



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**TEMA:**

“PROPUESTA TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED DE LA UNIDAD EDUCATIVA 17 DE JULIO EDIFICIO MATRIZ”.

Trabajo de Grado previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico

**AUTOR (A):**

Kevin David Chinchuña Uvidia

**DIRECTOR (A):**

MSc. Olger Gilberto Arellano Bastidas

Ibarra, 2025



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA  
 DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1004150809		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Chinchuña Uvidia Kevin David		
<b>DIRECCIÓN:</b>	15 de Diciembre, Ibarra		
<b>EMAIL:</b>	kdchinchunau@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0969047011

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	PROPUESTA TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED DE LA UNIDAD EDUCATIVA 17 DE JULIO EDIFICIO MATRIZ
<b>AUTOR (ES):</b>	Chinchuña Uvidia Kevin David
<b>FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA</b>	29/05/2025
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero(a) Eléctrico(a)
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Gerardo Collaguazo, PhD. Ing. Olger Arellano, MSc.



## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 29 días del mes de mayo de 2025.

EL AUTOR

Chinchipe Uvidia Kevin David  
C.I: 1004150809



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD

### CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, Ing. Olger Gilberto Arellano Bastidas MSc en calidad de director del señor estudiante Kevin David Chinchuña Uvidia certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del Trabajo de Integración Curricular con el tema "PROPUESTA TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED DE LA UNIDAD EDUCATIVA 17 DE JULIO EDIFICIO MATRIZ"

Para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, aprobado la defensa, impresión y empastado.

Ing. Olger Gilberto Arellano Bastidas MSc

**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



### **DEDICATORIAS**

EL presente trabajo está dedicado con todo mi amor y gratitud a mis padres, Víctor Chinchuña y Carmen Uvidia, quienes me han brindado su apoyo incondicional, amor y sacrificio a lo largo de mi vida. Gracias por su confianza, paciencia y por enseñarme a nunca rendirme. Este éxito es tanto mío como de ustedes.

A mis hermanas, Cinthya, Pame y Emily, quienes siempre me han apoyado, alentado en las buenas y malas. Gracias por estar a mi lado en cada momento.

Y al amor de mi vida, Alfonsina, por su amor, paciencia y apoyo incondicional. Gracias por ser mi compañera en todos los aspectos de la vida y por estar siempre a mi lado, motivándome y ayudándome a alcanzar mis sueños.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



### **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mis padres, Víctor Chinchuña y Carmen Uvidia, apoyo constante y sacrificio a lo largo de mi vida. Gracias por siempre creer en mí y por ser la base sobre la cual he construido este logro. Su motivación y ejemplo de esfuerzo han sido mi mayor fuente de inspiración.

Agradezco al Ing. Olger Arellano, por su valioso acompañamiento y orientación a lo largo de este proceso. Gracias por su paciencia, dedicación y por compartir sus conocimientos y experiencia, siempre con un enfoque profesional y cercano, lo que ha sido fundamental para el éxito de este trabajo. Y al PhD Gerardo Collaguazo, por su apoyo académico y por brindarme su conocimiento y perspectiva en todo momento. Gracias por su compromiso, sabiduría y por ayudarme a enfocar y desarrollar este trabajo con rigor y dedicación.

A todas las personas que, me han brindado su apoyo y colaboración, les agradezco sinceramente por su ayuda en este camino.



## Tabla de Contenido

RESUMEN .....	13
ABSTRACT .....	14
CAPITULO I.....	15
INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Problema de investigación.....	15
1.1.1. Problemática a investigar. ....	15
1.2. Objetivos.....	16
1.2.1. Objetivo general .....	16
1.2.2. Objetivos específicos .....	16
1.3. Alcance y delimitación .....	16
1.4. Justificación .....	17
CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEÓRICO .....	18
2.1. Antecedentes.....	18
2.2. Energía solar fotovoltaica.....	19
2.3. Radiación solar .....	20
2.4. Sistemas fotovoltaicos .....	20
2.5. Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	21
2.5.1 Sistemas conectados a la red eléctrica (SFCR).....	21
2.5.2. Sistemas aislados.....	23
2.6. Tipos de paneles solares .....	23
2.6.1. Paneles solares monocristalinos.....	24



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



2.6.2.	Paneles solares policristalinos: .....	24
2.6.3.	Paneles solares amorfos .....	25
2.6.4.	Paneles solares de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre .....	25
2.6.5.	Paneles solares de arsénico de galio .....	25
2.6.6.	Paneles solares de diseleniuro de cobre en indio.....	26
2.6.7.	Paneles solares híbridos .....	26
2.7.	Tecnologías actuales en el mercado .....	26
2.8.	Regulador de carga .....	27
2.7.1.	Regulador de carga PWM: .....	27
2.7.2.	Regulador de carga MPPT: .....	28
2.9.	Inversor.....	28
2.9.2.	Tipos de inversores .....	29
2.10.	Baterías .....	29
2.11.	Conductores Fotovoltaicos .....	30
2.11.2.	Cable Fotovoltaico DC.....	31
2.11.3.	Cable Fotovoltaico de AC.....	31
2.12.	Medidores bidireccionales .....	31
2.13.	Toma de tierra de sistemas fotovoltaicos .....	32
2.14.	Estructuras para sistemas fotovoltaicos conectados a la red .....	35
2.15.	Software para diseños de sistemas fotovoltaicos.....	35
Capitulo III .....		37
Materiales y métodos .....		37
Diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red .....		37



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



3.1. Lugar de estudio.....	37
3.2. Métodos de procedimiento.....	38
3.3. Herramientas de investigación.....	39
3.4. Condiciones climáticas de la localidad.....	40
3.5. Consumo eléctrico de la Unidad Educativa 17 de Julio matriz.....	41
3.5.1. Consumo eléctrico.....	41
3.6. Parámetros de dimensionamiento.....	43
3.6.1. Levantamiento de cargas.....	43
Multímetro Digital.....	44
Pinza Amperimétrica.....	44
Herramientas de Mano Básicas.....	45
3.7. Demanda Eléctrica de la Institución.....	45
3.8. Valor promedio mensual de consumo.....	46
3.9. Hora solar pico.....	47
3.10. Potencia del sistema fotovoltaico.....	48
3.11. Número de paneles solares.....	48
3.11.1. Paneles en serie.....	49
3.11.2. Paneles en paralelo.....	49
3.11.3. Distancia entre paneles.....	50
3.12. Factor de planta.....	52
3.13. Potencia del inversor.....	53
3.14. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	53
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>56</b>



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



Componentes Principales del Sistema .....	56
Panel solar .....	56
Inversor .....	57
Número de paneles en serie y paralelo.....	59
Paneles en serie: .....	59
Paneles en paralelo.....	59
Distribución de paneles por string .....	59
Verificación de la configuración.....	60
Diseño Físico del Sistema .....	61
Simulación .....	62
PVsyst .....	62
Costos.....	71
Diagrama Unifilar .....	72
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>74</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>81</b>
Anexo A – Elementos del Sistema Fotovoltaico .....	81
Panel solar .....	81
Inversor .....	83
Anexo B – Resultado Simulación PVsyst.....	85
Anexo C – DiagramaUnifilar .....	91



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Composición de una instalación solar fotovoltaica .....	21
Figura 2 Elementos de una instalación de autoconsumo .....	22
Figura 3 Sistemas aislados de red .....	23
Figura 4 Tipos de células fotovoltaicas [4] .....	24
Figura 5 Orificio específico para su puesta a tierra .....	32
Figura 6 Ubicación de la Unidad Educativa 17 de Julio extraída de Google Maps .....	38
Figura 7 Metodología para el diseño del sistema fotovoltaico .....	39
Figura 8 Separación entre paneles solares .....	51
Figura 9 Ubicación geográfica de la Institución en el Software PVsyst.....	62
Figura 10 Datos meteorológicos Ciudad de Ibarra .....	63
Figura 11 Panel General del Proyecto en PVsyst .....	64
Figura 12 Orientación y configuración de los paneles solares.....	64
Figura 13 Configuración del módulo fotovoltaico y su distribución en el espacio en PVsyst.....	65
Figura 14 Distribución 3D del sistema fotovoltaico y su ubicación en el sitio de instalación.....	66
Figura 15 Definición del Sistema Fotovoltaico .....	67
Figura 16 Resultado de la Simulación .....	68
Figura 17 Resultados del Sistema Fotovoltaico (PVsyst).....	68
Figura 18 Diagrama de distribución de potencia de la salida del sistema .....	69
Figura 19 Diagrama de perdidas .....	70
Figura 20 Diagrama Unifilar del Sistema Fotovoltaico .....	73



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tecnologías Actuales en el Mercado .....	26
Tabla 2 Tipos de baterías .....	29
Tabla 3 Calibre de conductores.....	30
Tabla 4 Tipos de protecciones eléctricas en AC y DC en sistemas fotovoltaicos	33
Tabla 5 Software para diseños de sistemas fotovoltaicos .....	35
Tabla 6 Datos de temperatura ambiente mensual e irradiación solar diaria promedio	40
PVGIS.....	40
Tabla 7 Consumo Eléctrico.....	42
Tabla 8 Parámetros para el levantamiento de cargas .....	43
Tabla 9 Consumo energético y demanda máxima .....	45
Tabla 10 Especificaciones técnicas Panel Solar Panel Ja Solar.....	57
Tabla 11 Especificaciones técnicas Inversor Growatt MAC 30KTL3-XL.....	58
Tabla 12 Resumen de la configuración del Sistema Fotovoltaico .....	61
Tabla 13 Diseño físico de los paneles .....	61
Tabla 14 Costo del Sistema Fotovoltaico .....	71



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



### RESUMEN

El presente trabajo es la propuesta técnica de un sistema fotovoltaico conectado a la red para la Unidad Educativa 17 de Julio, con el objetivo de reducir el consumo energético proveniente de la red eléctrica convencional y promover el uso de energías renovables. El trabajo se centra en la necesidad de optimizar el uso de recursos energéticos sostenibles en instituciones educativas, desarrollando un análisis integral que abarca desde la evaluación de la demanda energética hasta el dimensionamiento y simulación del sistema fotovoltaico. La metodología incluye la recopilación de datos sobre el consumo energético, la irradiación solar local y las condiciones meteorológicas, seguida por la configuración de los paneles solares, inversores y demás componentes del sistema. Los resultados indican que un sistema fotovoltaico con una capacidad de 25.2 kWp, con una producción anual estimada de 37.5 MWh. La simulación muestra una eficiencia del sistema del 86.1%, confirmando la viabilidad del proyecto. El dimensionamiento del sistema, no se incluyó la demanda de las máquinas de los talleres debido a su alto consumo eléctrico durante el arranque, que genera picos de demanda difíciles de reflejar en los cálculos iniciales del sistema fotovoltaico, ya que los sistemas solares están diseñados para generar una energía continua y estable.

**Palabras clave:** Sistema fotovoltaico, Conectado a la red, Consumo energético, Red eléctrica convencional, Energías renovables, Picos de demanda, Irradiación solar.



### ABSTRACT

This study presents the technical proposal for a grid-connected photovoltaic system for the Unidad Educativa 17 de Julio, aimed at reducing electricity consumption from the conventional grid and promoting the use of renewable energy. The work focuses on the need to optimize the use of sustainable energy resources in educational institutions, developing a comprehensive analysis that covers everything from energy demand evaluation to the sizing and simulation of the photovoltaic system. The methodology includes the collection of data on energy consumption, local solar irradiation, and meteorological conditions, followed by the configuration of solar panels, inverters, and other system components. The results indicate that the photovoltaic system, with a capacity of 25.2 kWp, will generate an estimated annual production of 37.5 MWh. The simulation shows a system efficiency of 86.1%, confirming the feasibility of the project. It is important to note that the workshop machines' demand was not included in the system sizing due to their high electrical consumption during startup, which causes demand peaks that are difficult to account for in the initial photovoltaic system calculations, as solar systems are designed to generate continuous and stable energy.

Keywords: Photovoltaic system, Grid-connected, Energy consumption, Conventional grid, Renewable energy, Demand peaks, Solar irradiation.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

**Tema:**

Propuesta técnica para la implementación de un sistema Fotovoltaico conectado a la Red de la Unidad Educativa 17 de Julio Edificio Matriz.

**El problema:**

**1.1. Problema de investigación.**

**1.1.1. Problemática a investigar.**

La crisis y aumento de la demanda eléctrica, ha propiciado el desarrollo de nuevas tecnologías para la generación eléctrica que no dependan de los combustibles fósiles, una de ellas es la generación fotovoltaica.

La Unidad Educativa 17 de Julio ha experimentado un crecimiento constante desde su creación en 1974. Durante este período la capacidad eléctrica instalada era significativamente inferior en comparación con la presente. En la actualidad, el colegio cuenta con una población de 1905 alumnos y 115 profesores. Por lo que la Unidad Educativa 17 de Julio, Edificio Matriz, presenta un significativo consumo de energía eléctrica. Esto se debe a la utilización constante de luminarias en los laboratorios, talleres, aulas y edificio administrativo. Asimismo, los equipos de oficina y los laboratorios computacionales contribuyen notablemente a este elevado consumo eléctrico. Este patrón de consumo se refleja en un costo considerable en la factura eléctrica. El consumo mensual del colegio alcanza aproximadamente los 3250 kW/h.

**Formulación de la pregunta de investigación**

¿Qué parámetros y especificaciones técnicas son utilizados para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red y así abastecer al sistema eléctrico de la Unidad Educativa 17 de Julio edificio Matriz?



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Desarrollar una propuesta técnica de un sistema fotovoltaico conectado a la red, mediante un análisis técnico para la alimentación eléctrica de la Unidad Educativa 17 de Julio Edificio Matriz.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Describir las tecnologías, componentes y software para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.
- Dimensionar el sistema fotovoltaico de acuerdo a la necesidad eléctrica.
- Realizar una propuesta técnica para la implementación del sistema fotovoltaico.

## **1.3. Alcance y delimitación**

El proyecto tiene como finalidad presentar una propuesta técnica para la implementación de un sistema fotovoltaico que abastezca aproximadamente el 50% del consumo eléctrico de la Unidad Educativa 17 de Julio edificio Matriz, considerando los recursos solares y disponibilidad técnica para la selección de tecnologías y componentes adecuados, como paneles solares, inversores e infraestructura. Al igual un software para el diseño del sistema fotovoltaico donde se observará la ubicación del sistema.

La información sobre el recurso solar será recopilada a partir de diversos estudios técnicos relacionados con la implementación de sistemas fotovoltaicos en la localidad. Tales como [1], [2] estos estudios han sido llevados a cabo por el aprovechamiento del recurso solar con fines de investigación.

Posteriormente, en el dimensionamiento se observará las características técnicas del proyecto, como orientación e inclinación de los paneles considerando las condiciones climáticas locales, además la estructura donde serán ubicados. El sistema será conectado a la red de la Unidad Educativa de forma fija en los techos de las aulas y estructura de la nueva cancha deportiva.

El sistema hará uso de medidores bidireccionales en la implementación de sistemas fotovoltaicos, para la alimentación de Unidad Educativa 17 de Julio



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



#### **1.4. Justificación**

La propuesta técnica para la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red en la Unidad Educativa 17 de Julio edificio Matriz se justifica por su compromiso ambiental y sostenibilidad. Debido a que los sistemas fotovoltaicos se basan en varios aspectos importantes como: económicos, ambientales, energéticos y sociales.

Según la regulación ARCERNR 001-2021, en vigor desde abril de 2021, se autoriza instalar paneles solares en residencias e instituciones públicas o privadas con el propósito de generar energía eléctrica para autoconsumo. La legalización de este sistema fotovoltaico se lleva a cabo a través de la distribuidora energética regional, la cual, antes de la aprobación, realiza una revisión de parámetros técnicos.

La viabilidad del proyecto se fundamenta en el fácil acceso a información detallada sobre sistemas fotovoltaicos. De igual manera la Unidad Educativa 17 de Julio ha facilitado el uso de sus instalaciones para llevar a cabo un estudio técnico que permitirá determinar el dimensionamiento y la ubicación óptima del sistema fotovoltaico. Además, hay una variedad de software disponible, tanto gratuito como de pago, que ofrece herramientas para el desarrollo del proyecto.

El beneficiario principal de este proyecto es la institución. A través de la propuesta técnica, la institución podrá llevar a cabo un análisis económico detallado, lo cual le permitirá evaluar la viabilidad para la implementación de un sistema fotovoltaico. Esta iniciativa tiene como objetivo la reducción de los costos asociados en la factura eléctrica de la institución.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

La generación de energía en los sistemas fotovoltaicos se basa en el fenómeno físico conocido como el efecto fotovoltaico, el cual convierte la energía solar en electricidad mediante dispositivos semiconductores llamados células fotovoltaicas. Estas células están fabricadas principalmente con silicio puro, uno de los elementos más abundantes en la Tierra, que se encuentra en la arena, al cual se le añaden impurezas de elementos como el boro y el fósforo. Gracias a esta composición, las células fotovoltaicas son capaces de generar entre 2 y 4 amperios de corriente a un voltaje de 0.46 a 0.48 V, utilizando la radiación solar como fuente de energía[3].

Ecuador cuenta con una alta radiación solar y un gran potencial fotovoltaico. Según el Ministerio de Energía, la ubicación geográfica del país lo convierte en un lugar privilegiado para la implementación de sistemas fotovoltaicos, ya que la intensa radiación solar favorece la generación de energía eléctrica. La radiación solar en Ecuador es notablemente alta, con un valor medio de aproximadamente 4200 kWh/m<sup>2</sup>/año, lo que es considerablemente superior al de países como España (1400 kWh/m<sup>2</sup>/año) en su parte peninsular. No obstante, la radiación presenta variaciones significativas dentro del país, con diferencias de más del 30% entre ciertas zonas del Ecuador continental, y de hasta 40% al comparar la radiación de las Islas Galápagos. Esta diversidad, producto de las distintas condiciones atmosféricas y topográficas, así como el rango de latitudes que va desde las Islas Galápagos hasta la Amazonía, condiciona los cálculos de dimensionamiento de las instalaciones fotovoltaicas necesarias para cubrir una demanda energética específica[4].

La provincia de Imbabura presenta un gran potencial de radiación solar, alcanzando los 5100 kWh/m<sup>2</sup>/día, lo que la convierte en una zona con altas posibilidades para el aprovechamiento de la energía solar. En los últimos 20-25 años, los avances tecnológicos en el sector fotovoltaico han permitido una reducción del 95% en el costo de los módulos



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



fotovoltaicos comerciales, mientras que la eficiencia de estos módulos ha aumentado cerca del 200%. Un dato relevante que muestra la penetración de esta tecnología a nivel mundial es que actualmente se han instalado más de 12,000 MW de potencia pico en sistemas fotovoltaicos, lo que refleja el crecimiento global y el potencial de expansión de esta fuente de energía renovable[5].

Según la regulación ARCERNNR 001-2021, que entró en vigor en abril de 2021, cualquier persona puede instalar paneles solares en su vivienda o empresa para generar energía eléctrica para autoconsumo. La legalización del sistema fotovoltaico debe ser gestionada a través de la distribuidora eléctrica de la región, quien llevará a cabo una revisión de los parámetros técnicos antes de aprobar la instalación. Esta normativa también contempla el sistema de Balance Neto, el cual hace que los proyectos fotovoltaicos sean aún más viables económicamente. Bajo este sistema, la empresa eléctrica reemplaza el medidor convencional por un medidor bidireccional, que tiene dos funciones principales: primero, mantener la interconexión a la red pública, asegurando que la operación continúe, incluso si hay una falla en el sistema fotovoltaico, y segundo, inyectar el excedente de energía no consumido durante el día a la red pública. El medidor bidireccional registra este excedente como un crédito que se utiliza para compensar la energía consumida de la red durante las horas en que el sistema fotovoltaico no está generando energía, generalmente durante la noche.

## **2.2. Energía solar fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica representa una modalidad de generación eléctrica sustentable, aprovechando la radiación solar mediante el empleo de células fotovoltaicas, generalmente constituidas por silicio. Estas células transforman la radiación solar en corriente eléctrica, la cual puede ser directamente consumida o almacenada eficientemente en baterías[3], [4].

La captación de energía solar fotovoltaica se lleva a cabo mediante el uso de un semiconductor que convierte parte de la energía recibida en corriente continua. Este semiconductor, conocido como célula solar, consiste en un material al que artificialmente



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



se le han creado dos regiones: una con carga positiva (P), representada por huecos, y otra con carga negativa (N), caracterizada por un exceso de electrones. La unión de estos dos materiales (P, N), cuando se exponen a la radiación solar, genera un flujo de electrones y, al conectar una carga, se establece una corriente continua[4].

### **2.3. Radiación solar**

La cantidad de radiación solar constituye un factor esencial en la planificación de instalaciones de energía fotovoltaica. Esta radiación experimenta variaciones según la ubicación geográfica, influenciada por las condiciones climáticas. Por ende, resulta crucial disponer de un sistema de monitoreo que permita evaluar la radiación solar en un lugar específico, facilitando así el diseño eficiente de sistemas fotovoltaicos[5].

### **2.4. Sistemas fotovoltaicos**

Sistemas de energía solar fotovoltaica son utilizados para la generación directa de electricidad. El término "fotovoltaica" se deriva de "photos", que significa luz, y "voltaica", en referencia a la electricidad (relacionada con Alessandro Volta, conocido, entre otras cosas, por inventar la pila)[6].

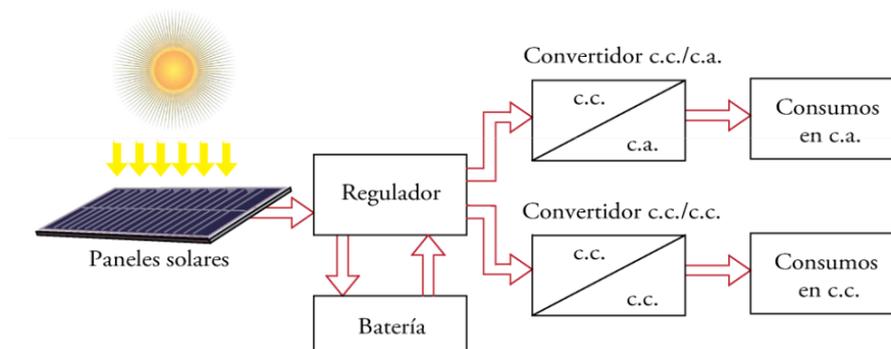
Una instalación fotovoltaica está compuesta por:

- Placa o captador solar fotovoltaico.
- Regulador.
- Acumulador o batería.
- Convertidor o inversor.
- Elementos para el conexionado y puesta de funcionamiento.

Estos sistemas transforman la energía solar en electricidad, es decir, generan electricidad a partir de la luz mediante el uso de dispositivos conocidos como células solares.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



*Figura 1 Composición de una instalación solar fotovoltaica*

En una categorización inicial, las instalaciones fotovoltaicas se dividen en dos grupos principales: instalaciones autónomas, que operan de forma aislada de la red eléctrica y utilizan la energía generada para satisfacer consumos eléctricos locales, e instalaciones conectadas a la red eléctrica[6]. La energía fotovoltaica ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años debido a la construcción de grandes centrales conectadas a la red.

## 2.5. Tipos de sistemas fotovoltaicos

Las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica son variadas, las cuales se dividen, en dos grandes grupos:

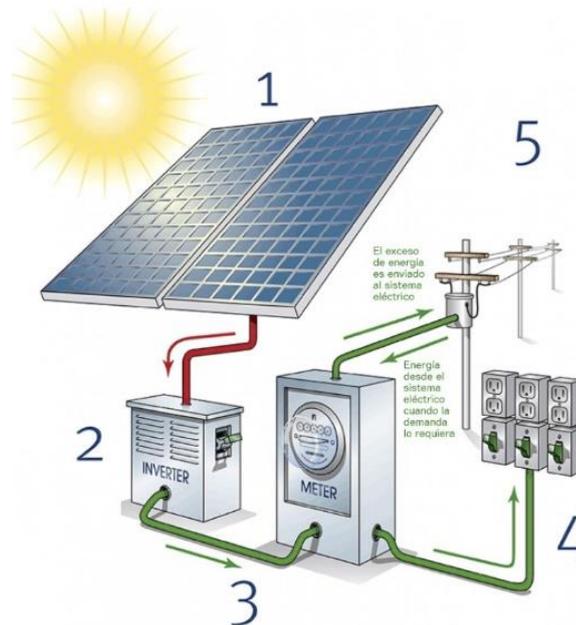
- Instalaciones aisladas de la red (sistemas autónomos).
- Instalaciones conectadas a la red.

### *2.5.1 Sistemas conectados a la red eléctrica (SFCR)*

Los SFCR (Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red) son sistemas diseñados para funcionar en conexión con la red eléctrica existente, con el objetivo de abastecer la demanda energética de la fase[6]. En caso de que la producción de energía supere los requerimientos de consumo, el excedente se vierte a la red eléctrica. La finalidad principal de estos sistemas es aumentar la producción anual de energía para lograr una reducción en el consumo eléctrico.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



*Figura 2 Elementos de una instalación de autoconsumo*

- 1) Los paneles fotovoltaicos: captan la radiación solar y mediante el efecto fotoeléctrico generan una corriente eléctrica en corriente continua.
- 2) El inversor: Es el encargado de convertir la energía en forma de corriente continua proveniente de los paneles en corriente alterna y sincronizarla con la red.
- 3) El contador: cuando consumimos energía del sistema eléctrico la compañía comercializadora que nos proporciona el servicio nos instala un contador para poder facturarnos según nuestro consumo.
- 4) Sistema eléctrico interno: la idea de generar la energía eléctrica es para consumirla en nuestros receptores. Por ello toda esa energía que generamos tenemos que llevarla mediante una conexión a nuestra instalación interna para poder consumirla.
- 5) Inyección a la red: existen dispositivos que nos permiten medir cuanta energía estamos generando nosotros con nuestra instalación fotovoltaica y cuanto estamos consumiendo de la red.



### 2.5.2. Sistemas aislados

Los sistemas fotovoltaicos aislados de la red, también llamados sistemas autónomos, tienen la capacidad de autoabastecerse utilizando la energía solar para generar electricidad. Estos sistemas están conformados por un conjunto de componentes interconectados que suministran energía a cargas específicas mediante la conversión de energía fotovoltaica, sin requerir conexión a la red eléctrica convencional[4]. Sus elementos principales incluyen un generador fotovoltaico, un acumulador, un regulador de carga y un inversor. Estos sistemas son especialmente adecuados para generar energía eléctrica en lugares remotos o en áreas de difícil acceso que carecen de conexiones eléctricas convencionales.



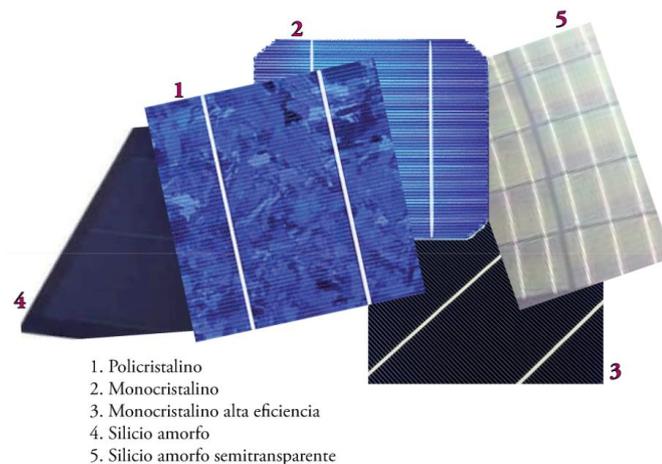
Figura 3 Sistemas aislados de red

## 2.6. Tipos de paneles solares

Su propósito consiste en absorber la energía solar radiante y convertirla en energía eléctrica. Un panel solar se conforma por una variable número de células solares, generalmente entre 31 y 36, que están conectadas eléctricamente en serie; el voltaje de salida depende directamente del número de estas células, siendo el fabricante quien determina el mínimo necesario para asegurar la carga eficiente del banco de baterías[4].



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



*Figura 4 Tipos de células fotovoltaicas [4]*

La dimensión de la superficie del panel varía entre 0,5 y 1,3 metros cuadrados, y las células se encuentran ensambladas entre dos capas, una superior de cristal de silicio y otra inferior de material plástico. Estos dos componentes se fusionan en un horno de alta temperatura para formar un bloque laminado único, al cual se añaden marcos típicamente fabricados de aluminio[4]

Los tipos de paneles solares que actualmente están en el mercado son: paneles solares monocristalinos, policristalinos, amorfos, de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre, de arsénico de galio y bifaciales.

### ***2.6.1. Paneles solares monocristalinos***

Los paneles solares de silicio monocristalino ofrecen el rendimiento más alto, alcanzando alrededor del 20% en la fabricación en serie y hasta 24% en modelos de laboratorio. Están fabricados a partir de silicio puro fundido y dopado con boro. Su principal inconveniente es su precio relativamente alto, pero debido a su alta rentabilidad energética, son las placas solares más utilizadas en la industria[4], [7].

### ***2.6.2. Paneles solares policristalinos:***

proporcionan un rendimiento entre 12 y 14%, tienen un espesor reducido de varias micras. Se diferencian de los paneles monocristalinos en que son de forma cuadrada, esto hace que se aproveche mejor el espacio entre las células que



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



componen el panel solar, también se tendrá en cuenta que el coste por panel es menor, ya que se aplica menos silicio en su fabricación y su proceso es menos complicado[4], [8].

### ***2.6.3. Paneles solares amorfos***

Los paneles solares de silicio policristalino ofrecen un rendimiento inferior al 10%, pero destacan por su maleabilidad. Actualmente, se utilizan en tejados (tejas solares) y en grandes superficies de edificios de oficinas, donde su adaptabilidad permite aplicaciones en tamaños considerables. Gracias a su extrema delgadez y bajo costo, estos paneles son económicamente rentables, lo que les otorga un futuro prometedor en el mercado de la energía solar[4], [9].

### ***2.6.4. Paneles solares de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre***

Las células solares de película delgada tienen la ventaja de que su proceso de fabricación es relativamente sencillo, ya que requieren poco material activo. Aunque los rendimientos máximos alcanzados en laboratorio no superan el 10%, esta cifra se reduce considerablemente cuando se llevan a cabo en procesos industriales, quedando cerca de la mitad. Un desafío adicional es que estas células tienden a degradarse con el tiempo, lo que afecta su eficiencia a largo plazo. Sin embargo, siguen siendo objeto de estudio, ya que su bajo costo de fabricación podría hacerlas muy competitivas en términos de precio, especialmente en aplicaciones de gran escala[4].

### ***2.6.5. Paneles solares de arsénico de galio***

Son los más indicados para la fabricación de paneles, ya que su rendimiento teórico alcanza límites cercanos al 27–28% en su versión monocristalina[4]. Pero presentan el inconveniente de la escasez de material, lo que encarece mucho la materia prima. Como característica satisfactoria tienen un coeficiente elevado de absorción, lo que hace que con poco material se obtenga una eficacia elevada[4], [10].



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**



**2.6.6. Paneles solares de diseleniuro de cobre en indio**

Tienen unos rendimientos en laboratorio próximos al 17% y en módulos comerciales del 9%. Estas células solares flexibles CIGS son más ligeras, pesan un 65% menos que los paneles solares convencionales[4], [11].

**2.6.7. Paneles solares híbridos**

Combinación entre panel solar fotovoltaico y panel solar térmico. Se trata de refrigerar las células fotovoltaicas por medio de agua, el beneficio de esta tecnología consiste en la capacidad de disipar parte del calor que se genera en un panel fotovoltaico, mejorando así su rendimiento, a su vez, por medio de un acumulador, podemos utilizar como agua caliente sanitaria[4], [12].

**2.7. Tecnologías actuales en el mercado**

La tecnología fotovoltaica se refiere a la conversión de la luz solar en electricidad utilizando células fotovoltaicas. Estas células son dispositivos semiconductores que generan corriente eléctrica cuando son expuestas a la luz solar. Existen varios tipos de paneles solares en el mercado en la Tabla 1, se detallan distintos tipos de paneles solares con las diferentes características.

*Tabla 1 Tecnologías Actuales en el Mercado*

<b>Fabricante</b>	<b>País</b>	<b>Año de fundación</b>	<b>Eficiencia</b>	<b>Garantía</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Otros productos</b>
<b>Jinko Solar</b>	China	2006	Hasta 22,8%	10 años	Monocristalino	Inversores, seguidores solares
<b>LONGi Solar</b>	China	2001	Hasta 23,3%	10 años	Monocristalino	Inversores, seguidores solares
<b>Trina Solar</b>	China	1997	Hasta 22,9%	12 años	Monocristalino	Inversores, seguidores solares
<b>JA Solar</b>	China	2005	Hasta 22,5%	12 años	Monocristalino	Inversores, seguidores solares



<b>Canadian Solar</b>	Canadá	2001	Hasta 22,6%	12 años	Monocristalino	Inversores, seguidores solares
<b>SunPower</b>	Estados Unidos	1985	Hasta 22,5%	25 años	Monocristalino	Inversores, seguidores solares
<b>Q-Cells</b>	Alemania	1999	Hasta 22,4%	10 años	Monocristalino, Bifacial	Inversores
<b>Risen Energy</b>	China	2005	Hasta 22,3%	10 años	Monocristalino, Bifacial	Inversores
<b>Sharp</b>	Japón	1912	Hasta 22,2%	10 años	Monocristalino, Bifacial	Inversores

## 2.8. Regulador de carga

El regulador de carga es un dispositivo electrónico diseñado para supervisar y controlar el estado de carga de las baterías, asegurando un proceso de carga óptimo que prolonga la vida útil[13]. El regulador de carga solar se sitúa entre el campo fotovoltaico y las baterías, siendo responsable de gestionar el flujo de energía entre estos dos elementos. Este control del flujo de energía se logra mediante la regulación de los parámetros de intensidad (I) y voltaje (V) a lo largo de cada etapa de carga, durante un período de tiempo determinado[13].

### 2.7.1. Regulador de carga PWM:

El regulador de carga PWM (Modulación por Ancho de Pulso) opera mediante la modulación por pulsos y solo permite el flujo de energía entre los paneles solares y las baterías cuando estas últimas se encuentran completamente cargadas. Para un funcionamiento óptimo, requiere que tanto los paneles solares como las baterías tengan el mismo voltaje nominal[13]. Aunque este tipo de reguladores puede limitar la eficiencia al hacer que los paneles solares trabajen a la tensión de la batería, no aprovechando toda la producción solar, su ventaja radica en su precio y su facilidad de transporte debido a su peso ligero[13].



### **2.7.2. Regulador de carga MPPT:**

El regulador de carga MPPT (Seguimiento del Punto de Máxima Potencia) también conocido como maximizador, maximiza la producción del panel solar para cargar la batería. A diferencia del regulador PWM, el MPPT ajusta internamente el voltaje para aprovechar la máxima producción del panel solar y trabajar en su punto óptimo[13]. Este tipo de regulador es más eficiente en la conversión de voltaje, ganando intensidad mientras conserva la potencia total de producción. Aunque los reguladores MPPT pueden funcionar con paneles y baterías de la misma tensión nominal, alcanzan su máxima eficiencia al aumentar la tensión del campo fotovoltaico[13].

## **2.9. Inversor**

La utilización de la energía continua disponible en la batería puede realizarse directamente, pero en la mayoría de los casos necesita adaptarse a las características eléctricas de la carga, que es donde se consume la energía[14]. Estas transformaciones suelen ser dos:

- Conversión continua-continua: Se pasa de una tensión continua a otra tensión, también continua, más elevada a través circuitos electrónicos denominados “convertidores continua-continua”.
- Conversión continua-alterna: Se pasa de una tensión continua a una tensión alterna más elevada y de frecuencia 50-60 Hz, mediante circuitos electrónicos denominados “inversores”.

La elevación de la tensión de trabajo permite reducir las pérdidas de energía por efecto joule, desde la instalación hasta el consumo, mejorando el rendimiento del sistema. La utilización de la tensión alterna a monofásico o trifásico, permite utilizar elementos eléctricos comerciales[14], [15]. Los inversores trocean la corriente de entrada que suministran las baterías mediante bobinas acopladas magnéticamente, que la transforman en una corriente de salida alterna.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



**2.9.2. Tipos de inversores**

Los inversores fotovoltaicos se pueden dividir en tres grandes grupos principales, que son: inversores de conexión a red, los inversores híbridos y los inversores de conexión aislada.

**Inversor de conexión a red:** Convierte la energía CC de los módulos fotovoltaicos en CA para que esta pueda ser utilizada tanto para alimentar los consumos de las viviendas como para verter la energía excedente a la red. Puesto que tienen la capacidad de verter a la red, estos dispositivos deben estar conectados a ella para funcionar[14].

**Inversores híbridos:** Son aquellos que permiten el uso de la red eléctrica convencional y el uso de baterías, cuya corriente pasa de estar en corriente continua a corriente alterna gracias a los inversores híbridos. Dotan de gran versatilidad a la instalación de una vivienda[14].

**Inversor de conexión aislada:** Su finalidad es transformar la corriente continua (DC) de las baterías en corriente alterna (AC) a 220V para alimentar los electrodomésticos. Para proteger la batería están programados para detener el suministro cuando la tensión de la batería es muy baja y evitar las sobredescargas[14]

**2.10. Baterías**

La batería solar es un aparato diseñado para acumular la energía generada por los paneles solares durante las horas de radiación solar. Además, las baterías retienen el excedente de energía para su utilización durante la noche, en días nublados o cuando la demanda de energía supera la producción de los paneles solares.

*Tabla 2 Tipos de baterías*

Tipo de Batería	Descripción	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones	Costo	Vida útil
<b>Plomo-ácido (VRLA)</b>	Baterías de bajo costo y alta disponibilidad.	Bajo costo, alta disponibilidad, buen rendimiento en climas fríos.	Menor vida útil, menor eficiencia, mantenimiento periódico,	Almacenamiento de energía a gran escala, sistemas de bajo presupuesto.	Bajo	4-5 años



			impacto ambiental.			
<b>Litio-Ion (LiFePO4)</b>	Baterías de alta eficiencia y larga vida útil.	Alta eficiencia, larga vida útil, seguridad, bajo mantenimiento, impacto ambiental reducido.	Mayor costo, menor disponibilidad.	Almacenamiento de energía de alta calidad, sistemas de alto rendimiento.	Alto	10-15 años
<b>Flujo (Zinc-Bromo)</b>	Baterías de larga vida útil y alta seguridad.	Larga vida útil, alta seguridad, bajo mantenimiento, operación a temperaturas bajas.	Mayor costo, menor disponibilidad, menor eficiencia.	Almacenamiento de energía a gran escala, sistemas de alta seguridad.	Alto	20+ años
<b>Sodio-Azufre (NaS)</b>	Baterías de alta eficiencia y larga vida útil.	Alta eficiencia, larga vida útil, bajo costo por kWh almacenado.	Alta temperatura de operación, menor disponibilidad, riesgos de seguridad.	Almacenamiento de energía a gran escala, sistemas de alta eficiencia.	Medio	10-15 años

### 2.11. Conductores Fotovoltaicos

El conductor fotovoltaico, también denominado cable PV, constituye una categoría específica de cable diseñado para su implementación en sistemas de generación de energía fotovoltaica. Estos cables abarcan tanto conexiones paralelas entre paneles solares como conexiones entre la caja de distribución de corriente continua (DC) y el inversor. Además, se utilizan cables de corriente alterna (AC) para establecer la conexión entre el inversor y la red de transmisión eléctrica[16].

*Tabla 3 Calibre de conductores*

Calibre (AWG)	Capacidad de Corriente (A)	Resistencia ( $\Omega$ /km, cobre)
<b>10</b>	30	3.28
<b>8</b>	50	2.08



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



<b>6</b>	65	1.31
<b>4</b>	85	0.82
<b>2</b>	115	0.52
<b>1/0</b>	150	0.33

### **2.11.2. Cable Fotovoltaico DC**

Los cables solares de DC (corriente directo) se utilizan principalmente para la conexión en serie entre módulos fotovoltaicos, la conexión en paralelo entre cadenas fotovoltaicas y la conexión entre la caja de distribución de DC y el inversor[16].

### **2.11.3. Cable Fotovoltaico de AC**

Los cables fotovoltaicos de AC (corriente alterna) se utilizan principalmente para la conexión del inversor al transformador elevador, la conexión del transformador elevador a la unidad de distribución y la conexión de la unidad de distribución a la red[16].

Este tipo de cables solares son cables de carga de AC, que se colocan con mayor frecuencia en entornos interiores. Entonces, pueden seleccionarse de acuerdo con los requisitos generales de selección de cables eléctricos[16].

## **2.12. Medidores bidireccionales**

De acuerdo con la regulación ARCERNNR 001-2021 que entró en vigencia en abril de 2021, cualquier persona puede instalar paneles solares en su casa o empresa para generar energía eléctrica para autoconsumo[17]. La legalización del sistema fotovoltaico se debe realizar a través de la distribuidora energética de la región (empresa eléctrica), quien revisará parámetros técnicos previo a la aprobación[17].

Esta normativa contempla el sistema de Balance Neto que vuelve aún más viables los proyectos fotovoltaicos. La empresa eléctrica reemplaza el medidor convencional por un medidor bidireccional que cumple dos funciones principales:

- Mantener la interconexión a la red pública, lo que asegura la operación de la empresa, incluso si hubiera un fallo en el sistema fotovoltaico.



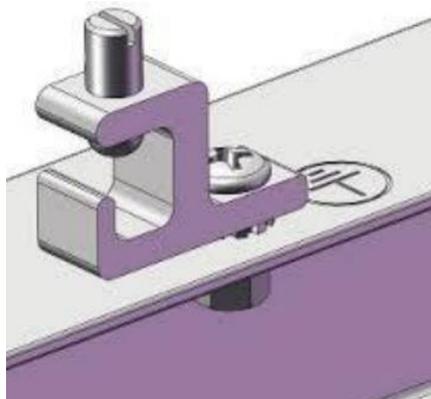
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



- Inyectar a la red pública el excedente de energía que no alcanza a consumir durante el día. El medidor bidireccional lo contabiliza como un crédito que es cruzado con la energía que se utiliza de la red en horarios en los que el sistema fotovoltaico no está trabajando, normalmente en horarios de la noche.

### **2.13. Toma de tierra de sistemas fotovoltaicos**

Los módulos de la instalación pueden cargarse electrostáticamente producto del propio funcionamiento, lo cual podría representar un riesgo al entrar en contacto con el usuario o al generar chispas durante su descarga, lo que aumenta el peligro de incendios. La estrategia de puesta a tierra para equipos como los módulos fotovoltaicos se centra principalmente en conectar a tierra el marco metálico[18]. Comúnmente, se lleva a cabo esta conexión mediante bornes que facilitan la unión eléctrica entre el conductor de tierra y el marco metálico. Los módulos fotovoltaicos disponen de un orificio específico para su puesta a tierra en su marco metálico (señalado con el símbolo de tierra)[18].



*Figura 5 Orificio específico para su puesta a tierra*

El módulo fotovoltaico, con las certificaciones correspondientes, cuenta con un marco de aluminio anodizado el cual es un material aislante relativamente bueno (no conduce la corriente eléctrica).

### **Puesta a tierra del sistema**

Cuando se decida poner a tierra un conductor activo de corriente continua (para utilizar dispositivos de corte y protección unipolares, para el buen funcionamiento del



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**



inversor, para la detección de defectos, etc.)[18], también hay ciertos aspectos importantes que el instalador debe tener en cuenta:

El sistema debe ponerse a tierra en un único punto, llamado tierra del sistema. De no ser así, existe la posibilidad de que circule corriente por los conductores de protección, lo que provocaría que el funcionamiento de los reguladores de carga y de los inversores se volviese poco fiable[18]. Además, estas corrientes podrían interferir en el funcionamiento de los dispositivos detectores de defectos y de protección contra sobrecorrientes. Sería lo recomendable sino en el que está destinado para tal fin[18].

Existen dos tipos principales de sistemas a tierra en sistemas fotovoltaicos:

- Sistema a tierra TN-S: En este sistema, el conductor de tierra de protección (PE) y el conductor de tierra neutro (N) están separados.
- Sistema a tierra TN-C: En este sistema, el conductor de tierra de protección (PE) y el conductor de tierra neutro (N) están combinados en un solo conductor (PEN).

Protecciones

La protección eléctrica es fundamental en los sistemas fotovoltaicos para garantizar la seguridad de las personas y los equipos, así como la eficiencia y el buen funcionamiento del sistema. Se necesitan diferentes medidas de protección para los componentes de corriente continua (DC) y corriente alterna (AC).

*Tabla 4 Tipos de protecciones eléctricas en AC y DC en sistemas fotovoltaicos*

<b>Tipo de Protección</b>	<b>Descripción</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Protección contra</b>	<b>Estándares</b>
DC	Fusibles	Protegen contra cortocircuitos y sobrecorrientes en el circuito DC.	Cortocircuitos y sobrecorrientes	IEC 60269



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**



	Interruptores magnetotérmicos	Protegen contra sobrecorrientes y cortocircuitos en el circuito DC.	Cortocircuitos y sobrecorrientes	IEC 60947
	Descargadores de sobretensión	Protegen contra sobretensiones transitorias causadas por rayos o descargas electrostáticas.	Sobretensiones	IEC 61643-11
	Seccionadores	Permiten aislar eléctricamente el circuito DC para realizar trabajos de mantenimiento o reparación.	Desconexión segura del circuito	IEC 60947
	Monitores de aislamiento	Detectan fugas a tierra en el circuito DC.	Fugas a tierra	IEC 61557-12
<b>AC</b>	Interruptores magnetotérmicos	Protegen contra sobrecorrientes y cortocircuitos en el circuito AC.	Cortocircuitos y sobrecorrientes	IEC 60947
	Diferenciales	Protegen contra fugas a tierra.	Fugas a tierra	IEC 61009-1
	Pararrayos	Protegen contra descargas atmosféricas.	Descargas atmosféricas	NFPA 780
	Filtros de armónicos	Reducen la distorsión armónica de la corriente eléctrica.	Distorsión armónica	IEEE 519
	Inversores con protecciones integradas	Algunos inversores fotovoltaicos ya incluyen protecciones contra sobrecorrientes, sobretensiones y fugas a tierra.	Diversos riesgos eléctricos	Según el fabricante del inversor



**2.14. Estructuras para sistemas fotovoltaicos conectados a la red**

La orientación e inclinación de los paneles solares en un sistema fotovoltaico son cruciales para aprovechar al máximo la radiación solar. La ubicación geográfica influye en la inclinación óptima debido a las variaciones en la incidencia solar en diferentes latitudes y estaciones del año. Las condiciones climáticas, como la velocidad del viento, días nublados, presencia de nieve y humedad, determinan las características de la estructura, incluyendo fijaciones y materiales resistentes.

La elección de la estructura también depende del terreno, dividiéndose principalmente en estructuras para cubiertas inclinadas y superficies planas. Las estructuras para cubiertas inclinadas son económicas, ajustables y adecuadas para instalaciones en viviendas o grandes superficies industriales. Por otro lado, las estructuras para superficies planas permiten la instalación ajustable de paneles en cubiertas o suelos, adaptándose a diferentes ángulos según la utilidad prevista, como maximizar la captación solar en meses con menor altura del sol[19].

**2.15. Software para diseños de sistemas fotovoltaicos**

Existen varias herramientas y software disponibles para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos que pueden ayudar en el diseño, análisis y simulación de instalaciones solares.

*Tabla 5 Software para diseños de sistemas fotovoltaicos*

Herramienta	Tipo	Descripción
PVsyst	Completo	Software completo y potente para el diseño, simulación y análisis de sistemas fotovoltaicos. Incluye un amplio conjunto de funciones, como la generación de modelos de radiación solar, la simulación de la producción de energía, el cálculo de los costes de inversión y operación, y el análisis de la rentabilidad.
PVDesignTool	Basico	Herramienta online gratuita para el diseño y simulación de sistemas fotovoltaicos. Es una buena opción para realizar estudios preliminares o para usuarios con conocimientos básicos de fotovoltaica.



SolarEdge	Completo	Software de diseño y simulación de sistemas fotovoltaicos desarrollado por el fabricante de inversores SolarEdge. Incluye funciones específicas para los inversores SolarEdge, como la optimización de la producción de energía en sistemas con seguimiento solar.
SMA Sunny Design Tool	Completo	Software de diseño y simulación de sistemas fotovoltaicos desarrollado por el fabricante de inversores SMA. Incluye funciones específicas para los inversores SMA, como la optimización de la producción de energía en sistemas con seguimiento solar.
Autodesk Ecotect Analysis	Intermedio	Software de análisis energético para edificios. Incluye funciones para el cálculo de la producción de energía fotovoltaica en edificios.
EnerSol	Completo	Software de diseño y simulación de sistemas fotovoltaicos desarrollado por la Universidad de Cantabria. Es una buena opción para usuarios con conocimientos avanzados de fotovoltaica.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



### **Capítulo III**

#### **Materiales y métodos**

Después de describir cada uno de los componentes y tecnologías de un sistema fotovoltaico, se tomó un detallado estudio del entorno, considerando los datos meteorológicos de la localidad y la extensión posible del sistema a diseñar. Además, se presenta la metodología del trabajo, perfilando los métodos de investigación aplicados en el proceso. Por último, se ofrece una descripción de los materiales y equipos utilizados en el estudio. A continuación, se detalla el diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red.

#### **Diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red**

Este capítulo detalla la metodología empleada en el desarrollo de la presente investigación, así como también describe el diseño y dimensionamiento del sistema fotovoltaico para autoconsumo conectado a la red. Se abarca tanto la disposición de los módulos fotovoltaicos como la selección del inversor, medidas de protección eléctrica correspondientes y tipos de configuración de paneles solares, al igual que el grado de inclinación.

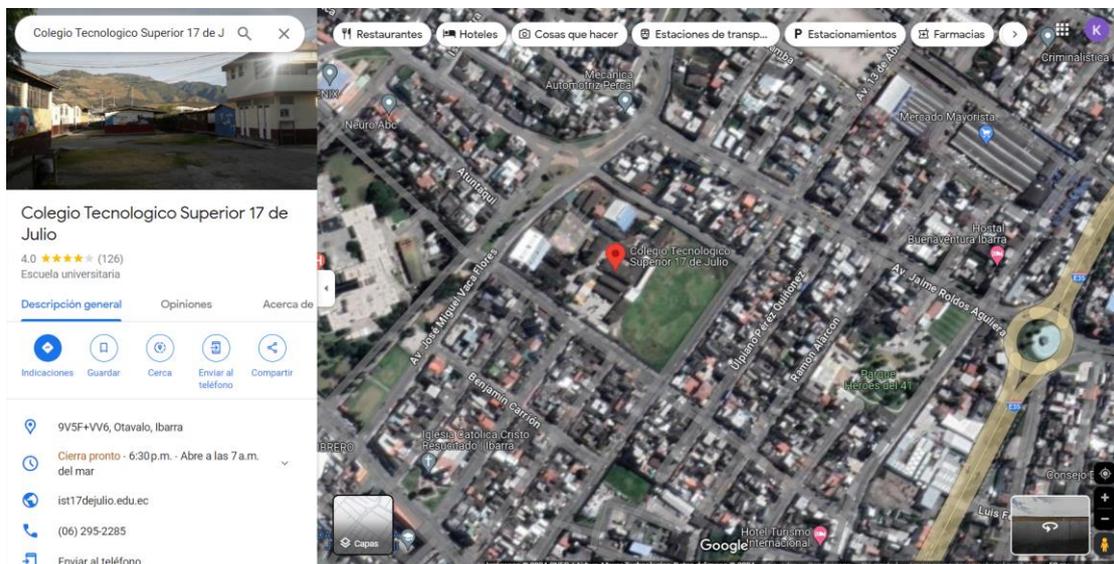
#### **3.1. Lugar de estudio**

La UNIDAD EDUCATIVA 17 DE JULIO se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura, en el cantón Ibarra de la parroquia Sagrario. Es un centro educativo de Ecuador perteneciente a la Zona 1 geográficamente es un centro educativo urbano, su modalidad es Presencial en jornada Matutina y Vespertina, con tipo de educación regular y con nivel educativo: Educación Básica y Bachillerato con las coordenadas geográficas (0.3596550448817106, -78.12535915019325)

El sistema fotovoltaico se instalará en la parte superior de las aulas, que cuentan con una superficie de 400 metros cuadrados. La disposición de la superficie de las aulas queda completamente a criterio del diseñador.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**



*Figura 6 Ubicación de la Unidad Educativa 17 de Julio extraída de Google Maps*

### 3.2. Métodos de procedimiento

Para el desarrollo de este trabajo de investigación, se ha empleado una metodología cuantitativa con el propósito de comprender en detalle cada uno de los elementos que conforman un sistema fotovoltaico conectado a la red. Además, las ecuaciones utilizadas para realizar los cálculos de diseño se han extraído de diversos trabajos de investigación y herramientas interactivas especializadas. La metodología para el desarrollo del diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red sigue el proceso detallado en la Figura 7. Esta metodología se ha seleccionado por su capacidad para recolectar datos además ofrece resultados precisos y objetivos, fundamentales para el éxito del proyecto.



*Figura 7 Metodología para el diseño del sistema fotovoltaico*

### 3.3. Herramientas de investigación

En el desarrollo de este trabajo, se emplearon diversas herramientas de investigación con el fin de recopilar información crucial y llevar a cabo análisis detallados. Estas herramientas se enumeran a continuación:

- Herramientas eléctricas
- Atlas solar y aplicación de la NASA
- Software de Simulación Fotovoltaica
- Herramientas de Diseño Asistido por Computadora (CAD)

Las herramientas mencionadas son esenciales para el diseño y dimensionamiento del sistema fotovoltaico, con el fin de evaluar las instalaciones eléctricas, realizar mediciones precisas.



### 3.4. Condiciones climáticas de la localidad

Para el desarrollo de este trabajo de titulación, es esencial determinar las condiciones climáticas y ambientales en el área donde se encuentra ubicada la institución. Esto se debe a que los sistemas fotovoltaicos dependen de la radiación solar y de todas las condiciones asociadas a ella. Además, la temperatura juega un papel crucial en el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos.

Los valores de temperatura ambiente y radiación solar fueron recopilados y comparados utilizando diversas herramientas iterativas, como PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) y el Sistema de Predicción de Recursos Energéticos Mundiales de la NASA como se puede observar en la Tabla 4. Este enfoque permitió una evaluación exhaustiva y confiable de las condiciones climáticas en el área de interés, proporcionando una base sólida para el diseño y la implementación del sistema fotovoltaico[20], [21], [22].

Tabla 6 Datos de temperatura ambiente mensual e irradiación solar diaria promedio PVGIS

Mes	Temperatura [°C]	Irradiación solar Diaria promedio [kWh/m <sup>2</sup> / día]	Irradiación solar Diaria promedio [kWh/m <sup>2</sup> / día]
		PVGIS	NASA
Enero	26.2	4.79	4.45
Febrero	27.8	4.42	4.72
Marzo	25.3	4.92	4.62
Abril	24.6	5.10	5.85
Mayo	26.6	5.20	4.95
Junio	25.1	5.15	4.86
Julio	24.7	4.95	5.05
Agosto	25.6	4.84	5.04
Septiembre	27.2	4.71	4.98
Octubre	26.8	4.44	4.81
Noviembre	25.4	4.81	4.61
Diciembre	24.3	4.60	5.10



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



### **3.5. Consumo eléctrico de la Unidad Educativa 17 de Julio matriz**

El consumo eléctrico de la Unidad Educativa 17 de Julio matriz tiene una importancia fundamental por varias razones. Tales como, entender el patrón de consumo eléctrico de la institución proporciona información valiosa para la gestión eficiente de recursos. Lo que permite dimensionar correctamente el sistema fotovoltaico, determinando la cantidad de paneles solares necesarios para cubrir la demanda energética de la Unidad Educativa. Además, el análisis del consumo eléctrico proporciona información crucial sobre los picos de demanda y los patrones de uso de energía, lo que facilita la planificación de la instalación fotovoltaica y la integración con la red eléctrica existente.

#### **3.5.1. Consumo eléctrico**

La Unidad Educativa 17 de Julio ofrece una formación técnica profesional en diversas especializaciones

- Mecánica Automotriz
- Mecánica Industrial
- Electricidad.

Por lo que la institución cuenta con varios talleres cuya demanda energética es significativa, por lo tanto, en esta sección se llevará a cabo una evaluación del consumo energético, utilizando las planillas eléctricas proporcionadas por EMELNORTE S.A. Además, se considerarán todas las cargas existentes en la unidad educativa para establecer el consumo mensual de manera precisa.

El requerimiento energético de la institución se registra en la planilla mensual proporcionada por la distribuidora local (EMELNORTE S.A) bajo los suministros T4-8773 y T4-7123. Para el dimensionamiento se considerará el consumo desde enero hasta diciembre del 2024. Esto se hace con el propósito de observar el comportamiento del consumo energético a lo largo del año.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**



*Tabla 7 Consumo Eléctrico*

	Consumo Energético (kWh-mes)	Consumo Energético (kWh-mes)	Consumo Energético Total (kWh-mes)
	<b>T4-7123</b>	<b>T4-8773</b>	
<b>Enero</b>	1958	1049	3007
<b>Febrero</b>	2284	1192	3476
<b>Marzo</b>	2611	1559	4170
<b>Abril</b>	2366	1597	3963
<b>Mayo</b>	2121	1567	3688
<b>Junio</b>	1632	1279	2911
<b>Julio</b>	1632	571	2203
<b>Agosto</b>	2203	1137	3340
<b>Septiembre</b>	2611	1213	3824
<b>Octubre</b>	2611	1108	3719
<b>Noviembre</b>	2203	1630	3833
<b>Diciembre</b>	1876	1281	3157

Para calcular la energía requerida se debe identificar los meses con mayor consumo energético detallados en la Tabla 5, donde la energía requerida en [Wh/día] que deberá suplir el sistema fotovoltaico dicha demanda es dada por la Ecuación 1[23].

$$E_{Req} = \frac{C}{R} \tag{1}$$

Donde:

$E_{Req}$  = Energía requerida [Wh/día]

$C$  = Carga [Wh/día]

$R$  = Rendimiento global [Wh/día]



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



### 3.6. Parámetros de dimensionamiento

Una vez establecida las necesidades energéticas de la institución; en esta sección se procede con el dimensionamiento del sistema en base a la demanda de la institución para ello se establece un formato de levantamiento de cargas[24], [25].

#### 3.6.1. Levantamiento de cargas

Para el dimensionamiento y diseño del sistema fotovoltaico se debe realizar un informe energético del consumo de energía y valores de potencia de los equipos existentes en la institución. Para ellos se tomará en cuenta los parámetros detallados en la Tabla 6.

*Tabla 8 Parámetros para el levantamiento de cargas*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
<b>Nombre del Área/Zona</b>	Identificación del área o zona dentro de la institución
<b>Tipo de Carga</b>	Clasificación de la carga eléctrica (iluminación, equipos eléctricos y electrónicos, etc.)
<b>Potencia Nominal (W o kW)</b>	Potencia nominal de cada equipo o sistema eléctrico
<b>Cantidad de Equipos</b>	Número de equipos de cada tipo
<b>Horas de Operación Diaria</b>	Número de horas que cada tipo de equipo se utiliza diariamente
<b>Potencia total consumida</b>	Potencia total calculada consumida por uno o varios dispositivos

A continuación, se describirá las herramientas necesarias para la visita técnica a la institución para el respectivo levantamiento de cargas.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



### *Multímetro Digital*

Es utilizado para medir voltaje en los circuitos eléctricos. Es esencial para verificar conexiones y asegurar que las instalaciones estén funcionando correctamente, al igual medir diferentes puntos en la institución e identificar si existen caídas de voltaje.



### *Pinza Amperimétrica*

Permite medir la corriente eléctrica sin necesidad de interrumpir el circuito, simplemente colocando la pinza alrededor del conductor. De esta manera no es necesario abrir el circuito y podemos observar la potencia que consume cada uno de los equipos en la institución.





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



### *Herramientas de Mano Básicas*

En la visita técnica se ha utilizado distintos tipos de herramientas de mano, así como: Alicates, destornilladores, pelacables y llaves son necesarias para acceder a los equipos.

### **3.7. Demanda Eléctrica de la Institución.**

Después de la visita técnica, se elaboró una lista detallada de todos los elementos eléctricos que se encuentran alimentados por los medidores T4-8773 y T4-8774, los cuales registran el consumo de las aulas, oficinas y laboratorios. No se incluyeron las máquinas con motores debido a su elevado consumo, ya que su alto factor de arranque podría comprometer la estabilidad del sistema.

*Tabla 9 Consumo energético y demanda máxima*

<b>CONSUMO ENERGETICO</b>					
Equipo	Cantidad	Potencia Nominal [W]	Potencia Total [W]	Horas	Consumo total diario [Wh]
Luminarias	225	20	4500	10	45000
Computador	57	100	5700	4	22800
Proyector	6	400	2400	4	9600
Reflectores	27	200	5400	0,2	1080
Amplificador	2	500	1000	1	1000
<b>TOTAL</b>					<b>79.48 kWh/día</b>

<b>DEMANDA MÁXIMA</b>			
Equipo	Cantidad	Potencia Nominal [W]	Potencia Total [W]
Luminarias	225	20	4500
Computador	57	100	5700
Proyector	6	400	2400
Reflectores	27	200	5400
Amplificador	2	500	1000
<b>TOTAL</b>			<b>19 kW</b>



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



De acuerdo con los valores obtenidos en la lista de dispositivos, el consumo mensual calculado de la institución es de 1590 kWh/mes, por lo que la energía diaria que necesita el sistema es de 79480 Wh y tiene una demanda máxima de 19000 W (19kW).

### 3.8. Valor promedio mensual de consumo

El valor del promedio de consumo mensual se obtiene mediante la Ecuación 2, a partir de los datos de consumo energético suministrados por la empresa eléctrica de la localidad EMELNORTE S.A en un lapso de un año (12 meses) para este caso[23].

$$CE_{prom-mensual} = \frac{\sum_{i=1}^n CE_{mensual_i}}{n_{meses}} \quad ( 2 )$$

Donde:

$CE_{prom-mensual}$  = Consumo Eléctrico promedio.

$CE_{mensual_i}$  = Consumo Eléctrico mensual.

$n_{meses}$  = Número de meses del año.

Para determinar el consumo energético necesario por día [ $Wh/día$ ] se emplea la Ecuación 3 para determinar la potencia que debe entregar el sistema fotovoltaico al día[23].

$$E_{Gen} = \frac{CE_{prom-mensual}}{n_{días}} \quad ( 3 )$$

Donde:

$E_{Gen}$  = Energía que debe generar el conjunto de paneles.

$CE_{prom-mensual}$  = Consumo Eléctrico promedio.

$n_{días}$  = Número de días mensuales.



### 3.9. Hora solar pico

Es el número de horas diarias en que se dispone de la irradiancia solar máxima que equivalente a  $1000 [W/m^2]$  que incide sobre la superficie de cada panel solar, para definir la hora solar pico, se deberá calcular la irradiación promedio mensual empleando la Ecuación 4, con los datos de la Tabla 4; La cual será requerida para determinar el HSP de acuerdo con la Ecuación 5[23].

$$I_{pm} = \frac{\sum_{i=1}^n I_{mensual_i}}{n_{meses}} = \frac{I_{enero} + I_{febrero} + \dots + I_{diciembre}}{12 \text{ meses}} \quad (4)$$

$$HSP = \frac{I_{pm}}{1000 [W/m^2]} \quad (5)$$

Donde:

$I_{pm}$  = Irradiación solar promedio mensual.

$I_{mensual_i}$  = Irradiación solar mensual.

$n_{meses}$  = Número de meses del año.

$HSP$  = Hora solar pico.

Para el cálculo de las HSP, necesitamos que los valores estén en MJ por lo que se usa la conversión:  $1kWh = 3,6MJ$ . De esta manera se obtiene la energía en Mega Julios incidente en un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio cada mes[26][27]

$$HSP = In_{pro} * k_{atm} * k * 0.2778 \quad (6)$$

Donde:

$In_{pro}$  = Insolación promedio

$k$  = Factor de corrección



$k_{atm}$  = Factor de corrección atmosférico

### 3.10. Potencia del sistema fotovoltaico

Para determinar la potencia del sistema se debe considerar la demanda promedio diaria, la cual se divide para el valor de HSP corregida como se expresa en la Ecuación 7[28]

$$P_{SPV} = \frac{E_{Nec}}{HSP_{corregida}} \quad ( 7 )$$

Donde:

$P_{SPV}$  = Potencia del sistema

$E_{Nec}$  = Valor de la demanda eléctrica diaria

$HSP_{corregida}$  = Hora solar pico corregida

### 3.11. Número de paneles solares

Para determinar el número de paneles solares en el sistema fotovoltaico se emplea la Ecuación 8, la cual emplea la relación entre la hora solar pico y la energía total diaria [Wh/día] que debe generar el sistema fotovoltaico[27], [28].

$$N_p = \frac{P_{SPV}}{W_{panel} * HSP_{corregida} * (1 - 0.765)} \quad ( 8 )$$

Donde:

$N_p$  = Cantidad de paneles del sistema.

$P_{SPV}$  = Energía necesaria para suplir el consumo mediante el sistema fotovoltaico.

$W_{panel}$  = Potencia pico del panel solar [W].

$HSP_{corregida}$  = Hora solar pico corregida.



### 3.11.1. Paneles en serie

El número mínimo y máximo de paneles en serie a conectar en un sistema fotovoltaico conectado a la red se calcularon mediante las Ecuaciones 9 y 10 respectivamente[29].

$$N_{serie\_min} = \frac{V_{MPPT\_min}}{V_{oc}} \quad ( 9 )$$

$$N_{serie\_max} = \frac{V_{MPPT\_max}}{V_{oc}} \quad ( 10 )$$

Donde:

$N_{serie\_min}$  = Número mínimo de paneles en serie

$V_{oc}$  = Voltaje de circuito abierto del módulo solar

$V_{MPPT\_min}$  = Voltaje MPPT mínimo

$N_{serie\_max}$  = Número máximo de paneles en serie

### 3.11.2. Paneles en paralelo

Se utilizó la Ecuación 11 para calcular la cantidad máxima de paneles conectados en paralelo en un sistema fotovoltaico conectado a la red[29].

$$N_{paralelo\_max} = \frac{I_{MPPT\_max}}{I_{mp}} \quad ( 11 )$$

Donde:

$N_{paralelo\_max}$  = Número máximo de paneles en paralelo.

$I_{MPPT\_max}$  = Corriente MPPT máxima del inversor.

$I_{mp}$  = Corriente de cortocircuito del panel.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



### 3.11.3. Distancia entre paneles

De acuerdo con la inclinación ( $\beta$ ) y a la orientación ( $\alpha$ ) se debe de considerar una distancia mínima entre el conjunto de paneles dado el caso ya que al no contar con una distancia adecuada se pueden generar sombras entre paneles lo cual declina en daños irreparables entre paneles[23], [30].

**Acimut u orientación ( $\alpha$ ):** La orientación o acimut en el ecuador es particularmente importante debido a la ubicación geográfica. Dado que el Ecuador está justo en el ecuador terrestre, la orientación ideal para los paneles fotovoltaicos es hacia el norte o hacia el sur, dependiendo de la ubicación exacta. La inclinación óptima seguirá siendo similar al ángulo de latitud del lugar[31], [32], [33].

**Inclinación o elevación:** La inclinación ( $\beta$ ) se refiere al ángulo que forma la superficie del panel fotovoltaico con el plano horizontal, variando desde  $0^\circ$  si el módulo está colocado horizontalmente hasta  $90^\circ$  si se encuentra en posición vertical.

#### Coefficiente de inclinación

$$\beta_{opt} = \pm 10 + \varphi \quad ( 12 )$$

Donde:

$\beta_{opt}$  = Coeficiente de inclinación

$\varphi$  = Latitud del lugar

$\pm 10$  = Invierno – Verano

Para calcular la distancia de separación mínima entre módulos se utilizó la Ecuación 13 y la Ecuación 14 respectivamente[34].

$$H_{min} = (90 - \varphi) - 23 \quad ( 13 )$$



$$D_{min} = B * \cos \beta + \frac{B + \sin \beta}{\tan \alpha_{min}} \quad ( 14 )$$

$H_{min}$  = Altura solar mínima

$\varphi$  = Latitud

$B$  = Altura del panel

$D_{min}$  = Distancia mínima

$\beta$  = Angulo de inclinación

$\alpha_{min}$  = Declinación solar (diciembre)

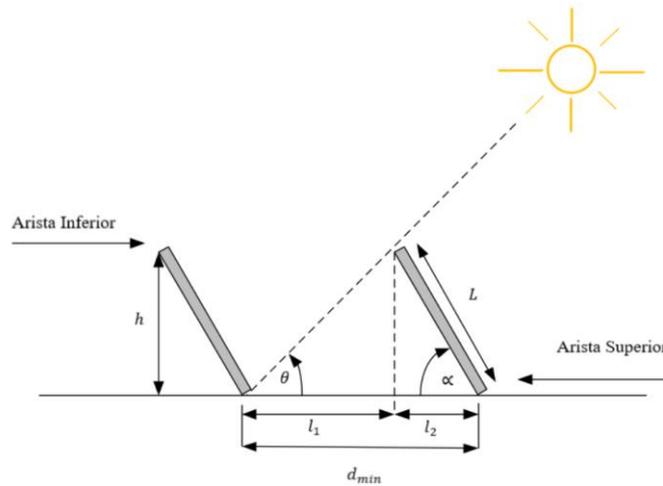


Figura 8 Separación entre paneles solares

Para realizar la respectiva separación entre los paneles solares como se observa en la Figura 8, con el fin de evitar las sobras que inciden sobre los paneles se usará la Ecuación 15.

$$d_{min} = l_1 + l_2 \quad ( 15 )$$



### **Pérdidas por orientación e inclinación**

Las pérdidas ocasionadas por la orientación e inclinación de los módulos fueron determinadas utilizando las Ecuaciones 16 y 17, la cual permite estimar el impacto de estos factores en la generación de energía del sistema fotovoltaico[23].

- Para  $\beta \leq 15$

$$Perdidas = 100 * (1.2 * 10^{-4} * (\beta - \varphi)^2) \quad ( 16 )$$

- Para  $\beta > 15$

$$Perdidas = 100 * (1.2 * 10^{-4} * (\beta - \varphi + 10)^2 + 3.5 * 10^{-5} * \alpha^2) \quad ( 17 )$$

$\beta$ : Angulo de inclinación

$\varphi$ : Latitud

$\alpha$ : Angulo acimut

### **3.12. Factor de planta**

El factor de planta de un sistema fotovoltaico es el resultado de la relación entre la energía real generada y la energía generada a su máximo rendimiento en un determinado tiempo representada en la Ecuación 18[23].

Donde:

$$FP = \frac{\sum_1^{12 \text{ meses}} GSFVM_i}{PSFV * H_{producida}} \quad ( 18 )$$

$FP$  = Factor de planta.

$GSFVM_i$  = Energía Mensual Generada por el Sistema Fotovoltaico.



$P_{SFV}$  = Potencia del Sistema Fotovoltaico.

$H_{producida}$  = Horas de producción al año.

### 3.13. Potencia del inversor

La potencia del inversor en un SFCR se calculó tomando en cuenta la potencia fotovoltaica del sistema y un factor de seguridad recomendado tal y como lo muestra la Ecuación 19[35], [36].

$$P_{inv} = 1.15 * P_f \quad ( 19 )$$

$P_{inv}$  = Potencia del inversor

$P_f$  = Potencia fotovoltaica

Factor de seguridad =1.15

### 3.14. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

El sistema fotovoltaico tiene una demanda eléctrica máxima de 19,000 W (19 kW). De acuerdo con los datos recolectados en la visita técnica el área disponible para instalación es 280 m<sup>2</sup> (35 m × 8 m) la cual está ubicada en la parte superior de las aulas, y las condiciones locales de irradiación solar, para obtener la hora solar pico se usó las Ecuaciones (4)(5).

$$I_{pm} = \frac{\sum_{i=1}^n I_{mensual_i}}{n_{meses}} = \frac{I_{enero} + I_{febrero} + \dots + I_{diciembre}}{12 \text{ meses}}$$

$$\sum_{i=1}^n I_{mensual_i} = 4.79 + 4.42 + 4.92 + 5.10 + 5.20 + 5.15 + 5.05 + 5.04 + 4.71 + 4.44 + 4.61 + 4.60 = 58,03 [kWh/m^2/dia]$$

$$I_{pm} = \frac{58,03 [kWh/m^2/dia]}{12 \text{ meses}} = 4.83 kW/m^2/dia$$



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



$$HSP = \frac{4.83 \text{ kW/m}^2/\text{dia}}{1000 \text{ W/m}^2} = 4.83 \text{ horas/dia}$$

La capacidad del sistema viene dada por la Ecuación (1)

$$E_{Req} = \frac{C}{R} = \frac{19000 \text{ W}}{0.8}$$

$$E_{Req} = 23750 \text{ W} \approx 23.75 \text{ kW}$$

El sistema se diseñó considerando una eficiencia del 80%, para cubrir las pérdidas debidas a inversores, cableado y condiciones climáticas.

La energía diaria que tendrá el sistema es el producto de la capacidad del sistema y las horas solar pico.

$$E_{SPV} = 23750 \text{ W} * 4.83 = 114712.5 \text{ [Wh/día]}$$

En el **Anexo C – Panel solar** cada panel solar tiene una potencia nominal de 450 W para calcular la energía que brinda cada panel solar.

$$E_{panel} = 450 * 4.83 = 2173.5 \text{ [Wh/día]}$$

Para satisfacer la demanda eléctrica, se calculó la capacidad total del sistema requerida, que es de 23750 W (23.75 kW), considerando las pérdidas por eficiencia. Esta capacidad es necesaria para garantizar que el sistema pueda satisfacer la demanda máxima incluso en condiciones donde las pérdidas sean significativas, asegurando un suministro constante y eficiente. La producción diaria necesaria para el sistema se estimó en 114712.5 Wh diarios, y se determinó que cada panel puede generar 2173.5 Wh diarios bajo las condiciones locales.

En base a los datos obtenidos se calculó el número de paneles necesarios para satisfacer la demanda máxima de la institución



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



$$N_p = \frac{P_{SPV}}{W_{panel} * HSP}$$

$$N_p = \frac{114712.5 [Wh/día]}{2173.5 [Wh/día]} = 52.77 \approx 53 \text{ paneles}$$

Se calculó que son necesarios **53 paneles** solares para cubrir la demanda, los cuales pueden ser instalados en el área disponible.

Por medio de la Ecuación (14), se determinó la capacidad del inversor para el sistema fotovoltaico.

$$P_{inv} = 1.15 * P_f$$

$$P_{inv} = 1.15 * 23750 W = 27312.5 W$$

Por lo tanto, un **inversor de 30 kW** ayudará a manejar la producción del sistema, considerando una capacidad extra para manejar picos de carga y pérdidas en el sistema.

Para el calibre del conductor se calculó:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{30 \text{ kW}}{400 \text{ V}} = 75A$$

De acuerdo con la Tabla 3 se eligió el calibre del conductor, el sistema tiene 75A un conductor de **calibre 6 AWG** en cobre sería adecuado. La protección según la INEC el dimensionamiento de los disyuntores es al **125% de la corriente máxima**.

$$75A * 1.25 = 93.75A$$

Para garantizar la protección del sistema, se selecciona un disyuntor con una capacidad de **100 A**.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



## CAPITULO IV

En este capítulo se presenta la propuesta técnica del sistema fotovoltaico en la Unidad Educativa 17 de Julio. Este trabajo se enfoca en atender las necesidades energéticas de la institución mediante el uso de una solución sustentable que aproveche la energía solar como fuente principal. La propuesta técnica está fundamentada en un análisis que incluye la selección de componentes como paneles solares, inversores y conductores, así como el esquema eléctrico del sistema.

El desarrollo de este capítulo tiene como propósito garantizar un diseño eficiente, seguro y adaptado a las condiciones específicas del sitio de instalación, considerando tanto las restricciones técnicas como los recursos disponibles, asegurando que el sistema fotovoltaico propuesto sea viable en términos funcionales.

### **Componentes Principales del Sistema**

Para el diseño del sistema fotovoltaico, se llevó a cabo un estudio de mercado en el que se analizaron diversos componentes que conforman el sistema. La selección de cada uno de estos elementos se realizó con base en un análisis técnico y criterios establecidos por el autor, asegurando que cumplan con los requerimientos específicos del proyecto y las condiciones operativas de la instalación.

#### ***Panel solar***

Panel Ja Solar 450W 24V Monocristalino Perc

Los paneles solares ja solar 450W son módulos fotovoltaicos de gran potencia del fabricante internacional Ja Solar. La gama JAM72S20 MR es una serie que ofrece la última tecnología con unas características técnicas de primer nivel. Entre los aspectos destacados de las placas solares 450W encontramos sus medias células monocristalinas de tipo PERC que ofrecen una producción superior y mejor rendimiento térmico[37].



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



*Tabla 10 Especificaciones técnicas Panel Solar Panel Ja Solar*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	
Modelo del módulo	JAM72S20-450/MR	
Potencia máxima (Pmax)	450 W	
Voltaje de circuito abierto (Voc)	49.70 V	
Corriente de cortocircuito (Isc)	11.36 A	
Voltaje a máxima potencia (Vmpp)	32.02 V	
Corriente a máxima potencia (Imp)	10.84 A	
Eficiencia del módulo	21.25%	

Para más detalles el **Anexo C – Panel Solar** tiene características técnicas del módulo.

***Inversor***

El Inversor Growatt MAC 30KTL3-XL está preparado para trabajar en instalación trifásicas de conexión a red sin baterías. Este modelo Growatt MAC 30KTL3-XL incorpora tres MPPT con doble entrada para cada uno de ellos que ofrece más flexibilidad y eficiencia al sistema ofreciendo una potencia de salida máxima de 30kW[38]. Para más detalles en el **Anexo C – Inversor**.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



*Tabla 11 Especificaciones técnicas Inversor Growatt MAC 30KTL3-XL*

Especificación Técnica	
Growatt MAC 30KTL3-XL	
<b>Eficiencia</b>	
Máxima eficiencia	98.8%
<b>Entrada</b>	
Tensión máxima de entrada por MPPT	1100 V
Intensidad de entrada máxima por MPPT	46 A
Intensidad de cortocircuito máxima	50 A
Tensión de arranque	200 V
Rango de tensión de operación	200 V - 1000 V
Tensión nominal de entrada	600 V
Cantidad de entradas	8
Cantidad de MPPTs	3
<b>Salida</b>	
Potencia nominal activa de CA	30000 W
Máx. potencia aparente de CA	33300 VA
Tensión nominal de Salida	127V/220V, 3W/N+PE
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz
Intensidad nominal de salida	78.8A
Máx. intensidad de salida	87.4A
Factor de potencia ajustable	0.8 LG... 0.8 LD
Máx. distorsión armónica total	< 3%





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



Una vez definidas y detalladas las características técnicas de los paneles solares y el inversor, se procede al desarrollo de la configuración eléctrica de los paneles, considerando su conexión en serie y en paralelo para garantizar un diseño óptimo que cumpla con los requerimientos energéticos del sistema.

### **Número de paneles en serie y paralelo**

#### ***Paneles en serie:***

Para determinar la cantidad de paneles que deben conectarse en serie, se emplean las ecuaciones (9) y (10). Estas ecuaciones consideran el rango MPPT del inversor y el voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ) del panel fotovoltaico

$$N_{serie\_min} = \frac{V_{MPPT\_min}}{V_{oc}}$$

$$N_{serie\_min} = \frac{200 V}{49.70 V} = 4.02 \approx 4 \text{ Paneles}$$

$$N_{serie\_max} = \frac{1000 V}{49.70 V} = 20.12 \approx 20 \text{ Paneles}$$

#### ***Paneles en paralelo***

El número de cadenas en paralelo se calcula con la ecuación (11) donde se divide la corriente máxima permitida por el inversor entre la corriente a máxima potencia de un string.

$$N_{paralelo} = \frac{I_{MPPT\_max}}{I_{mp}}$$

$$N_{paralelo} = \frac{46 A}{10.84 A} = 4.24 \approx 4 \text{ strings por MPPT}$$

#### ***Distribución de paneles por string***

Para calcular la cantidad de paneles que debe tener cada string, se dividió el número total de paneles entre la cantidad de strings definidos en el diseño del sistema.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



$$\text{Paneles por string} = \frac{\text{Total de paneles}}{\text{Número de Strings}}$$

$$\text{Paneles por string} = \frac{53}{4} = 13.25 \approx 14 \text{ paneles por string}$$

**Verificación de la configuración**

- ✓ Voltaje del string (Voc total): Cada panel tiene un Voc de 49.70 V. El voltaje total del string será:

$$V_{string} = \text{Paneles por string} * V_{oc}$$

$$V_{string} = 14 * 49.70 = 695.8V$$

El voltaje de cada string de paneles en serie es de 695.8 V lo cual se encuentra en un rango permitido (200V a 1000V) por el inversor.

- ✓ Corriente total por string (Imp): Cada panel tiene un Imp de 10.84 A, y en una conexión en serie, la corriente permanece constante:

$$I_{string} = 10.84 A$$

- ✓ Verificación de los MPPTs: Con 4 strings conectados en paralelo, la corriente total en el inversor será:

$$I_{total} = \text{Corriente de string} * \text{Número de strings}$$

$$I_{total} = 10.84 * 4 = 43.36 A$$

Dado que cada MPPT del inversor Growatt MAC 30KTL3-XL puede manejar hasta 46 A, se distribuyó los strings en 2 MPPTs (2 strings por MPPT):

$$I_{MPPT} = \frac{43.36 A}{2} = 21.68 A \text{ por MPPT}$$

La corriente que ingresa por MPPT es de 21.68 lo cual se encuentra en el rango permitido (46A) por el inversor.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



*Tabla 12 Resumen de la configuración del Sistema Fotovoltaico*

Total de paneles	56
Paneles por string	14
Número de strings en paralelo	4
Voltaje total por string (Voc)	695.8 V
Corriente total del sistema	43.36 A
Distribución de strings	2 strings por cada uno de los 2 MPPTs
Potencia del sistema (Requerida)	23.75 kW
Energía diaria (Panel)	2.17 [kWh/día]
Energía diaria (Sistema)	121.71 [kWh/día]
Energía anual (Sistema)	44.42 [MWh/año]

### Diseño Físico del Sistema

Con el fin de calcular el coeficiente de inclinación se utilizó la ecuación 12. Asimismo, para calcular la distancia de separación mínima entre módulos se utilizó las ecuaciones 13 y 14.

*Tabla 13 Diseño físico de los paneles*

<b>Condiciones:</b>	<b>Datos</b>
<b>Coeficiente de inclinación (<math>\beta_{opt}</math>)</b>	10.35
<b>Altura mínima (<math>H_{min}</math>)</b>	0.66m
<b>Distancia mínima (<math>D_{min}</math>)</b>	2.16m
<b>Perdidas</b>	15.02%

Cabe mencionar que se obtuvo un valor de 10.35 para el coeficiente de inclinación. No obstante, se seleccionó una inclinación de 15 grados con el propósito de facilitar las actividades de mantenimiento y limpieza de los paneles.



## Simulación

La simulación del sistema fotovoltaico propuesto es una etapa fundamental para validar el diseño y dimensionamiento realizado. Mediante esta herramienta, se busca analizar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones climáticas y operativas, permitiendo predecir la generación de energía y evaluar la eficiencia del sistema en su conjunto.

El uso de software especializado en simulación fotovoltaica, como PVsyst, facilita el análisis detallado de variables críticas, incluyendo la radiación solar incidente, las pérdidas por orientación e inclinación, y el desempeño de los componentes seleccionados. Estas simulaciones permiten anticipar posibles problemas, optimizar el diseño y garantizar que el sistema cumpla con los objetivos de generación establecidos.

### PVsyst

Se utiliza el software **PVsyst** en el desarrollo de este proyecto debido a su flexibilidad y capacidad para adaptarse a diferentes escenarios. Este sistema permite modificar y ajustar los parámetros técnicos, como características de los paneles solares, inversores y condiciones climáticas, lo que facilita el análisis detallado del desempeño del sistema fotovoltaico bajo diversas condiciones operativas[39], [40].

- En esta sección se localiza el lugar donde se instalarán los paneles solares.

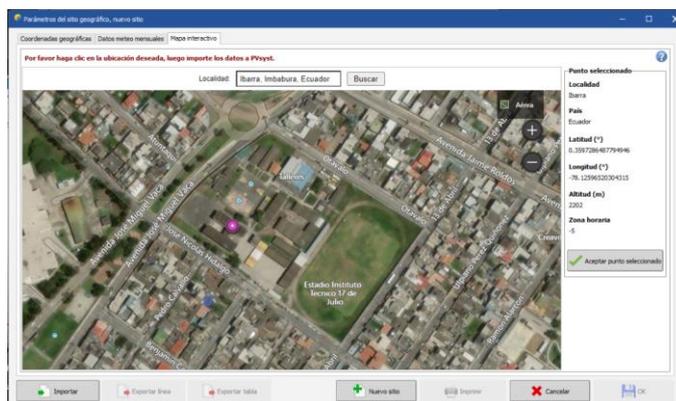


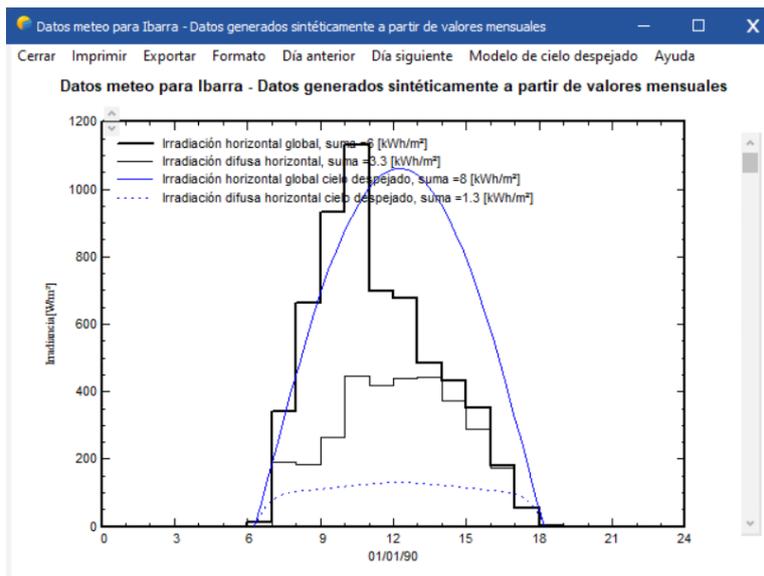
Figura 9 Ubicación geográfica de la Institución en el Software PVsyst



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**



Una vez identificado el lugar donde se instalará el sistema fotovoltaico, el programa nos brinda los datos meteorológicos de la ubicación. Este gráfico muestra la irradiación horizontal global y difusa, tanto en condiciones normales como con cielo despejado.



*Figura 10 Datos meteorológicos Ciudad de Ibarra*

Una vez identificado el lugar de instalación y analizados los datos meteorológicos correspondientes a la ciudad de Ibarra, el software **PVsyst** permite configurar el proyecto con información específica del sitio, como la irradiación solar disponible y las características climáticas. Con estos datos, se procede a configurar los parámetros del sistema fotovoltaico, incluyendo orientación, pérdidas, sombreado, y detalles económicos.

El programa genera un panel de resultados como el que se muestra a continuación, proporcionando una visión general del rendimiento del sistema fotovoltaico propuesto. Este panel incluye métricas clave como la producción anual de energía, las pérdidas asociadas, y el rendimiento global del sistema, lo que permite evaluar la viabilidad técnica y económica del proyecto.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

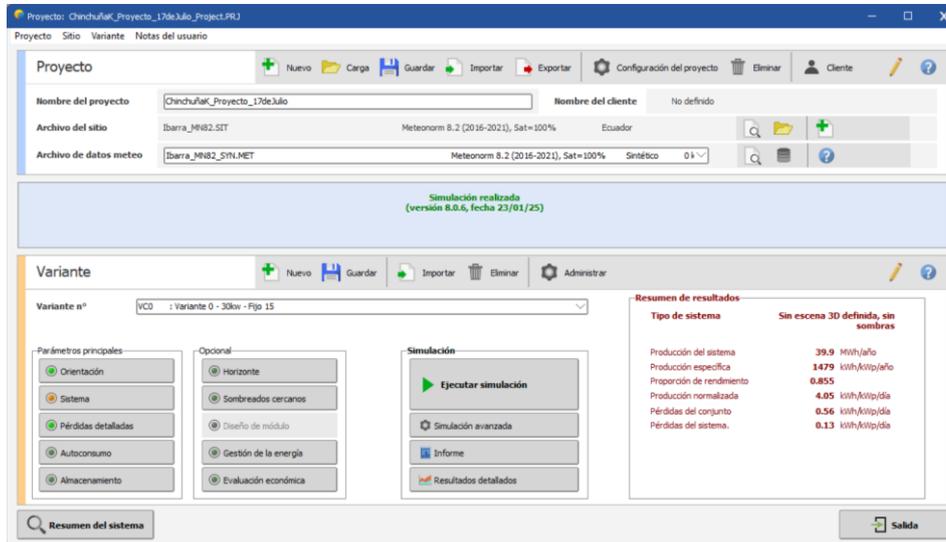


Figura 11 Panel General del Proyecto en PVsyst

La configuración de las variantes en **PVsyst** es un paso crucial para evaluar diferentes escenarios de diseño y optimización del sistema fotovoltaico. Estas variantes permiten simular cómo se comportará.

**Orientación.**

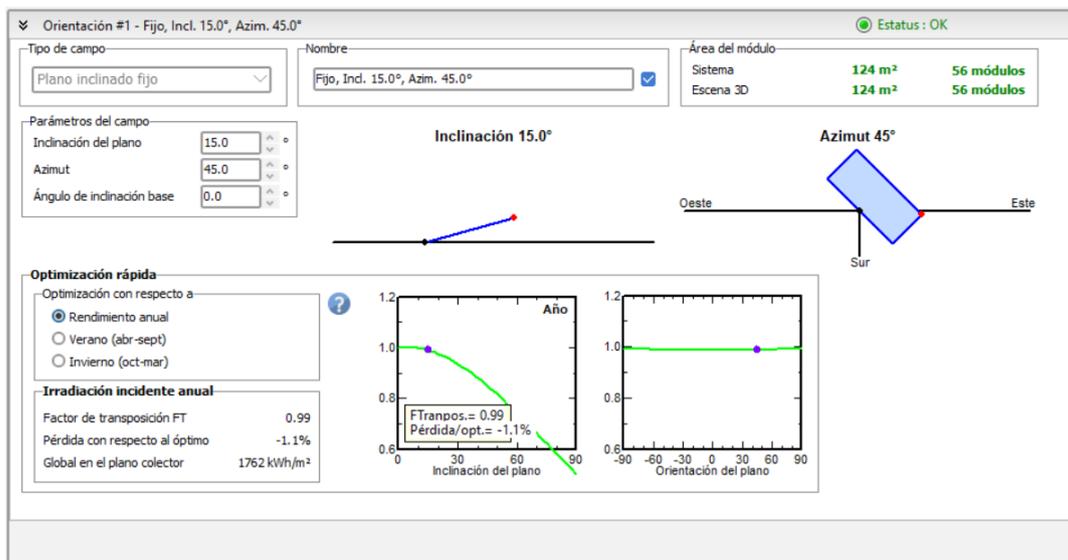


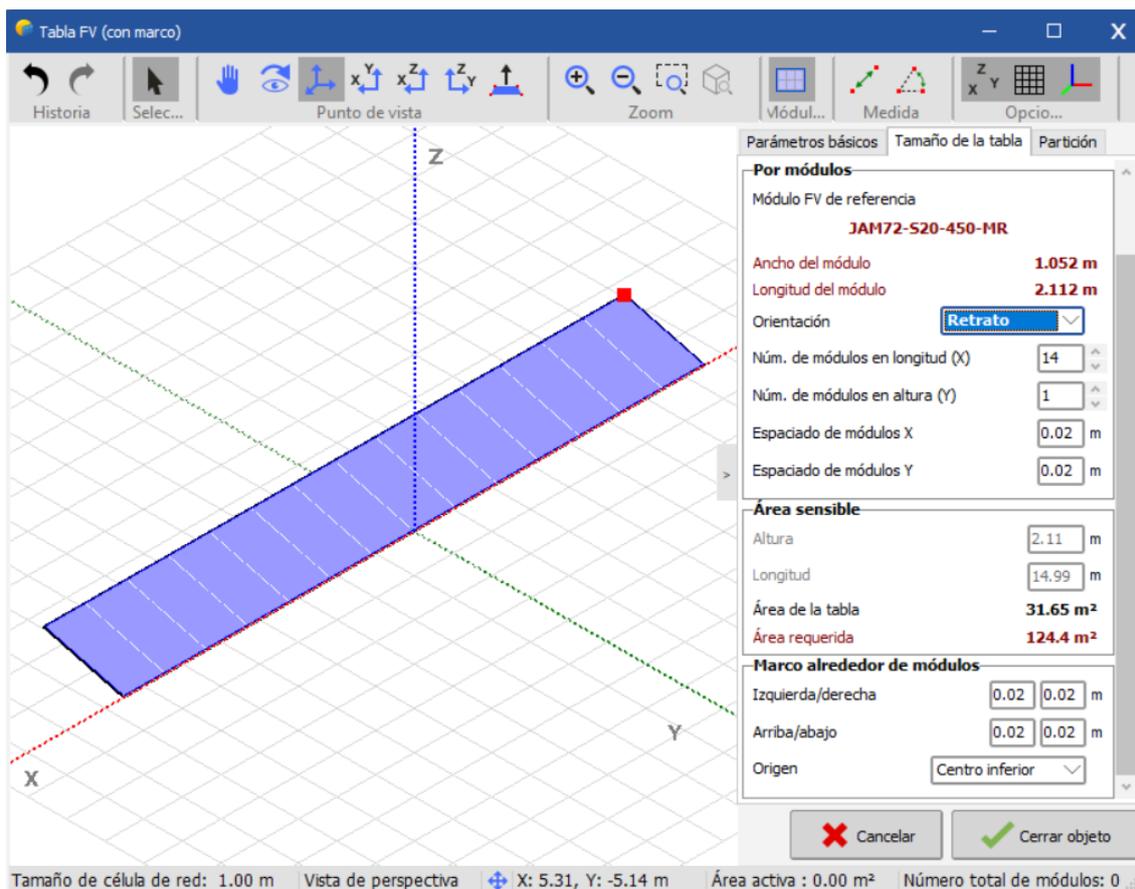
Figura 12 Orientación y configuración de los paneles solares



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**



Para la orientación se ha seleccionado un plano inclinado fijo lo que implica que los paneles solares estarán instalados con una inclinación constante durante todo el año, sin mecanismos de seguimiento solar. Esta inclinación es de 15° al norte.

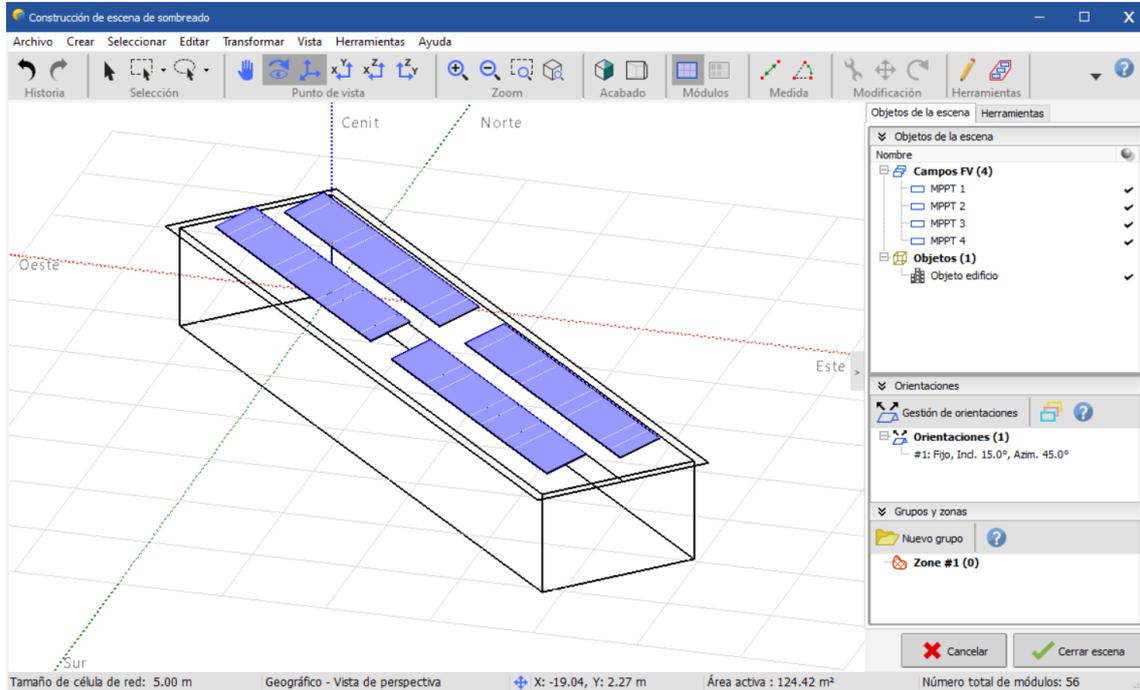


*Figura 13 Configuración del módulo fotovoltaico y su distribución en el espacio en PVsyst*

El sistema considera una superficie activa de 124 m<sup>2</sup>, correspondiente a 56 módulos fotovoltaicos, los cuales han sido cargados tanto en la configuración del sistema como en el modelo 3D.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**



*Figura 14 Distribución 3D del sistema fotovoltaico y su ubicación en el sitio de instalación.*

La Figura 14 muestra la representación 3D del sistema fotovoltaico en el software PVsyst, con la disposición de los paneles solares en el espacio destinado para su instalación. Los paneles están distribuidos en 4 cadenas MPPT, las cuales están conectadas en paralelo, garantizando un control óptimo de la energía generada en función de las condiciones de irradiación de cada grupo de módulos.

Los paneles están orientados hacia el noreste y tienen una inclinación de 15°, lo cual ha sido configurado para maximizar la captación de energía solar en el sitio de instalación. Este ángulo de inclinación permite un equilibrio entre la eficiencia energética y la adaptabilidad a las condiciones climáticas locales, mejorando el rendimiento general del sistema.

El lugar de instalación está diseñado sobre una estructura metálica, que será montada sobre el techo de concreto de la Unidad Educativa 17 de Julio, garantizando una



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**



correcta orientación y ángulo de inclinación de los paneles. La disposición en el plano permite aprovechar al máximo la irradiación solar disponible a lo largo del día.

**Sistema**

Una vez seleccionados los componentes principales del sistema fotovoltaico, como el panel solar y el inversor, se procede a realizar la simulación del sistema.

*Figura 15 Definición del Sistema Fotovoltaico*

La simulación realizada en el software **PVsyst** permitió analizar el comportamiento y desempeño del sistema fotovoltaico diseñado bajo las condiciones climáticas específicas de la localidad seleccionada. A partir de los resultados obtenidos, se evaluaron parámetros clave como la producción energética, el rendimiento del sistema y las pérdidas asociadas. Estas métricas permiten validar la viabilidad técnica del proyecto y optimizar su diseño para maximizar la eficiencia y minimizar las pérdidas.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

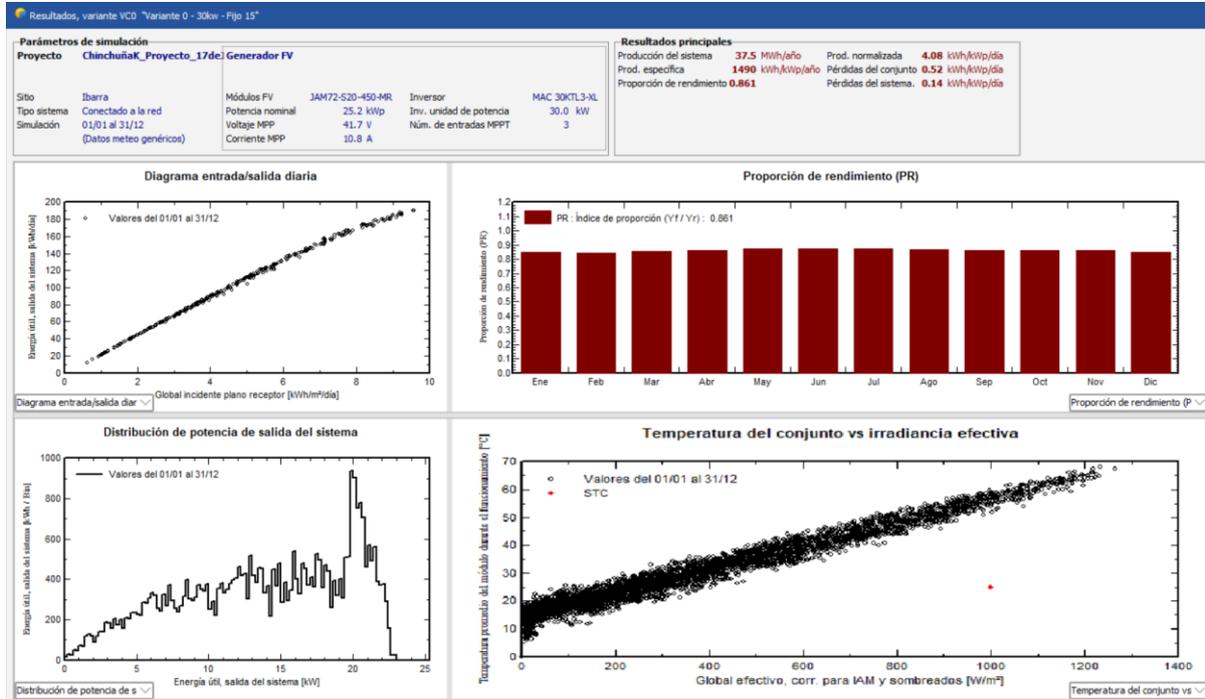


Figura 16 Resultado de la Simulación

A continuación, se presentan las conclusiones derivadas de este análisis.



Figura 17 Resultados del Sistema Fotovoltaico (PVsyst)

**Producción energética estimada:**

La producción anual del sistema se estima en 37.5 MWh/año, con una producción específica de 1490 kWh/kWp/año. Esto demuestra que el sistema es capaz de generar una cantidad significativa de energía, adecuada para satisfacer parte de la demanda energética del sitio.



### Proporción de rendimiento (PR):

El índice de proporción de rendimiento (PR) es de 0.861, lo que indica un buen desempeño del sistema. Este valor refleja la eficiencia relativa del sistema considerando las pérdidas térmicas, eléctricas y climáticas.

### Distribución de potencia de salida:

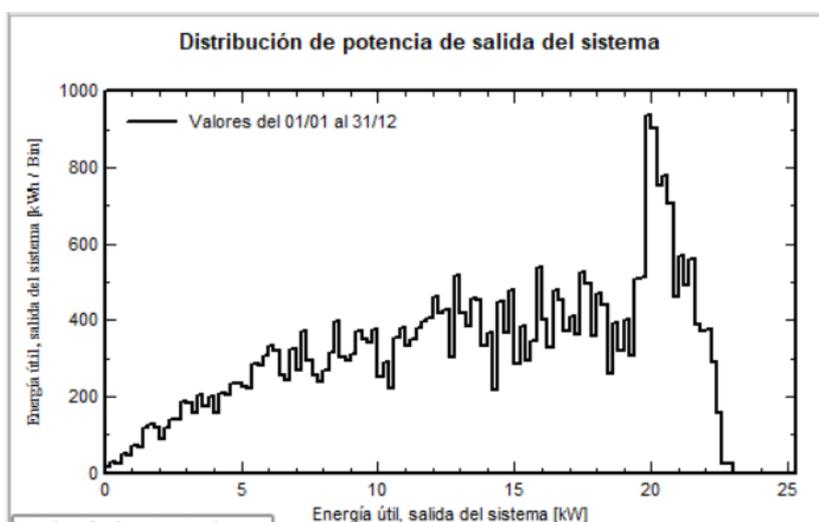


Figura 18 Diagrama de distribución de potencia de la salida del sistema

El gráfico de distribución de potencia muestra que el sistema opera con frecuencia en rangos cercanos a su capacidad máxima, lo que implica un diseño eficiente en términos de aprovechamiento de la irradiación disponible. La mayor concentración de generación entre 10 y 20 kW sugiere que el sistema está bien dimensionado y aprovecha eficazmente la radiación solar disponible.

### Relación entre temperatura e irradiancia:

La gráfica de temperatura del conjunto frente a la irradiancia efectiva evidencia un comportamiento predecible del sistema. Se observa una tendencia de aumento en la temperatura con mayor irradiancia, lo cual es normal y refleja un diseño térmico bien gestionado.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**



**Pérdidas del sistema:**

El siguiente diagrama representa el flujo energético y las pérdidas en un sistema fotovoltaico, desde la irradiación solar hasta la energía final inyectada a la red. A lo largo del proceso, se muestran diferentes etapas donde se presentan pérdidas que afectan el rendimiento total del sistema.

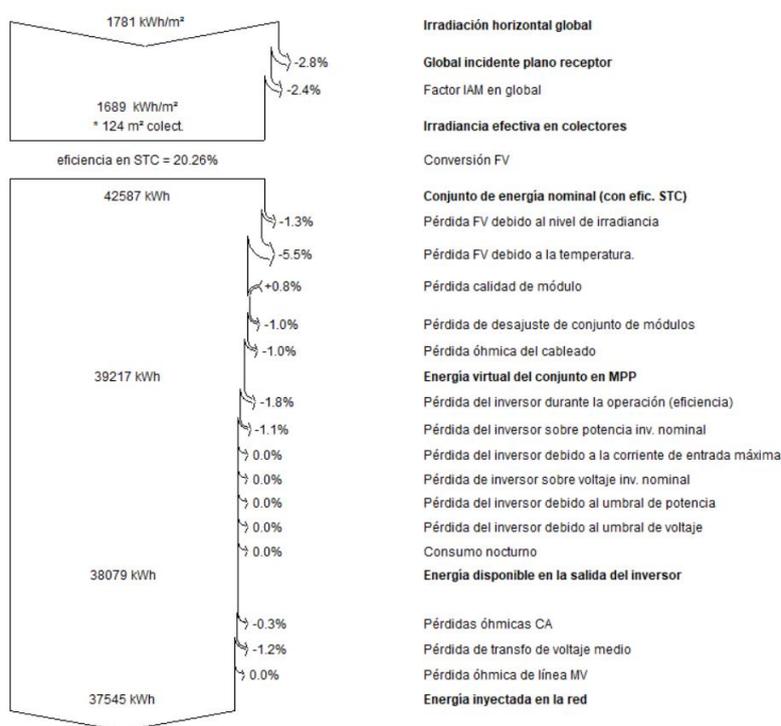


Figura 19 Diagrama de pérdidas

El sistema fotovoltaico inicia con una irradiación global de 1781 kWh/m<sup>2</sup>, obteniendo una irradiancia efectiva de 1689 kWh/m<sup>2</sup>. La energía generada es de 42,587 kWh, pero tras pérdidas térmicas (-5.5%), desajuste de módulos (-1.0%) y cableado (-1.0%), se reduce a 39,217 kWh en la entrada del inversor. Las pérdidas del inversor (-1.8%) y de sobrecarga (-1.1%) dejan 38,079 kWh a la salida. Finalmente, pérdidas en la red (-1.2% y -0.3%) resultan en una energía inyectada de 37,545 kWh, reflejando una conversión eficiente con márgenes de mejora en disipación térmica y cableado.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



### Viabilidad técnica:

Los resultados confirman que el sistema fotovoltaico diseñado es técnicamente viable y capaz de adaptarse a las condiciones específicas de la localidad. Esto garantiza una contribución significativa a la reducción de costos energéticos y al uso sostenible de recursos. Para más detalles el **Anexo D**, es in informe global del sistema fotovoltaico.

### Costos

Para determinar la propuesta técnica del sistema fotovoltaico, se realizó una estimación detallada de los costos asociados. Esta evaluación incluye los componentes principales, como paneles solares e inversores, así como los elementos complementarios necesarios para su instalación y operación.

*Tabla 14 Costo del Sistema Fotovoltaico*

Elemento	Descripción	Costo Unitario (USD)	Cantidad	Costo Total (USD)
Paneles solares	Ja Solar 450W 24V Monocrystalino Perc	200	54	10800
Inversor trifásico	Growatt MAC 30KTL3-XL	13700	1	13700
Conductores eléctricos (DC y AC)	Cable 6 AWG y conexiones necesarias	250	2	500
Conectores MC4	Conectores para paneles solares	15	120	1800
Estructura de montaje	Aluminio galvanizado, inclinado 15°	250	4	1000
Tornillos y pernos para montaje	Acero inoxidable, resistente a la corrosión	1	200	200
Material aislante para soporte	Aislantes de goma o silicona	20	4	80
Disyuntores (DC)	Protecciones contra sobrecargas y cortocircuitos	30	4	120
Disyuntores (AC)		20	4	80
Interruptores de desconexión	Interruptores manuales para aislamiento del sistema	150	2	300



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



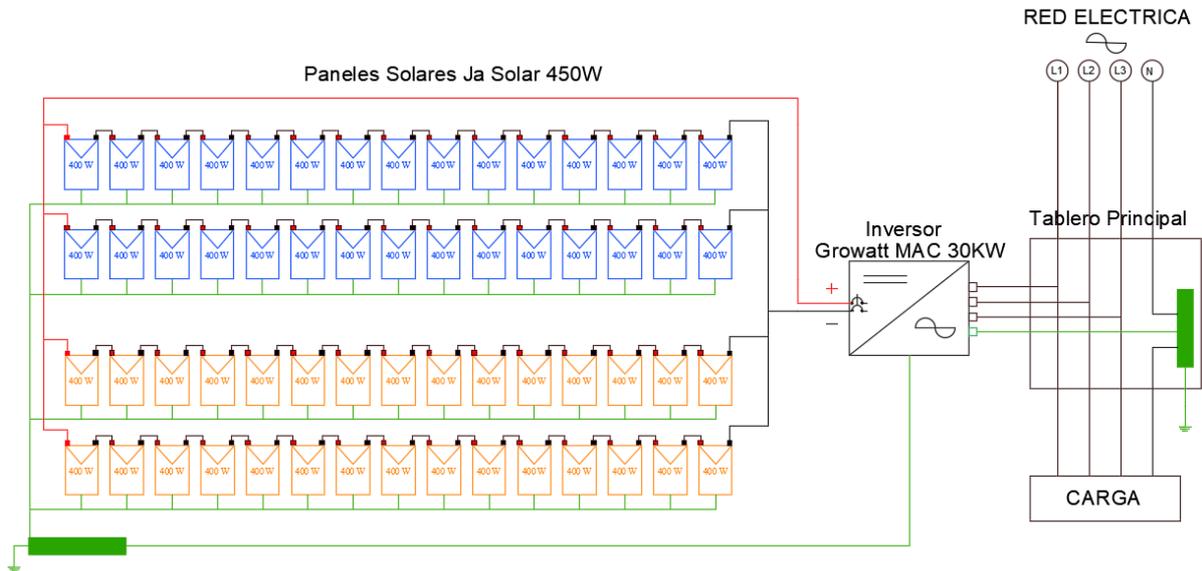
Medidor bidireccional	Medidor para balance neto	-	-	-
Sistema de puesta a tierra	Incluye cable de cobre y barras de tierra	250	1	250
Caja de distribución (DC)	Caja resistente a la intemperie	100	1	100
Protecciones contra sobretensiones	SPD clase I y II para DC y AC	400	2	800
Software para diseño y simulación	Licencias y herramientas especializadas	100	1	100
Mano de obra e instalación	Costos estimados de instalación	2000	3	6000
			<b>TOTAL</b>	<b>35.830 \$</b>

**Diagrama Unifilar**

La Figura 13 presenta un diagrama unifilar que describe detalladamente un sistema fotovoltaico conectado a la red, diseñado específicamente para el colegio 17 de Julio de la ciudad de Ibarra. Este sistema cuenta con 56 paneles solares de 450W cada uno, organizados en cuatro cadenas en paralelo, con 14 paneles en serie por cadena, alcanzando una capacidad total de 25200W. Además, incorpora un inversor de la marca Growatt MAC, configurado para cubrir la demanda energética del colegio. Este diseño representa un modelo destacado de autosuficiencia energética y compromiso con la sostenibilidad ambiental. Su integración directa al tablero principal permite un manejo eficiente del flujo energético y asegura su compatibilidad con la infraestructura eléctrica existente.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**



*Figura 20 Diagrama Unifilar del Sistema Fotovoltaico*

Para obtener una visualización más detallada y a escala ampliada de los planos de los sistemas fotovoltaicos, se sugiere revisar el **Anexo E**. Este anexo proporciona los diagramas en un formato expandido, lo que facilita una comprensión más clara y precisa de los componentes individuales, su configuración, y las conexiones entre los distintos elementos del sistema.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



## CONCLUSIONES

Se logró identificar y describir de forma detallada los principales componentes que conforman un sistema fotovoltaico interconectado a la red, incluyendo paneles solares monocristalinos, inversores trifásicos de alto rendimiento, estructuras de soporte, cableado eléctrico y protecciones tanto en corriente continua como en alterna.

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico fue basándose en un análisis detallado de la demanda eléctrica de la institución y las condiciones climáticas del sitio. Se determinó la capacidad adecuada del sistema para cubrir parcialmente las necesidades energéticas de la institución, garantizando que el sistema fotovoltaico seleccionado fuera capaz de operar de manera eficiente. Se definieron los componentes principales, como el número y tipo de paneles solares y el inversor adecuado, asegurando que el sistema esté correctamente dimensionado en función de la demanda proyectada y las condiciones locales de irradiación solar.

El desarrollo ha permitido comprender a fondo el diseño y dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, destacando la importancia de evaluar adecuadamente la demanda energética y seleccionar los componentes adecuados para maximizar la eficiencia. Se ha aprendido a utilizar herramientas de simulación para prever el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones, así como a integrar soluciones tecnológicas que favorecen la autosuficiencia energética y la sostenibilidad ambiental.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



## **RECOMENDACIONES**

Explorar la integración de tecnologías complementarias para aumentar la eficiencia y la sostenibilidad del sistema fotovoltaico. Por lo que sugiere profundizar en la investigación sobre tecnologías avanzadas en el ámbito de la energía solar, como los paneles solares bifaciales, que permiten captar irradiación en ambos lados del módulo, maximizando la generación de energía. Además, sería beneficioso explorar la posibilidad de incorporar sistemas de almacenamiento de energía en baterías, lo que permitiría gestionar mejor los excedentes de energía durante el día y utilizarla durante la noche, mejorando la autonomía energética.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



### BIBLIOGRAFIA

- [1] S. Fierro and E. Patricio, “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA DETERMINACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA A PARTIR DE INFORMACIÓN HISTÓRICA DE OPERACIÓN DE SUS COMPONENTES TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO”.
- [2] R. Aguilar and J. Alexis, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”.
- [3] C. A. Robles Algarin, J. P. Vilorio Porto, and D. A. Restrepo Leal, *Control neuronal y difuso para sistemas fotovoltaicos*. Editorial Unimagdalena, 2022. [Online]. Available: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/224405>
- [4] M. C. Tobajas, *Energía solar fotovoltaica*. Cano Pina, 2018. [Online]. Available: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/45047>
- [5] S. Sepúlveda, “Radiación solar: Factor clave para el diseño de sistemas fotovoltaicos,” *Mundo FESC*, vol. 8, pp. 60–65, 2014, [Online]. Available: <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/50>
- [6] A. A. Bayod Rujula, *Energías renovables: sistemas fotovoltaicos*. Prensas de la Universidad de Zaragoza, 2009. [Online]. Available: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/41940>
- [7] “Panel Solar Monocristalino 450W, Eficiencia 20.80% – IMOVEC.COM.” Accessed: Jan. 16, 2024. [Online]. Available: <https://imovec.com/producto/panel-solar-monocristalino-450w-24v-eficiencia-20-80/>
- [8] “Paneles Solares Policristalinos de 100 watt – IMOVEC.COM.” Accessed: Jan. 16, 2024. [Online]. Available: <https://imovec.com/producto/paneles-solares-policristalinos-de-100-watt/>



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



- [9] “Tipos De Paneles Solares fotovoltaicos.” Accessed: Jan. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.implica-t.com/tipos-de-paneles-solares/#AMORFOS>
- [10] “Ventajas y desventajas de las células solares GaAs - Conocimiento - DS New Energy.” Accessed: Jan. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.dsisolar.com/info/advantages-and-disadvantages-of-gaas-solar-cel-54235622.html>
- [11] “AgroAlimentando.” Accessed: Jan. 16, 2024. [Online]. Available: <https://agroalimentando.com/nota/5901>
- [12] “Paneles solares híbridos: características y ventajas de su uso - Greening-e.” Accessed: Jan. 16, 2024. [Online]. Available: <https://greening-e.com/paneles-solares-hibridos-caracteristicas-y-ventajas-de-su-uso/>
- [13] “¿Qué es un regulador de carga? | Blog AutoSolar.” Accessed: Feb. 04, 2024. [Online]. Available: <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-de-carga>
- [14] “¿Qué tipos de inversores fotovoltaicos existen?” Accessed: Jan. 16, 2024. [Online]. Available: <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-tipos-de-inversores-fotovoltaicos-existen>
- [15] “Inversores conexión a red eléctrica para autoconsumo - Papernest.es.” Accessed: Jan. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.papernest.es/blog/inversores-conexion-a-red-electrica-para-autoconsumo/>
- [16] “Cable Fotovoltaico para Paneles Solares EN 50618 - ZMS Cable.” Accessed: Jan. 25, 2024. [Online]. Available: <https://zmscables.es/cable-fotovoltaico/>
- [17] “¿Cómo funciona la normativa legal para el uso de paneles solares en Ecuador? - Airis Ecuador.” Accessed: Jan. 25, 2024. [Online]. Available:



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



<https://airis.ec/como-funciona-la-normativa-legal-para-el-uso-de-paneles-solares-en-ecuador/>

- [18] “Puesta a tierra de instalaciones fotovoltaicas.” Accessed: Feb. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/puesta-a-tierra-de-instalaciones-con-placas-solares/#Puesta-a-tierra-de-instalaciones-fotovoltaicas>
- [19] “2020-Generacion500AP”.
- [20] “Vista de Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas.” Accessed: Apr. 26, 2025. [Online]. Available: <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6835/10387>
- [21] C. De, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA”.
- [22] P. Baena Álvarez, J. Servert, and D. Rio, “VALIDACIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN DE PLANTAS BIFACIALES A PARTIR DE DATOS OPERACIONALES SEPTIEMBRE 2024”.
- [23] A. DE Uso Y Publicación, A. Y. Nombres, and M. Yáñez Darwin Moisés, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA”.
- [24] “DECLARACIÓN DE AUTORÍA.”
- [25] “Dialnet-SistemaFotovoltaicoConectadoARedParaDisminuirLaDem-8383756”.
- [26] A. De Uso, Y. Publicación, M. Pasquel, and J. Carlos, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA”.
- [27] Tema, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE: INGENIERO ELÉCTRICO”.
- [28] R. Aguilar and J. Alexis, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
 APLICADAS**



- [29] M. Yáñez Darwin Moisés, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA.”
- [30] P. Román and D. Fernando, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”.
- [31] P. Baena Álvarez, J. Servert, and D. Rio, “VALIDACIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN DE PLANTAS BIFACIALES A PARTIR DE DATOS OPERACIONALES SEPTIEMBRE 2024.”
- [32] “UPS - TTS1023”.
- [33] A. Vera-Lázaro and R. Diaz, “SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELECTRICA UNA EMPRESA DE BEBIDAS SIMULATION OF A HYBRID ENERGY SYSTEM IN A DRINK COMPANY.” [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/343698323>
- [34] M. C. Nelson Rigoberto, “DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED, PARA LA INDUSTRIA AGRÍCOLA ALFADELI S.A.” Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/15654/2/04%20IEL%20029%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- [35] “DECLARACIÓN DE AUTORÍA”.
- [36] B. Shiva Kumar and K. Sudhakar, “Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India,” *Energy Reports*, vol. 1, pp. 184–192, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.egy.2015.10.001.
- [37] “Panel JA Solar 450W 24V Monocristalino PERC | AutoSolar.” Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-ja-solar-450w-24v-monocristalino-perc>



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



- [38] “INVERSOR ONGRID 30 KW TRIFASICO 220 VAC - Tronex Industrial.”  
Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://tronex-industrial.com/tienda/inversor-ongrid-30-kw-trifasico-220-vac-1/>
- [39] M. Z. Jacobson and V. Jadhav, “World estimates of PV optimal tilt angles and ratios of sunlight incident upon tilted and tracked PV panels relative to horizontal panels,” *Solar Energy*, vol. 169, pp. 55–66, Jul. 2018, doi: 10.1016/J.SOLENER.2018.04.030.
- [40] T. V. DIXIT, A. N. A. M. I. K. A. YADAV, and S. GUPTA, “Optimization of PV array inclination in India using ANN estimator: Method comparison study,” *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, vol. 40, no. 5, pp. 1457–1472, Aug. 2015, doi: 10.1007/S12046-015-0386-2.



## ANEXOS

### Anexo A – Elementos del Sistema Fotovoltaico

#### *Panel solar*

## Harvest the Sunshine

Mono

470W MBB Half-Cell Module

JAM72S20 445-470/MR Series

**Introduction**

Assembled with multi-busbar PERC cells, the half-cell configuration of the modules offers the advantages of higher power output, better temperature-dependent performance, reduced shading effect on the energy generation, lower risk of hot spot, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.

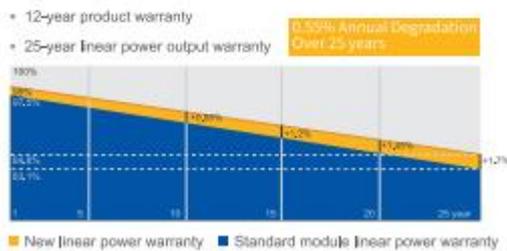
Higher output power

Lower LCOE

Less shading and lower resistive loss

Better mechanical loading tolerance

#### Superior Warranty



#### Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL 61215, UL 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems
- IEC TS 62941: 2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guidelines for increased confidence in PV module design qualification and type approval

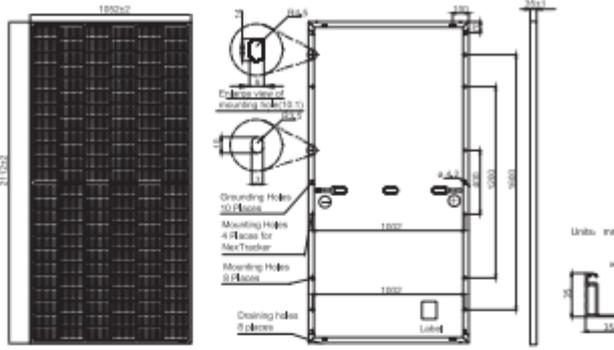




JA SOLAR

JAM72S20 445-470/MR Series

MECHANICAL DIAGRAMS



SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	24.7kg±3%
Dimensions	2112±2mm×1052±2mm×35±1mm
Cable Cross Section Size	4mm <sup>2</sup> (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	144 (6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4.10(1000V) QC 4.10-35(1500V)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+J400mm(-) Landscape: 1200mm(+J1200mm(-)
Packaging Configuration	31 pcs/pallet 682 pcs/40ft Container

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S20-445/MR	JAM72S20-450/MR	JAM72S20-455/MR	JAM72S20-460/MR	JAM72S20-465/MR	JAM72S20-470/MR
Rated Maximum Power(P <sub>max</sub> ) [W]	445	450	455	460	465	470
Open Circuit Voltage(V <sub>oc</sub> ) [V]	49.56	49.70	49.85	50.01	50.15	50.31
Maximum Power Voltage(V <sub>mp</sub> ) [V]	41.21	41.52	41.82	42.13	42.43	42.89
Short Circuit Current(I <sub>sc</sub> ) [A]	11.32	11.36	11.41	11.45	11.49	11.53
Maximum Power Current(I <sub>mp</sub> ) [A]	10.80	10.84	10.88	10.92	10.96	11.01
Module Efficiency [%]	20.0	20.3	20.5	20.7	20.9	21.2
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of I <sub>sc</sub> (α <sub>Isc</sub> )	+0.044%/°C					
Temperature Coefficient of V <sub>oc</sub> (β <sub>Voc</sub> )	-0.272%/°C					
Temperature Coefficient of P <sub>max</sub> (γ <sub>Pmp</sub> )	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , cell temperature 25°C, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

TYPE	JAM72S20-445/MR	JAM72S20-450/MR	JAM72S20-455/MR	JAM72S20-460/MR	JAM72S20-465/MR	JAM72S20-470/MR
Rated Max Power(P <sub>max</sub> ) [W]	336	340	344	348	352	355
Open Circuit Voltage(V <sub>oc</sub> ) [V]	46.65	46.90	47.15	47.38	47.61	47.84
Max Power Voltage(V <sub>mp</sub> ) [V]	38.95	39.19	39.44	39.68	39.90	40.10
Short Circuit Current(I <sub>sc</sub> ) [A]	9.20	9.25	9.29	9.33	9.38	9.42
Max Power Current(I <sub>mp</sub> ) [A]	8.84	8.88	8.92	8.96	8.99	9.03
NOCT	Irradiance 800W/m <sup>2</sup> , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G					

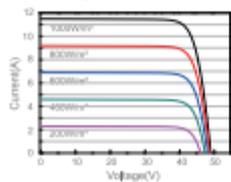
\*For NextTracker installations, Maximum Static Load, Front is 1800Pa while Maximum Static Load, Back is 1800Pa.

OPERATING CONDITIONS

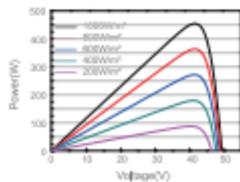
Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Operating Temperature	-40°C~+85°C
Maximum Series Fuse Rating	20A
Maximum Static Load, Front*	5400Pa(112 lb/ft <sup>2</sup> )
Maximum Static Load, Back*	2400Pa(50 lb/ft <sup>2</sup> )
NOCT	45±2°C
Safety Class	Class II
Fire Performance	UL Type 1

CHARACTERISTICS

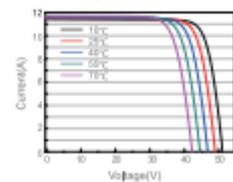
Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Power-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Premium Cells, Premium Modules

Version No.: Global\_EN\_20201118A



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**



***Inversor***

SUN2000-30/36/40KTL-M3  
**Smart PV Controller**



**Inteligente**

Monitorización a nivel de string



**Eficiente**

Eficiencia máxima del 98.7%



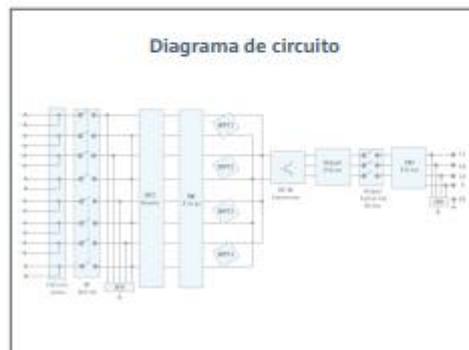
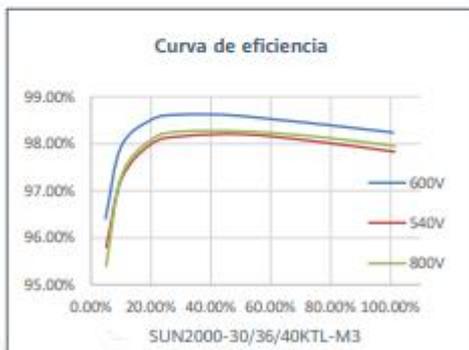
**Seguro**

Diseño sin fusibles



**Confiable**

Descargadores de sobretensión tipo II de CC y CA





SUN2000-30/36/40KTL-M3  
Especificaciones técnicas

Especificaciones técnicas	SUN2000-30KTL-M3	SUN2000-36KTL-M3	SUN2000-40KTL-M3
<b>Eficiencia</b>			
Máxima eficiencia	98.7%		
Eficiencia europea ponderada	98.4%		
<b>Entrada</b>			
Tensión máxima de entrada <sup>1</sup>	1,100 V		
Intensidad de entrada máxima por MPPT	26 A		
Intensidad de cortocircuito máxima	40 A		
Tensión de arranque	200 V		
Rango de tensión de operación <sup>2</sup>	200 V ~ 1000 V		
Tensión nominal de entrada	600 V		
Cantidad de entradas	8		
Cantidad de MPPTs	4		
<b>Salida</b>			
Potencia nominal activa de CA	30,000 W	36,000 W	40,000 W
Máx. potencia aparente de CA	33,000 VA	40,000 VA	44,000 VA
Tensión nominal de Salida	230 Vac / 400 Vac, 3W/N+PE		
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz		
Intensidad nominal de salida	43.3 A	52.0 A	57.8 A
Máx. intensidad de salida	47.9 A	58.0 A	63.8 A
Factor de potencia ajustable	0.8 LG ... 0.8 LD		
Máx. distorsión armónica total	< 3%		
<b>Características y protecciones</b>			
Dispositivo de desconexión del lado de entrada	Si		
Protección anti-ísla	Si		
Protección contra sobreintensidad de CA	Si		
Protección contra polaridad inversa CC	Si		
Monitorización a nivel de string	Si		
Descargador de sobretensiones de CC	Si		
Descargador de sobretensiones de CA	Si		
Detección de resistencia de aislamiento CC	Si		
Monitorización de corriente residual	Si		
Protección ante fallo por arco eléctrico	Si		
Control del receptor Ripple	Si		
Recuperación PID integrada <sup>3</sup>	Si		
<b>Comunicación</b>			
Display	Indicadores LED, WLAN Integrado + FusionSolar APP		
RS485	Si		
Smart Dongle	WLAN/Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE (Opcional) 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Opcional)		
Monitoring BUS (MBUS)	Si (transformador de aislamiento requerido)		
<b>Especificaciones generales</b>			
Dimensiones (Ancho x Profundo x Alto)	640 x 530 x 270 mm (25.2 x 20.9 x 10.6 inch)		
Peso (Kit de herramientas para soporte de suelo incluido)	43 kg (94.8 lb)		
Nivel de Ruido	< 46 dB		
Rango de temperaturas en operación	-25 ~ + 60 °C (-13 °F ~ 140 °F)		
Ventilación	Convección natural		
Max. Altitud de operación	0 - 4,000 m (13,123 ft.)		
Humedad relativa	0% RH ~ 100% RH		
Conector de CC	Staubli MC4		
Conector de CA	Terminal PG impermeable + conector OT/DT		
Grado de Protección	IP 66		
Tipología	Sin transformador		
Consumo de energía durante la noche	≤ 5.5W		
<b>Compatibilidad con optimizador</b>			
Optimizador compatible con DC MBUS	SUN2000-450W-P		
<b>Cumplimiento de estándares (más opciones disponibles previa solicitud)</b>			
Seguridad	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683		
Estándares de conexión a red eléctrica	IEC 61727, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, BDEW, G59/3, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1699, P.O. 12.3, RD 413, EN-50438-Turkey, EN-50438-Ireland, C10/11, MEA, Resolution No.7, NRS 097-2-1, AS/NZS 4777.2, DEWA		

1. El voltaje de entrada máximo es el límite superior del voltaje de CC. Cualquier voltaje DC de entrada más alto probablemente dañará el inversor.  
 2. Cualquier voltaje de entrada de CC más allá del rango de voltaje de funcionamiento puede provocar un funcionamiento incorrecto del inversor.  
 3. SUN2000-30-40KTL-M3 aumenta por encima de cero la tensión entre la PV- y tierra a través de la tecnología de recuperación de PID, con el fin de recuperar la degradación del módulo debido al efecto PID. Compatible con módulos tipo-P (mono, poli), tipo-N (pNKT, sPT).



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS**



**Anexo B – Resultado Simulación PVsyst**



PVsyst V8.0.7

**PVsyst - Simulation report**  
Grid-Connected System

Project: ChinchuñaK\_Proyecto\_17deJulio

Variant: Variante 0 - 30kw - Fijo 15

Tables on a building

System power: 25.20 kWp

Ibarra - Ecuador

Author



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS



Project: ChinchuñaK\_Proyecto\_17deJulio

Variant: Variante 0 - 30kw - Fijo 15

PVsyst V8.0.7  
 VCO, Simulation date:  
 12/03/25 23:44  
 with V8.0.7

General parameters			
Grid-Connected System		Tables on a building	
Orientation #1			
Fixed plane			
Tilt/Azimuth	15 / 45 °	Sheds configuration	
		Nb. of sheds	4 units
		Set of tables	
		Shading limit angle	
		Limit profile angle	18.2 °
		Sizes	
		Sheds spacing	3.74 m
		Collector width	2.11 m
		Average GCR	56.5 %
		Top inactive band	0.02 m
		Bottom inactive band	0.02 m
Models used		Horizon	
Transposition Perez		Free Horizon	
Diffuse Perez, Meteororm			
Circumsolar separate		Near Shadings	
		Linear shadings : Fast (table)	
User's needs			
Unlimited load (grid)			

PV Array Characteristics			
PV module		Inverter	
Manufacturer	JA Solar	Manufacturer	Growatt New Energy
Model	JAM72-G20-450-MR	Model	MAC 30KTL3-XL
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	450 Wp	Unit Nom. Power	30.0 kWac
Number of PV modules	56 units	Number of inverters	3 * MPPT 33% 1 unit
Nominal (STC)	25.20 kWp	Total power	30.0 kWac
Modules	4 string x 14 In series	Operating voltage	200-650 V
At operating cond. (30°C)		Pnom ratio (DC:AC)	0.84
Pmpp	24.80 kWp	No power sharing between MPPTs	
U mpp	574 V		
I mpp	43 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	25 kWp	Total power	30 kWac
Total	56 modules	Number of inverters	1 unit
Module area	124 m²	Pnom ratio	0.84

Array losses			
Thermal Loss factor		DC wiring losses	
Module temperature according to irradiance		Global array res. 203 mΩ	
Uc (const)	20.0 W/m²K	Loss Fraction	1.5 % at STC
Uv (wind)	0.0 W/m²K/m/s	Module Quality Loss	
Module mismatch losses		Loss Fraction -0.8 %	
Loss Fraction	1.0 % at MPP		
IAM loss factor			
Incidence effect (IAM): User defined profile			
0°	30°	50°	65°
70°	75°	80°	85°
90°			
1.000	1.000	0.992	0.943
			0.898
			0.813
			0.677
			0.426
			0.000



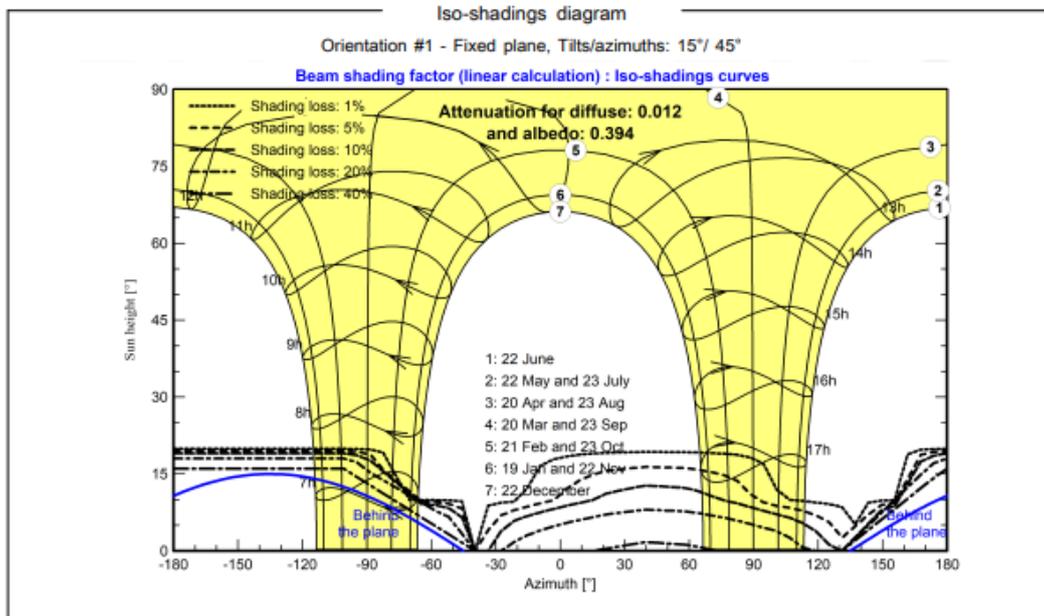
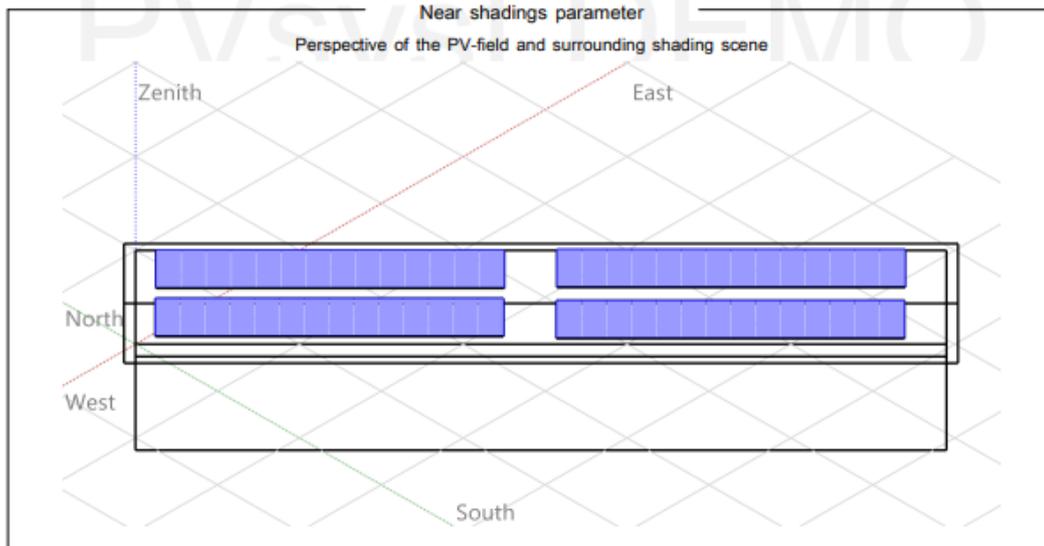
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**



Project: ChinchuñaK\_Proyecto\_17deJulio

Variant: Variante 0 - 30kw - Fijo 15

PVsyst V8.0.7  
 VC0, Simulation date:  
 12/03/25 23:44  
 with V8.0.7





Project: ChinchuñaK\_Proyecto\_17deJulio

Variant: Variante 0 - 30kw - Fijo 15

PVsyst V8.0.7

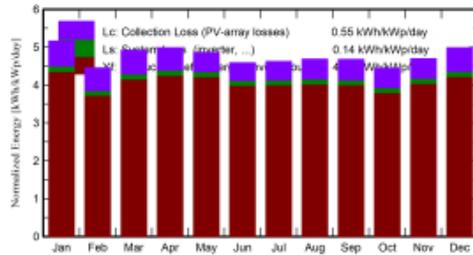
VCO, Simulation date:  
12/03/25 23:44  
with V8.0.7

Main results

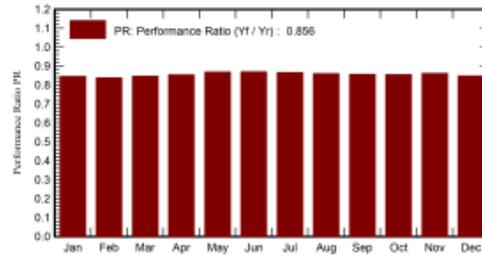
System Production  
Produced Energy 37474 kWh/year

Specific production  
Perf. Ratio PR 1487 kWh/kWp/year  
85.58 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	151.5	64.09	14.74	160.0	155.7	3521	3408	0.845
February	123.5	53.60	14.71	124.7	121.5	2726	2633	0.838
March	155.4	74.83	14.70	152.4	148.0	3358	3250	0.846
April	156.0	72.40	14.42	149.5	145.3	3325	3218	0.854
May	162.1	70.33	14.69	150.8	145.9	3407	3300	0.868
June	154.6	65.26	14.42	137.7	133.0	3121	3020	0.870
July	156.8	65.90	14.78	143.4	138.7	3236	3132	0.867
August	155.2	62.89	14.89	145.2	140.9	3254	3147	0.860
September	143.7	65.29	14.78	140.4	136.4	3133	3030	0.856
October	136.7	65.39	14.82	137.9	134.5	3079	2973	0.856
November	138.8	75.60	14.41	141.0	137.2	3163	3060	0.861
December	146.3	66.04	14.62	154.5	150.4	3415	3303	0.848
Year	1780.8	801.62	14.67	1737.6	1687.5	38738	37474	0.856

Legends

- GlobHor Global horizontal irradiation
- DiffHor Horizontal diffuse irradiation
- T\_Amb Ambient Temperature
- GlobInc Global incident in coll. plane
- GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
- EArray Effective energy at the output of the array
- E\_Grid Energy injected into grid
- PR Performance Ratio



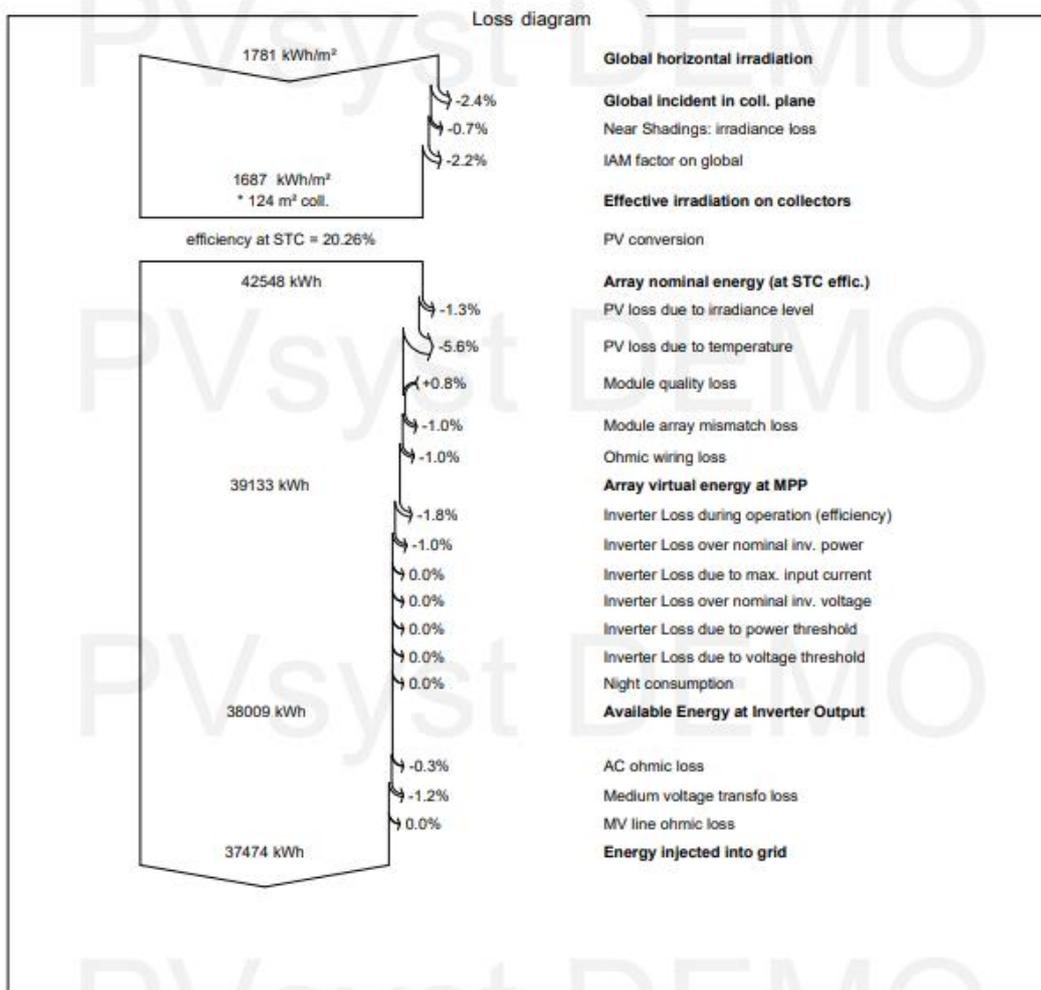
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**



Project: Chinchuñak\_Proyecto\_17deJulio

Variant: Variante 0 - 30kw - Fijo 15

PVsyst V8.0.7  
 VC0, Simulation date:  
 12/03/25 23:44  
 with V8.0.7





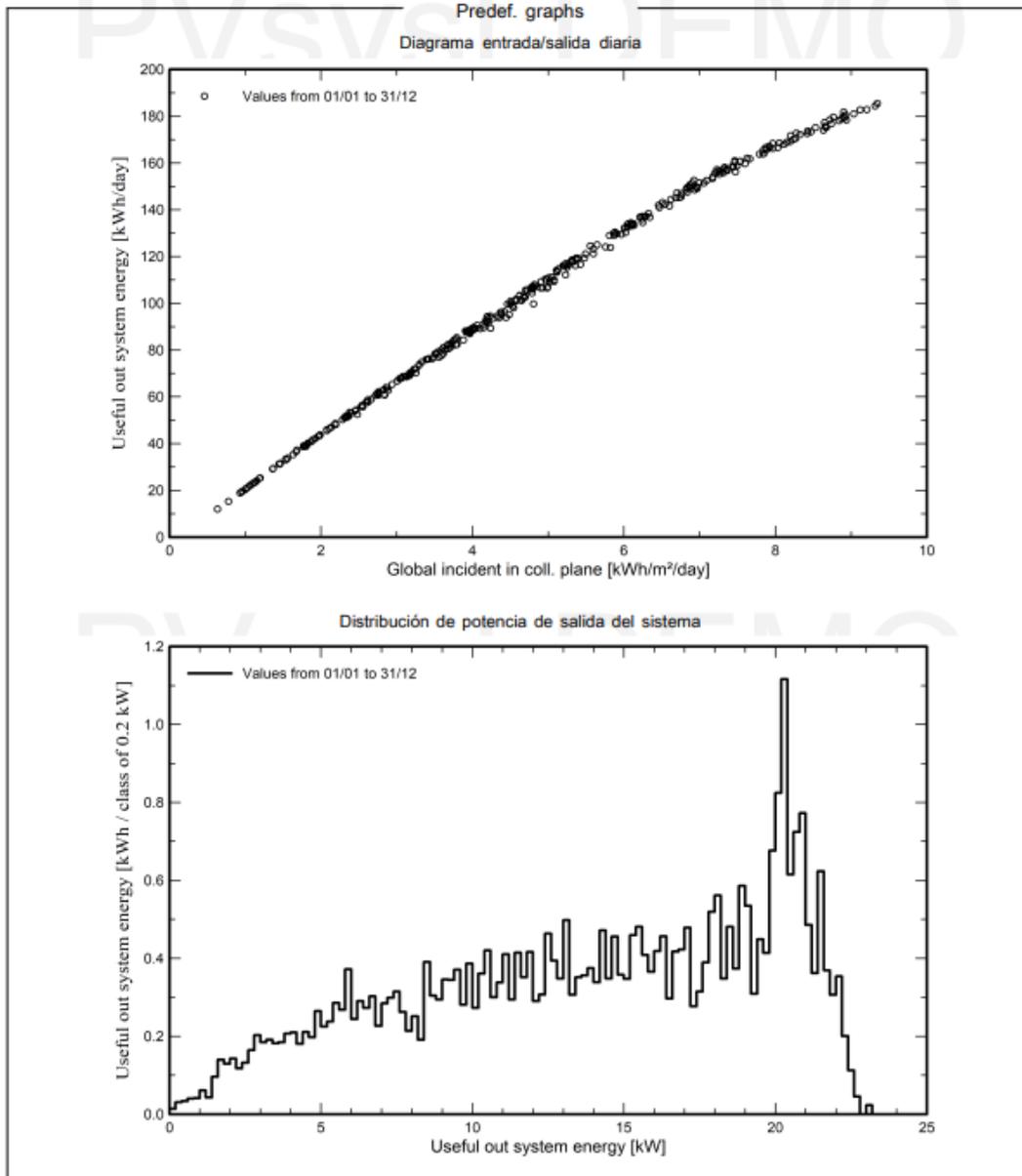
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**



Project: ChinchuñaK\_Proyecto\_17deJulio

Variant: Variante 0 - 30kw - Fijo 15

PVsyst V8.0.7  
 VC0, Simulation date:  
 12/03/25 23:44  
 with V8.0.7





Anexo C – Diagrama Unifilar

