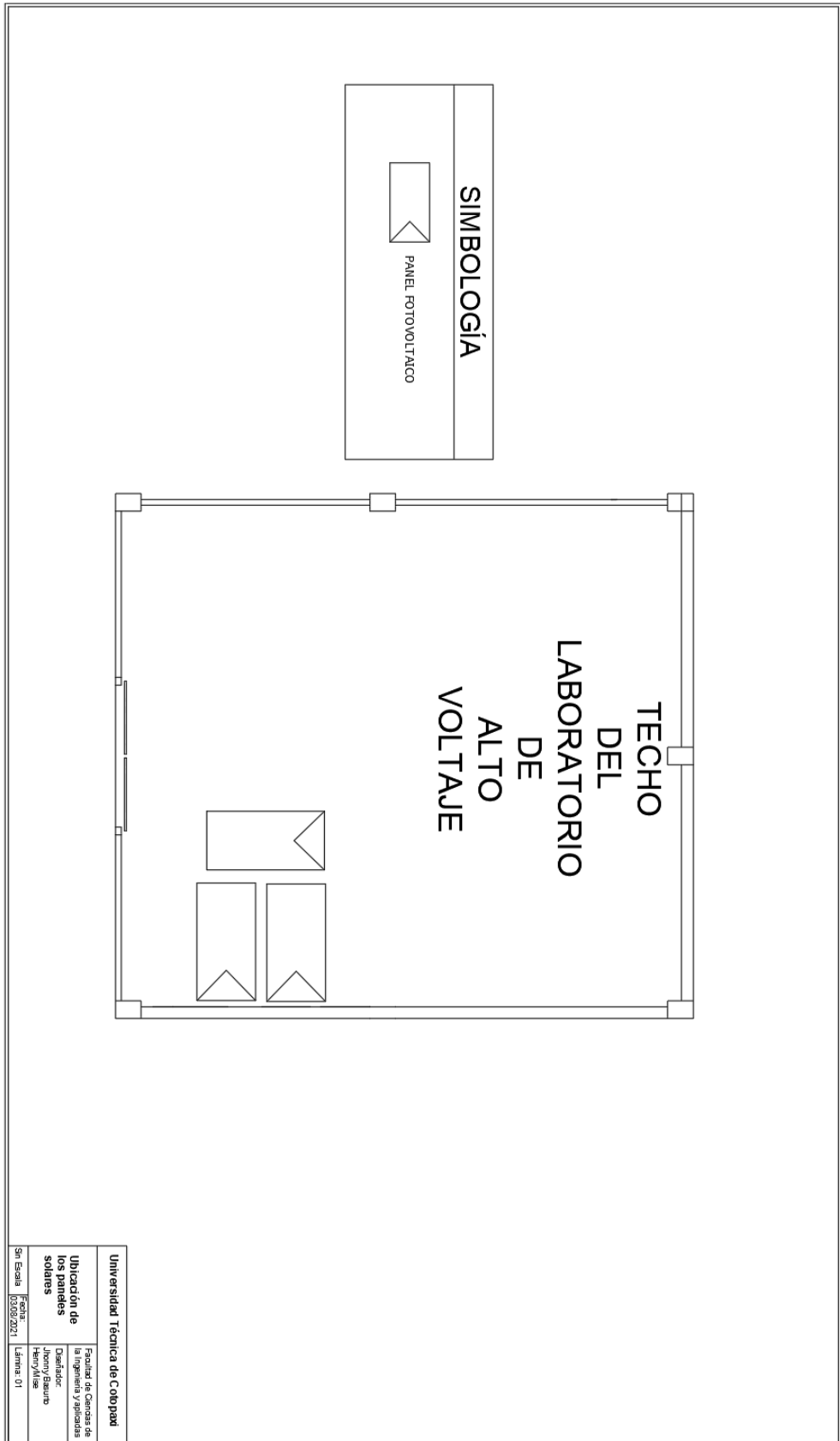
Anexo M: Esquema de instalación del proyecto.



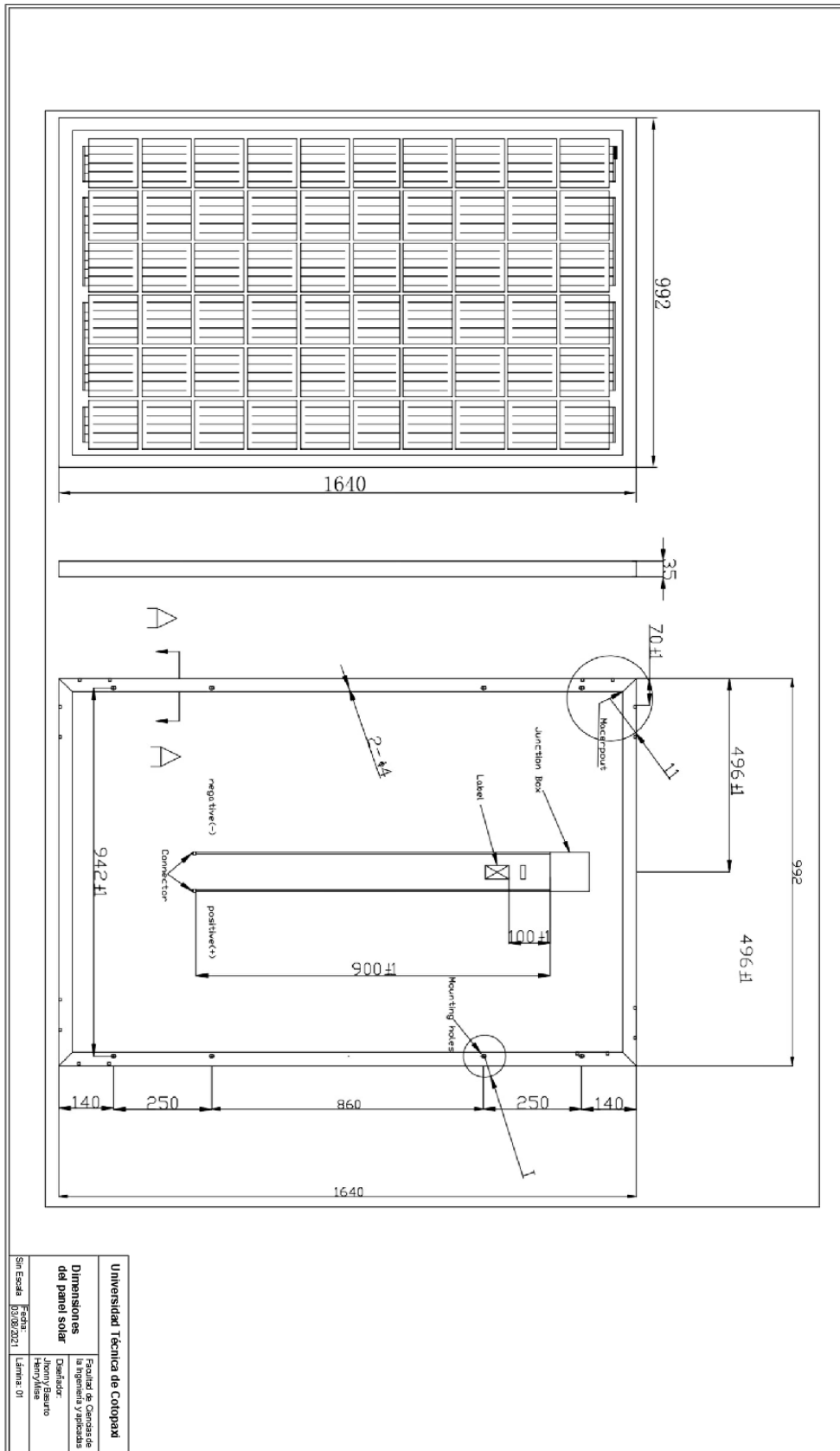
Anexo N: Ubicación de los elementos del proyecto.



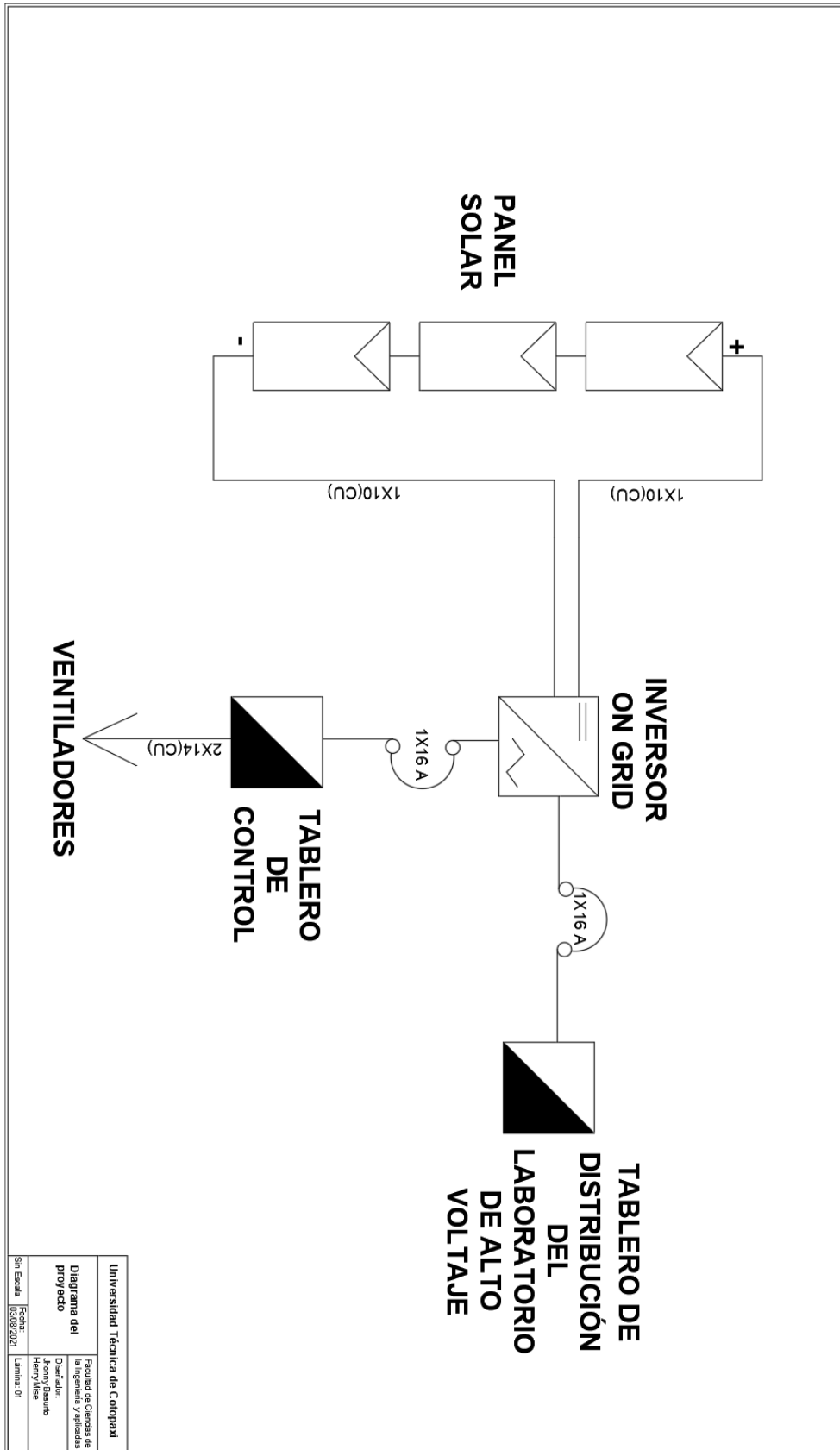
Anexo O: Ubicación de los paneles fotovoltaicos.



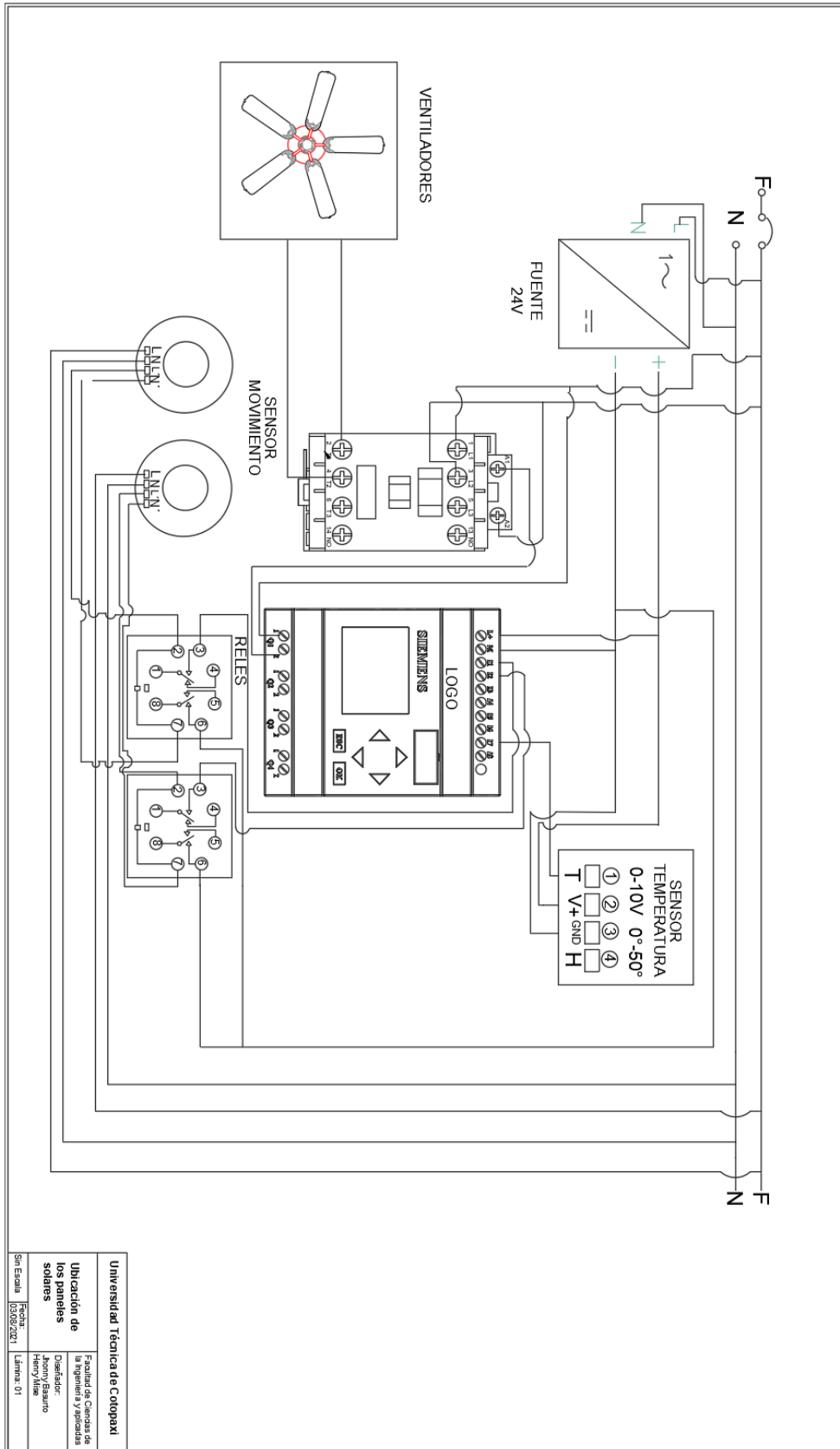
Anexo P: Dimensiones del panel fotovoltaico.



Anexo Q: Diagrama de conexión del sistema fotovoltaico.

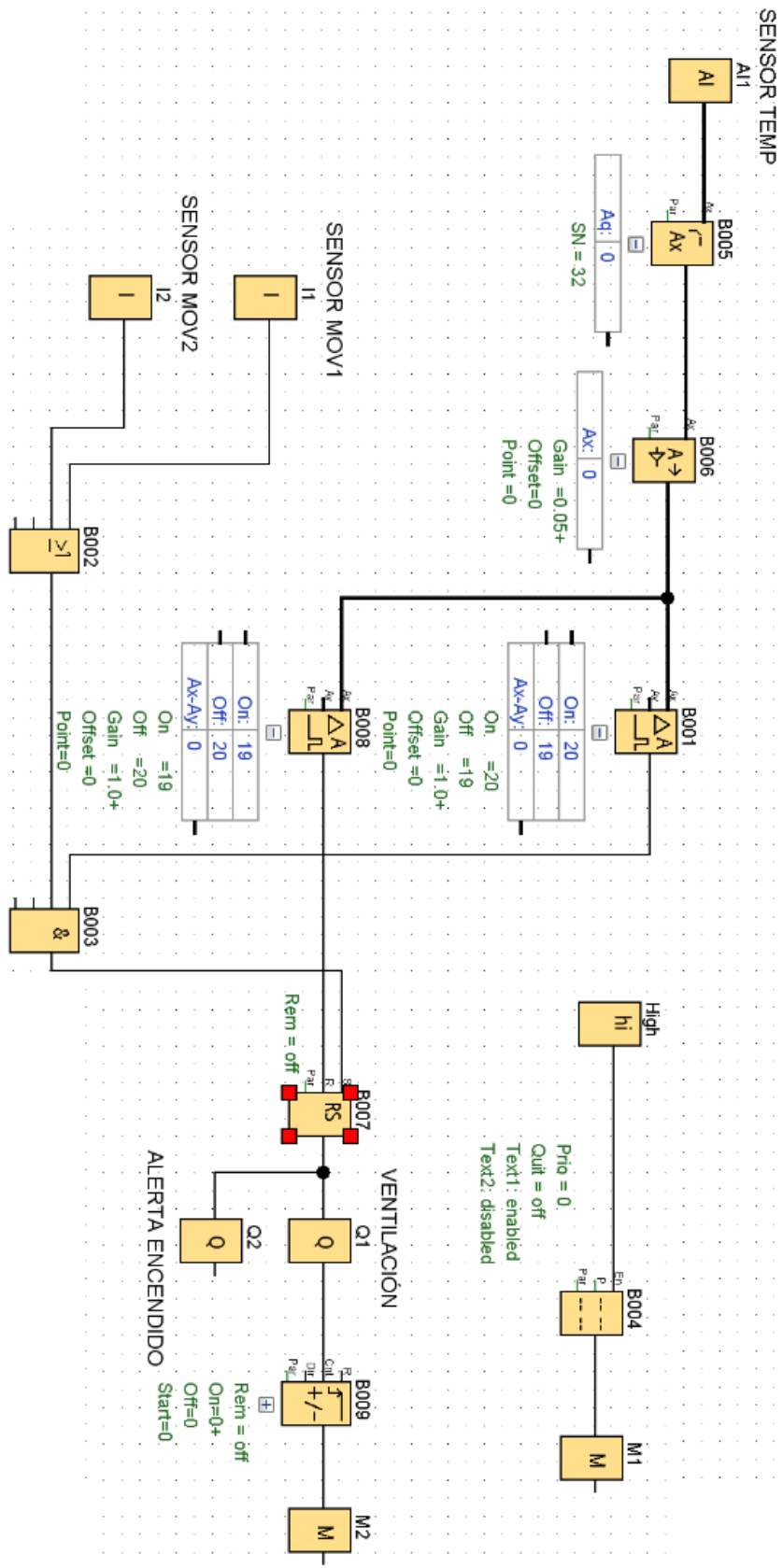


Anexo R: Diagrama de conexión del sistema de automatizado para los ventiladores.



Universidad Técnica de Cotopaxi	
Ubicación de los paneles solares	Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Agronomía Diseñador: Henry Basurto Henry Basurto
Sin Escala Fecha: 03/09/2021	Lima - 01

Anexo S: Programación del sistema de ventilación.



Anexo T: Manejo de la Plataforma ShineServer de Growatt

Para acceder a la plataforma se lo hace desde el siguiente enlace: <https://server.growatt.com>, donde se deberá ingresar con un usuario y contraseña.

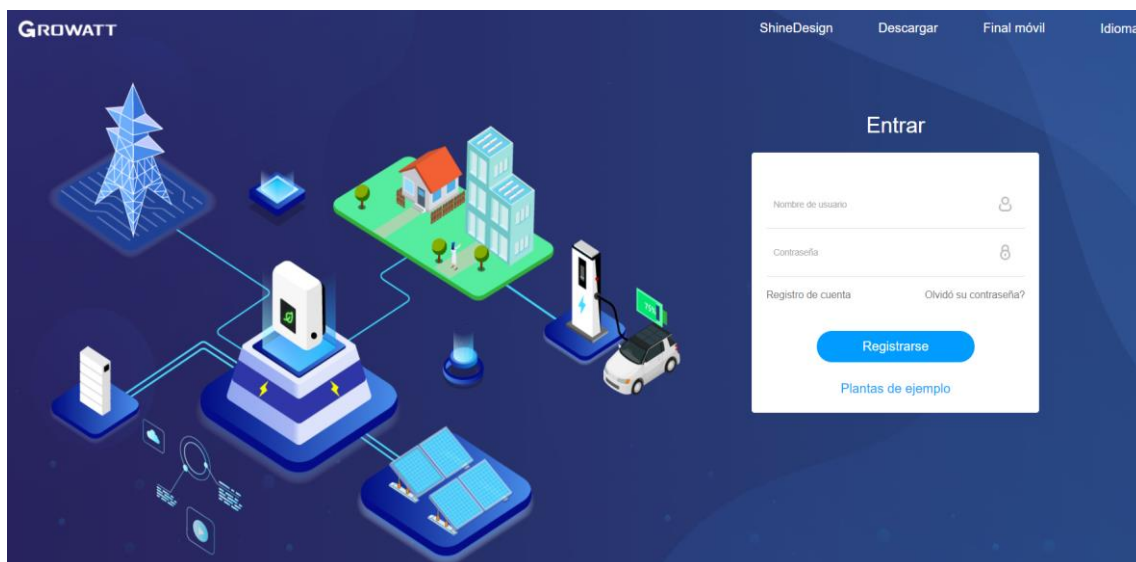


Figura T.1: Entrada a la plataforma de Growatt.

Una vez dentro tenemos diferentes opciones en las cuales se puede observar los parámetros de generación de energía y del inversor.

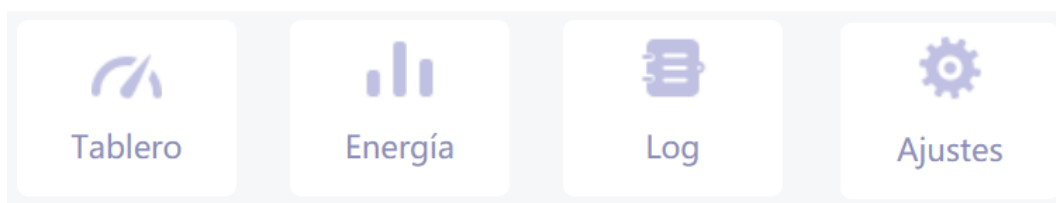


Figura T.2: Opciones de la plataforma.

Tablero

En la opción “Tablero” podemos encontrar datos como la curva de potencia durante el día, energía generada del día, energía total, datos históricos.

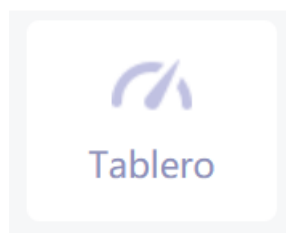


Figura T.3: Opción tablero



Figura T.4: Datos de la plataforma en la opción Tablero.

Obtención de Datos Históricos

Dentro de la opción Tablero podemos ingresar a los datos históricos de la generación de energía.

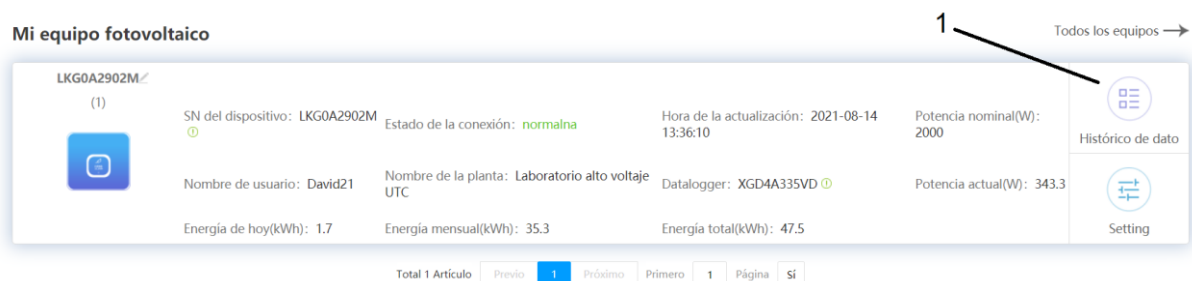


Figura T.5: Ingreso a los datos históricos de generación.

Donde tendremos datos del estado del inversor de cualquier día que desde que entro en funcionamiento, la energía generada, potencia, voltaje, corriente de entrada y salida al inversor, los mismo que se puede descargar en una hoja de Excel con la opción importar..

No.	Time	Status	EacToday	EacTotal	Ppv(W)	Ppv1(W)	Ppv2(W)	Pac(W)	Vpv1(V)	Ipv1(A)	Vpv2(V)	Ipv2(A)	fac(Hz)
1	2021-08-14 14:01:11	Normal	1.9	47.7	203.5	203.5	0.0	199.7	96.7	2.2	0.0	0.0	60.0
2	2021-08-14 13:56:11	Normal	1.8	47.6	231.5	231.5	0.0	226.9	98.6	2.3	0.0	0.0	60.1
3	2021-08-14 13:51:10	Normal	1.8	47.6	272.8	272.8	0.0	267.4	98.7	2.8	0.0	0.0	60.0
4	2021-08-14 13:46:10	Normal	1.8	47.6	302.7	302.7	0.0	296.5	96.7	3.1	0.0	0.0	60.0
5	2021-08-14 13:41:10	Normal	1.8	47.6	287.0	287.0	0.0	282.0	92.9	3.1	0.0	0.0	60.0
6	2021-08-14 13:36:10	Normal	1.7	47.5	350.3	350.3	0.0	343.3	94.7	3.8	0.0	0.0	60.1
7	2021-08-14 13:31:10	Normal	1.7	47.5	345.3	345.3	0.0	338.4	93.4	3.5	0.0	0.0	60.1
8	2021-08-14 13:26:09	Normal	1.7	47.5	382.1	382.1	0.0	374.7	98.4	4.7	0.0	0.0	60.0
9	2021-08-14 13:21:09	Normal	1.6	47.4	532.7	532.7	0.0	523.0	91.3	5.8	0.0	0.0	60.0
10	2021-08-14 13:16:09	Normal	1.6	47.4	353.0	353.0	0.0	345.2	94.5	3.8	0.0	0.0	59.9
11	2021-08-14 13:11:09	Normal	1.6	47.4	249.4	249.4	0.0	244.5	96.7	2.7	0.0	0.0	60.0
12	2021-08-14 13:06:08	Normal	1.6	47.4	248.3	248.3	0.0	243.3	99.7	2.6	0.0	0.0	60.0

Figura T.6: Histórico de datos.

Energía

Dentro de la opción “Energía” podemos ingresar a las curvas generadas por el inversor como energía, potencia, voltaje y corriente.

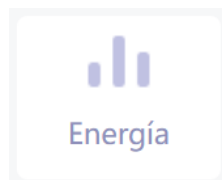


Figura T.7: Opción tablero

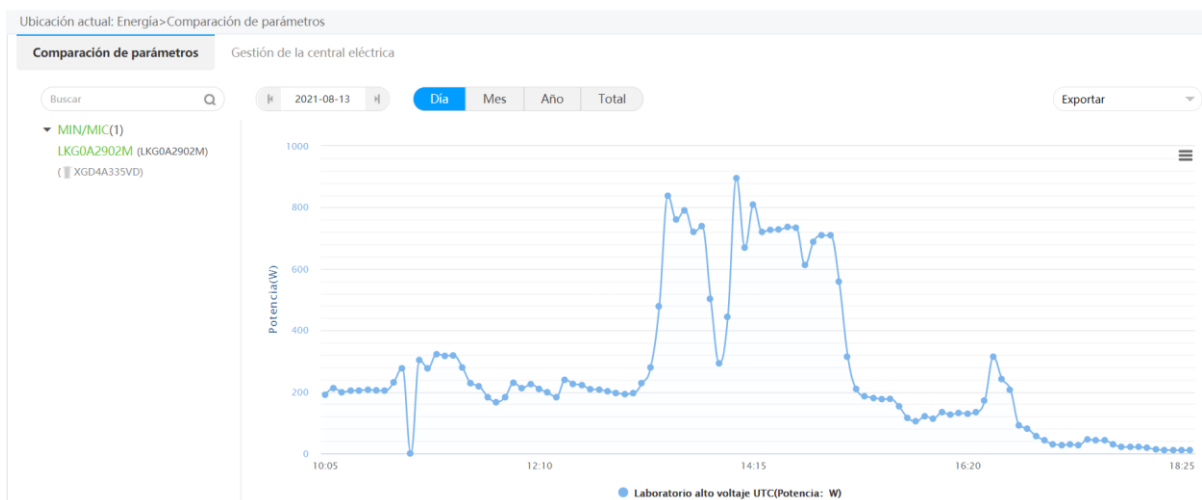


Figura T.8: Datos de la plataforma en la opción Energía.

Para tener acceso a las curvas primero debemos seleccionar el inversor.

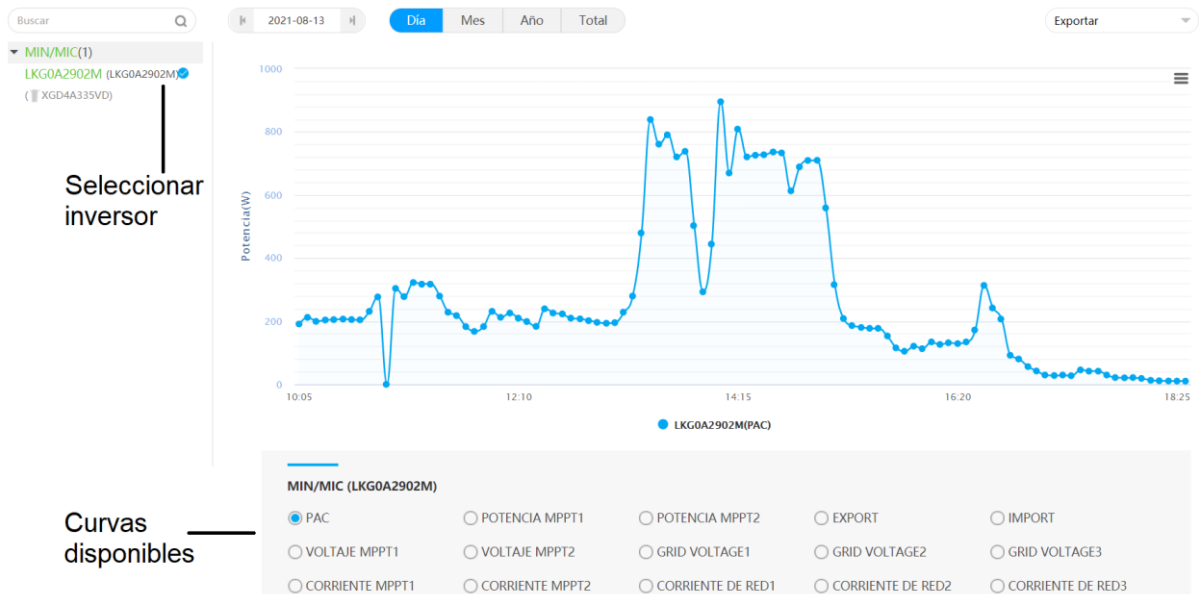


Figura T.9: Curvas del inversor disponibles.

Donde:

PAC: Potencia corriente alterna.

GRID VOLTAJE1: Voltaje de salida del inversor.

CORRIENTE DE RED1: Corriente de salida del inversor.

Voltaje MPPT1: Voltaje de entrada al inversor.

Corriente MPPT1: Corriente de entrada al inversor.

LOG

Dentro de la opción “Log” podemos ingresar al registro de fallos del inversor.

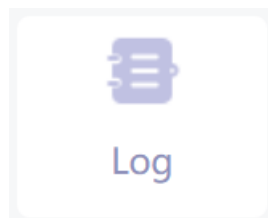


Figura T.10: Opción Log.

Alarmas del inversor

Cuando se genera una alarma el inversor nos da la descripción de la falla y su posible solución.

Log

Ubicación actual: Log>Registro de fallos

Registro de fallos

2021-07-24 Mes Año Total SN del dispositivo SN del dispositivo Buscar Exportar

SN del dispositivo	Alias	Tipo de dispositivo	Tiempo	Eventos del SN	Descripción de la falla	Solución
LKG0A2902M	LKG0A2902M	Min / MIC	2021-07-24 16:36:08	302(00)	Sin conexión de CA	1.Después del apagado, verifique el cableado de CA. 2.Si el mensaje de error persiste, comuníquese con el fabricante.

Figura T.11: Registro de fallas.

Si se desea que cuando ocurra una falla nos llegue a nuestro correo un mensaje debemos de seguir los siguientes pasos:

1. Ir a la opción ajustes.
2. Ingresar a “Ajustar e-mail”.
3. Dar clic en “Añadir”.

Ajustes


Ubicación actual: Ajustes>Ajustar e-mail

Administración de cuenta Buscar cuenta **Ajustar e-mail** Descargas

1

2

3

N°	E-mail	Recibir alarmas	Recibir informes semanales	Recibir informes mensuales	Informe semanal de la máquina de almacenamiento de energía	Operando
 <p>No hay datos todavía</p>						

Añadir

Figura T.12: Pasos para añadir un correo al que lleguen las fallas del sistema.

• Añadir

E-mail

Recibir alarmas
 Recibir informes semanales
 Recibir informes mensuales
 Informe semanal de la máquina de almacenamiento de energía

Sí Cancelar

Figura T.13: Ventana para añadir el correo.

Compartir datos de la planta fotovoltaica

Lo siguiente es solo para compartir los datos de la planta fotovoltaica, el usuario al que se le haya compartido la información solo podrá ver datos mas no podrá cambiar la configuración del inversor.

Como primer paso es ir dar clic en la parte donde dice “Ajustes”, después se abrirá más opción en donde deberes de elegir “Buscar cuenta”, como último paso debemos dar clic en “Añadir”.

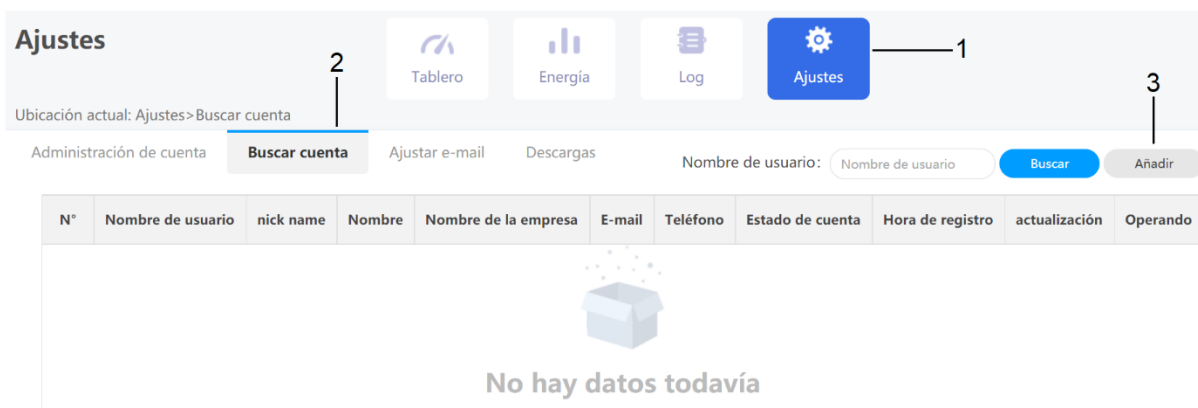


Figura T.14: Pasos para compartir datos de la central fotovoltaica.

A continuación, se abrirá una nueva ventana en donde se deberá completar todos los datos del usuario y selección la planta fotovoltaica que se desea compartir.

The screenshot shows the 'Añadir cuenta' (Add account) form. The form has a title bar with 'Añadir cuenta' and a close button. Below the title bar, there are several input fields: 'Nombre de usuario', 'E-mail', 'Nombre de la empresa', 'Teléfono', 'nick name', 'Nombre', 'Contraseña', and 'De nuevo'. There is a checkbox for 'Enviar contraseña a la siguiente cuenta'. Below the checkbox, there is a search bar for 'Seleccionar planta:' with a dropdown menu showing 'Laboratorio alto voltaje UTC'. At the bottom of the form, there are two buttons: 'Sí' and 'Cancelar'.

Figura T.15: Añadir cuenta.

Anexo U: Mensaje de Fallos y Error del Inversor

Fallo del sistema

Mensaje de Error	Descripción	Sugerencia
Alto residual Error: 201	Corriente de fuga demasiado alta	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reiniciar la inversión. 2. Si sigue habiendo un mensaje de error, póngase en contacto con Growatt.
Alta tensión fotovoltaica Error: 202	La tensión de entrada de corriente continua supera el valor máximo tolerable	<ol style="list-style-type: none"> 1. Por favor, apague el interruptor de CC, especialmente el cable neutro y de tierra.cc. 2. Comprobar la tensión de cada cadena PV con multímetro. 3. Si la tensión de la cadena PV es inferior a 550V, póngase en contacto con Growatt.
Insolación fotovoltaica baja Error: 203	Problema de aislamiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Comprobar si el recinto del panel se ha rectificado correctamente. 2. Comprobar si el inversor se ha rectificado correctamente. 3. Comprobar la impedancia de PV (+) y PV (-) entre el suelo (debe ser superior a 25 k o 500 k (VDE 0126)). Si el mensaje de error se muestra a pesar de la comprobación anterior pasado, póngase en contacto con Growatt.
AC V Outrange Error: 300	La red eléctrica está fuera del alcance permitido.	<p>Por favor swith fuera de DC swith, especialmente neutro y cable de tierra.</p> <p>Compruebe el voltaje de la red se cumple con el estándar de red local. Reinicie el inversor, si todavía existe el problema, póngase en contacto con Growatt.</p>
Sin conexión de CA Error: 302	Sin conexión de CA	<p>Comprobar el cableado de CA</p> <p>Compruebe el estado del interruptor de CA</p>
PE anormal Error: 301	Voltaje de neutro y PE por encima de 30V.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Comprobar la tensión de neutro y PE. 2. Comprobar el cableado de CA. 3. Reiniciar el inversor
AC F Outrange Error: 304	Frecuencia de red de utilidad fuera del rango permitido.	<p>Por favor, apague el interruptor de CC.</p> <p>Compruebe el cableado de CA, especialmente neutro y de tierra.</p> <p>Compruebe la frecuencia de la cuadrícula se cumple con el estándar de la cuadrícula local. Reinicie el inversor. Si el problema aún existe, póngase en contacto con Growatt.</p>
Falló la prueba automática Error: 407	Falló la prueba automática	<p>Reinicie el inversor, repita la prueba automática, si el problema aún existe, contacte a Growatt.</p>

Avisos del inversor

Código de advertencia	Significado	Sugerencia
Warning202	DC SPD función anormal	1. Después del cierre, compruebe el SPD de CC. 2. Si sigue habiendo un mensaje de error, póngase en contacto con el fabricante.
Warning203	Circuito corto de Pv1 o PV2	Compruebe la polaridad del panel fotovoltaico. Reinicie el inversor. Si la advertencia aún existe, póngase en contacto con el servicio de atención al cliente de Growatt para reemplazar la placa POWER.
Warning204	Función Dryconnect anormal	1. Después del cierre, compruebe el cableado seco de Dryconnect. 2. Si el mensaje de error sigue existiendo, póngase en contacto con el fabricante.
Warning205	Impulso PV1 o PV2 roto	Reinicie el inversor. Si la advertencia aún existe, póngase en contacto con el servicio de atención al cliente de Growatt para reemplazar la placa de alimentación.
Warning207	Sobrecorriente USB	1: Desconecte el disco U o monitor. 2: Volver a acceder al disco U o al monitor después del apagado. 3. Si el mensaje de error sigue existiendo, póngase en contacto con el fabricante.
Warning401	Inversor se comunica con medidor anormal	1: Compruebe si el medidor está encendido. 2: Compruebe el inversor y la conexión del medidor es normal.
Warning404	EEPROM anormal	Reinicie el inversor. Si la advertencia aún existe, póngase en contacto con el servicio de atención al cliente de Growatt para reemplazar el tablero M3.
Warning405	La versión de firmware no es consistente	Actualizar la versión correcta del firmware

Fallo del inversor

Código de error	Significado	Sugerencia
Error: 200	Fallo de la AFCI	1.Después del cierre, compruebe el terminal del panel fotovoltaico. 2. Reiniciar el inversor. 3. Si sigue habiendo un mensaje de error, póngase en contacto con Growatt.
Error: 402	Alta ICD de salida	Reiniciar inversor, si el problema todavía existe, Contacto Growatt.
Error: 404	Fallo de Bussample	Reiniciar inversor, si el problema todavía existe, Contacto Growatt.
Error: 405	Falla de relé	Reiniciar inversor, si el problema todavía existe, Contacto Growatt.
Error: 408	Sobre temperatura	Si la temperatura ambiente del inversor es inferior a 60°C, reinicie el inversor, si sigue habiendo mensaje de error, póngase en contacto con Growatt.
Error: 409	Sobretensión del bus	Reiniciar inversor, si el problema todavía existe, Contacto Growatt.
Error: 411	DSP se comunica con M3 anormal	Reiniciar inversor, si el problema todavía existe, en contacto con Growatt.
Error: 414	Culpa de la EEPROM.	Reiniciar inversor, si el problema todavía existe, Contacto Growatt.
Error: 417	Los datos muestreados por el DSP y el M3 redundante no son los mismos.	Reiniciar inversor, si el problema todavía existe, Contacto Growatt.
Error: 420	Culpa del GFCI.	Reinicie el inversor, si todavía existe el problema, o póngase en contacto con Growatt.
Error: 425	Fallo de autoevaluación de la AFCI	Reinicie el inversor, si todavía existe el problema, o póngase en contacto con Growatt.

Anexo V: Medición de la temperatura de los paneles fotovoltaicos.



Figura V.1: Medición de la temperatura del panel fotovoltaico N° 1.



Figura V.2: Medición de la temperatura del panel fotovoltaico N° 2.



Figura V.3: Medición de la temperatura del panel fotovoltaico N° 3.

Anexo W: Medición del voltaje a la salida del sensor de temperatura.



Figura W.1: Medición de la señal de voltaje del sensor de temperatura a 15°C.

Voltaje calculado 15°:

$$V = \left(\frac{(10V) - (0V)}{(50C^\circ) - (0C^\circ)} * 15C^\circ \right) + 0V = 3V$$

Cálculo del error

$$\text{Error}_{\text{voltaje}} = \frac{|3 - 2.9|}{2.9} * 100$$

$$\text{Error}_{\text{voltaje}} = 3.44 \%$$



Figura W.2: Medición de la señal de voltaje del sensor de temperatura a 31°C.

Voltaje calculado 31°:

$$V = \left(\frac{(10V) - (0V)}{(50C^\circ) - (0C^\circ)} * 31C^\circ \right) + 0V = 6.2V$$

Cálculo del error

$$\text{Error}_{\text{voltaje}} = \frac{|6.2 - 6.1|}{6.1} * 100$$

$$\text{Error}_{\text{voltaje}} = 1.6 \%$$



Figura W.3: Medición de la señal de voltaje del sensor de temperatura a 22°C.

Voltaje calculado 22°:

$$V = \left(\frac{(10V) - (0V)}{(50C^\circ) - (0C^\circ)} * 22C^\circ \right) + 0V = 4.4V$$

Cálculo del error

$$\text{Error}_{\text{voltaje}} = \frac{|4.4 - 4.3|}{4.3} * 100$$

$$\text{Error}_{\text{voltaje}} = 2.32 \%$$

Anexo X: Imágenes del proyecto.



Figura X.1: Inversor ON GRID, tablero de control y tablero de distribución.



Figura X.2: Data logger SHINE WIFI-X conectado al inversor.