



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS

Diseño de un sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO**

Autor: Bach. Villalobos Amaya, Edinson

<https://orcid.org/0009-0000-0574-0452>

Asesor: Ing. Mejía Vásquez, Eduar Jamis

<https://orcid.org/0000-0002-9018-9569>

Registro: UPA-PITIM0042

Bagua Grande – Perú

2023

Dedicatoria

A mis padres, por sus consejos y apoyo que me han brindado durante todos estos años.
Sin su ayuda, no habría podido lograr esto.

Edinson.

Agradecimiento

A mi asesor Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez, por sus conocimientos brindados durante el desarrollo de esta tesis.

El Autor.

Autoridades universitarias

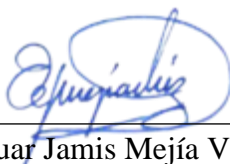
Rector : Dr. Ever Salome Lázaro Bazán
Coordinador de escuela : Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

Visto bueno del asesor

Yo, Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez, docente y coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica Amazónica, dejo constancia de haber asesorado al Bachiller en Ingeniería Mecánica, Villalobos Amaya Edinson, en su tesis titulada “Diseño de un sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica”. Asimismo, se deja constancia que se han levantado las observaciones señaladas en las revisiones previas a esta presentación.

Por lo indicado, doy fe y visto bueno.

Bagua Grande, 26 de agosto de 2023.



Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

Asesor

Jurado evaluador



Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán
Presidente



Mg. Ing. Juan José Castañeda León
Secretario



Mg. Ing. Emilio Periche Chunga
Vocal

Declaración jurada de no plagio

Yo, Edinson Villalobos Amaya, identificado con DNI 70564228, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica Amazónica.

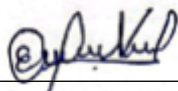
Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada: “Diseño de un sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica”.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra los derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.
6. Se ha respetado las consideraciones éticas en la investigación.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda la responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir todas las cargas pecuniarias que pudiera derivarse para la Universidad Politécnica Amazónica en favor de terceros por motivos de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del cumplimiento de lo declarado, y que encontraren causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias o sanciones civiles y penales que de mi acción deriven.

Bagua Grande, 26 de agosto de 2023.



Bach. Edinson Villalobos Amaya

DNI. 70564228

Resultado del análisis

Archivo: Informe Edinson Villalobos Amaya.docx

Estadísticas



Sospechosas en Internet: 12,09%

Porcentaje del texto con expresiones en internet [▲](#).

Sospechas confirmadas: 6,47%

Confirmada existencia de los tramos en las direcciones encontradas [▲](#).

Texto analizado: 76,08%

Porcentaje del texto analizado efectivamente (no se analizan las frases cortas, caracteres especiales, texto roto).

Éxito del análisis: 100%

Porcentaje de éxito de la investigación, indica la calidad del análisis, cuanto más alto mejor.

Direcciones más relevantes encontradas:

Dirección (URL)	Ocurrencias	Semejanza
https://fips.unsa.edu.pe/eventos-2	20	2,37 %
https://repositorio.upa.edu.pe/handle/20.500.12897/196?show=full	16	2,4 %
https://repositorio.upa.edu.pe/handle/20.500.12897/196	26	2,21 %
https://repositorio.upa.edu.pe/handle/20.500.12897/53	14	2,36 %
https://agradecimientos-tesis.com/ejemplos-agradecimientos-tesis-para-mis-padres/	13	2,31 %
http://article.electricalengineering.com/pdf/ajeee-7-1-1.pdf	13	3,38 %

Texto analizado:

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS

Diseño de un sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

Autor: Bach. Villalobos Amaya, Edinson <https://orcid.org/0009-0000-0574-0452>

Asesor: Ing. Mejía Vásquez, Eduar Jamis <https://orcid.org/0000-0002-9018-9569>

Registro: UPA-PITIM0042

Bagua Grande Perú 2023

Dedicatoria

A mis padres, por sus consejos y apoyo que me han brindado durante todos estos años.

Sin su ayuda, no habría podido lograr esto.

ii

Agradecimiento

A mi asesor Ing. Mejía Vásquez Eduar Jamis, por sus conocimientos brindados durante el desarrollo de esta tesis.

Autoridades universitarias

Rector : Dr. Lázaro Bazán Ever Salome Coordinador de escuela : Ing. Mejía Vásquez Eduar Jamis

Visto bueno del asesor

Yo, Ing. Mejía Vásquez Eduar Jamis, docente y coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica Amazónica, dejo constancia de haber asesorado al Bachiller en Ingeniería Mecánica, Villalobos Amaya Edinson, en su tesis titulada Diseño de un sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica. Asimismo, se deja constancia que se han levantado las observaciones señaladas en las revisiones previas a esta presentación.

Por lo indicado, doy fe y visto bueno.

Bagua Grande, 26 de agosto del 2023.

Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

Asesor

Jurado evaluador

Índice

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Autoridades universitarias.....	iv
Visto bueno del asesor.....	v
Jurado evaluador	vi
Declaración jurada de no plagio.....	vii
Índice.....	ix
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
I. Introducción	1
1.1 Realidad problemática	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.3 Justificación	2
1.3.1 Justificación social	2
1.3.2 Justificación económica	3
1.3.3 Justificación ambiental.....	3
1.3.4 Justificación científica	3
1.4 Hipótesis	3
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo general.....	4
1.5.2 Objetivos específicos	4
II. Marco teórico	5
2.1 Antecedentes de la investigación	5
2.2 Bases teóricas	7
2.2.1 Demanda de energía eléctrica	7
2.2.2 Diseño de sistemas fotovoltaicos	9
2.3 Definición de términos.....	14
III. Materiales y métodos	16
3.1 Diseño de investigación.....	16
3.2 Población, muestra y muestro.....	16

3.3	Determinación de las variables	16
3.4	Fuentes de información	17
3.5	Métodos	17
3.6	Técnicas e instrumentos.....	17
3.7	Procedimiento	18
3.8	Análisis estadístico	19
3.9	Consideraciones éticas.....	19
IV.	Resultados	20
4.1	Determinación de la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado	20
4.2	Estimación de la radiación solar óptima en el campus universitario	23
4.3	Dimensionamiento y selección de cada componente sistema fotovoltaico	25
4.3.7	Cálculo de protecciones eléctricas	32
4.3.8	Cables eléctricos	34
4.3.9	Estructura de soporte para montaje de los paneles fotovoltaicos	34
4.3.10	Topología del sistema fotovoltaico autónomo	35
4.4	Evaluación económica del sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado	36
4.4.1	Costo Nivelado de Energía	39
4.4.2	Costo de potencia pico instalada.....	40
4.4.3	Indicadores económicos.....	40
IV.	Discusión.....	44
	Conclusiones	47
	Recomendaciones.....	49
	Referencias bibliográficas	50
	Anexos.....	53

Índice de tablas

Tabla 1 Resultados de demanda de energía eléctrica diaria del aire acondicionado de la oficina de admisión UPA	23
Tabla 2 Resultado de cálculo del ángulo óptimo de inclinación para la zona de estudio	23
Tabla 3 Radiación solar promedio para para diferentes ángulos de inclinación, y temperatura	24
Tabla 4 Resultados de cálculo del rendimiento global de la instalación fotovoltaica.....	26
Tabla 5 Valores referenciales para la tensión nominal del sistema en función de la potencia	26
Tabla 6 Resultados de cálculo de la potencia pico mínima del generador fotovoltaico	27
Tabla 7 Datos técnicos del inversor seleccionado.....	28
Tabla 8 Parámetros eléctricos del panel fotovoltaico seleccionado	29
Tabla 9 Cálculo rango máximo y mínimo de paneles fotovoltaicos a conectar en serie al inversor	29
Tabla 10 Resultados de cálculo de número de paneles fotovoltaicos, potencia de generación y la selección del mejor arreglo fotovoltaico	30
Tabla 11 Parámetros eléctricos de la batería seleccionada.....	31
Tabla 12 Resultados de cálculo de la capacidad del banco de baterías y cantidad de baterías	32
Tabla 13 Resultados de cálculo de protecciones eléctricas del sistema fotovoltaico.....	33
Tabla 14 Resultados de cálculo de cables eléctricos del sistema fotovoltaico.....	34
Tabla 15 Presupuesto referencial para materiales, equipos e instalación fotovoltaica.....	37
Tabla 16 Costos anuales de mantenimiento del sistema fotovoltaico	38
Tabla 17 Costos de reinversión sistema fotovoltaico	38
Tabla 18 Resultados de cálculo del LCOE para la instalación fotovoltaica	39
Tabla 19 Resultados de cálculo de indicadores económicos, primer escenario	42
Tabla 20 Resultados de cálculo de indicadores económicos, segundo escenario	43

Índice de figuras

Figura 1 Componentes principales acoplados de un sistema fotovoltaico y aire acondicionado por compresión de vapor	11
Figura 2 Comportamiento de la irradiancia a lo largo del día (PSH).....	12
Figura 3 Diseño de la investigación	16
Figura 4 Procedimiento de cálculo para el diseño del sistema fotovoltaico.....	18
Figura 5 Ubicación geográfica de la oficina de admisión UPA.	20
Figura 6 Distribución de ambientes y ubicación de equipos de aire acondicionado en la oficina de admisión UPA	21
Figura 7 Diagrama de carga diario del aire acondicionado de la oficina de admisión UPA....	22
Figura 8 Comportamiento de la radiación solar promedio para diferentes ángulos de inclinación, y temperatura	24
Figura 9 Estructuras de soporte coplanar continuo con salvatejas para cubierta de teja.....	35
Figura 10 Topología del sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión UPA	36

RESUMEN

La investigación tiene como objetivo diseñar un sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica. Se consideró un estudio no experimental, con un diseño descriptivo con propuesta. En función a la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado, se diseña y se selecciona el sistema fotovoltaico. Se explica una visión general del sistema fotovoltaico desde la estimación de la radiación solar óptima, demanda de energía eléctrica hasta el dimensionamiento de cada componente y su evaluación económica. Se dimensionó y se seleccionó el tamaño del campo fotovoltaico, baterías, inversor, conductores, y sistemas de protección eléctrica. También se calcularon los precios de electricidad, el LCOE es de 1.264 S/./kWh para una tasa de descuento del 7 %. Por otra parte, el costo local instalado del sistema fotovoltaico es alto en comparación con el mercado internacional, 3289.24 USD/kWp. El proyecto es no rentable para una tasa de interés para el VAN del 10 %, resulta un VAN negativo de S/.-28810.89, y el TIR 7 %; se evaluó para un segundo escenario, tomando un interés para el VAN de 6 %, el VAN resulta positivo S/. 12662.97, y el TIR 7 %, y se hace rentable al largo plazo, tiempo de recuperación 20.85 años. Desde una perspectiva medioambiental, la energía fotovoltaica es una opción práctica y sostenible para la producción de energía. Esta investigación ayudará a las partes interesadas y consultores a optimizar los sistemas de energía fotovoltaica para satisfacer los requerimientos de energía de los sistemas de aire acondicionado de una manera económicamente viable.

Palabras clave: Diseño, sistema fotovoltaico, demanda, energía eléctrica, aire acondicionado.

ABSTRACT

The objective of the research is to design a photovoltaic system for the demand for electrical energy from the air conditioning of the admission office of the Amazon Polytechnic University. A non-experimental study was considered, with a descriptive design with a proposal. Based on the electrical energy demand of the air conditioning, the photovoltaic system is designed and selected. An overview of the photovoltaic system is explained from the estimation of optimal solar radiation, the demand for electrical energy to the dimensioning of each component and its economic evaluation. The size of the photovoltaic field, batteries, inverter, conductors and electrical protection systems was dimensioned and selected. Electricity prices were also calculated, the LCOE is 1.264 S/./kWh for a discount rate of 7%. On the other hand, the installed local cost of the photovoltaic system is high compared to the international market, 3289.24 USD/kWp. The project is not profitable for an interest rate for the VAN of 10%, resulting in a negative VAN of S/.-28810.89, and the TIR of 7%; It was evaluated for a second scenario, taking an interest for the VAN of 6%, the VAN is positive S/. 12662.97, and the TIR 7%, and it becomes profitable in the long term, recovery time 20.85 years. From an environmental perspective, photovoltaics is a practical and sustainable option for energy production. This research will help interested parties and consultants to optimize photovoltaic energy systems to meet the energy requirements of air conditioning systems in an economically viable way.

Keywords: Design, photovoltaic system, demand, electrical energy, air conditioning.

I. Introducción

1.1 Realidad problemática

La idea del enfriamiento solar surgió sobre la base de la presunción de que la energía solar podría cubrir satisfactoriamente las necesidades de refrigeración de los edificios en épocas calurosas de verano, cuando tanto la radiación solar como la temperatura ambiente alcanzan sus niveles más altos durante el año. La combinación de la energía solar con la refrigeración podría contribuir significativamente a reducir las elevadas demandas de energía de las redes eléctricas y abordar el problema del cambio climático causado por el calentamiento global. En su forma actual, el enfriamiento solar comprende predominantemente el enfriamiento por compresión mecánica, y el enfriamiento por compresión de vapor accionado por un motor eléctrico, y también utilizando absorción solar. A partir de estas diferentes opciones, la tecnología fotovoltaica proporciona la energía para los sistemas de enfriamiento por compresión eléctrica solar, donde dichos sistemas pueden conectarse a las redes de servicios públicos o ser autónomos. Como los sistemas fotovoltaicos también se pueden utilizar para alimentar bombas de calor para calentar espacios dentro de los edificios, el sistema integrado se puede definir más apropiadamente como un acondicionador de aire fotovoltaico (Albatayneh et al., 2021).

El acondicionamiento de espacios, y en particular la refrigeración, es un factor clave en la productividad y el bienestar humanos en todo el mundo. Durante el siglo XXI, se espera que la demanda global de refrigeración o aire acondicionado crezca significativamente debido al aumento de la riqueza y la población en las naciones soleadas de todo el mundo y al avance del calentamiento global. Los mismos lugares que experimentan una gran demanda de refrigeración también son ideales para la generación de electricidad a través de la energía fotovoltaica. A pesar de la aparente sinergia entre la demanda de refrigeración y la generación fotovoltaica, el potencial del sector de la refrigeración para sostener la generación fotovoltaica no se ha evaluado a escala mundial (Laine et al., 2019).

Los beneficios de la microgeneración de bases fotovoltaicas en edificios se estudiaron en el Reino Unido y en otros lugares y demostraron sus beneficios en la reducción del consumo en viviendas, y como una solución de sombra rentable al tiempo que reducen la huella de carbono de los grandes edificios (Alam et al., 2021).

En los últimos años, el consumo de energía para refrigeración esta aumentado en la Bagua Grande, principalmente en instituciones públicas y privadas. Las principales razones para esta creciente demanda de energía para el aire acondicionado de verano son las demandas de confort, así como el tipo de arquitectura; esta creciente demanda es uno de los costos más importantes para los hogares durante el verano. Bagua Grande es uno de los lugares de la Región Amazonas que tiene un clima muy soleado, con una creciente demanda de aire acondicionado en los últimos años en días calurosos de verano; la red eléctrica se enfrenta cada vez más al peligro de sobrecarga debido al uso de acondicionadores de aire, lo que provocaría la interrupción del servicio esencial y un grave impacto económico. El aire acondicionado solar es una de las pocas soluciones proporcionadas para superar la alta demanda del verano y aborda la carga máxima, y lo hace con un impacto ambiental reducido. Los sistemas de aire acondicionado en uso generalmente se construyen alrededor de un sistema de compresión de vapor impulsado por energía de la red eléctrica.

La oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica (UPA), utilizan energía proveniente de la red eléctrica, y presenta problemas de confiabilidad y calidad en el suministro eléctrico por los constantes cortes de energía que se dan, además presenta elevados costos de facturación eléctrica. El aire acondicionado solar podría ser una forma de reducir la demanda de electricidad. Por lo tanto, este trabajo se enfoca el diseño de un sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la UPA; alimentado por energía solar integrado con un sistema fotovoltaico.

1.2 Formulación del problema

¿Se podrá diseñar un sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica?.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación social

El proyecto permitirá que los estudiantes y docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Universidad Politécnica Amazónica conozcan del funcionamiento un sistema fotovoltaico que suministra energía al aire acondicionado, y que sea replicado para suministrar

energía a cargas de aire acondicionado en otras instituciones educativas, de salud, etc, en beneficio de la sociedad.

1.3.2 Justificación económica

Muchas de las veces, el campus universitario adopta sistemas de generación de energía aislado con motor de combustión interna, cuando la energía es inestable o hay cortes de electricidad, y las estimaciones de generación de las energías renovables ha dado un impacto positivo reduciendo costos en la instalación del sistema fotovoltaico. Estos sistemas tienen un costo inicial alto pero duradero y un bajo costo de mantenimiento. Con el proyecto se tendrá una mejor calidad en el suministro de energía eléctrica, y que podrían reducir los costos de facturación eléctrica por cargas de aire acondicionado en la Universidad Politécnica Amazónica.

1.3.3 Justificación ambiental

El campus universitario verde es un paso para la independencia de los combustibles fósiles. El proyecto está enfocado en el autoconsumo sin conexión a la red como vía alternativa al desarrollo de nuevos modelos energéticos en sistemas de aire acondicionado, que ayuda a mitigar los impactos ambientales en la Universidad Politécnica Amazónica.

1.3.4 Justificación científica

Aborda la generación de conocimiento mediante la aplicación de teorías, argumentos físicos y científicos de energía fotovoltaica, esto se confirma al realizar diseño, y evaluación económica rentable al mediano y largo plazo, que le da factibilidad al diseño logrando así contrastar la hipótesis que se propone. Por otra que, el proyecto podría dar un inicio para cumplir con la seguridad energética en instalaciones saludables a nivel local y regional.

1.4 Hipótesis

Se puede diseñar un sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar un sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica.

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la UPA.
- Estimar la radiación solar óptima en el campus universitario de la UPA.
- Dimensionar y selección de cada componente sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la UPA.
- Evaluar económicamente el proyecto para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la UPA.

II. Marco teórico

2.1 Antecedentes de la investigación

Alam et al. (2021) en su investigación “Generación de energía fotovoltaica en tejados residenciales para soportar cargas de refrigeración y objetivos nacionales en Arabia Saudí”. El sector residencial representa alrededor del 50% del consumo total de electricidad y aproximadamente el 70 % del cual se utiliza para cargas de aire acondicionado. Esta investigación investiga el papel de los sistemas fotovoltaicos (PV) en los techos para desplazar las cargas de enfriamiento y, por lo tanto, reducir la demanda de electricidad residencial. Se monitorearon las demandas eléctricas diarias y anuales en una villa en Jeddah, y se modelaron una variedad de sistemas fotovoltaicos para determinar su capacidad para soportar cargas de aire acondicionado y otras cargas domésticas. La demanda eléctrica monitoreada de la villa estuvo en el rango de 66-167 kWh/día, que se utilizó para estimar las capacidades de los sistemas fotovoltaicos requeridos. Los resultados indican que los sistemas fotovoltaicos en el rango de 2-10 kWp presentan un déficit significativo para soportar la demanda total. Sin embargo, se encontró un sistema de 15 kWp para cumplir con las cargas totales diurnas. Estos resultados indican que los sistemas fotovoltaicos de techo de tamaño adecuado pueden reducir las cargas máximas de aire acondicionado.

Albatayneh et al. (2021) en su investigación “Evaluación del acoplamiento de sistemas fotovoltaicos y de aire acondicionado frente a sistemas de refrigeración solar: estudio de caso de Jordania”. Este estudio examinó dos opciones diferentes: un sistema fotovoltaico y aire acondicionado acoplado y un sistema de refrigeración solar (enfriadores de absorción donde la energía térmica es proporcionada por colectores solares) para un país en desarrollo específico ubicado en la región del Mediterráneo Oriental cuyo clima es cálido y seco (Jordania). El sistema de refrigeración constaba de un par de compresores multietapa refrigerados, ambos de 700 kW, mientras que el tamaño del sistema fotovoltaico era de 2.1 MWp, la conexión a la red pública era un medidor neto de 0.4 kV y 50 Hz, y se esperaba que 3300 MWh/año se generaría. El sistema de refrigeración solar operó con un coeficiente de rendimiento (COP) máximo de 0.79 y registró un COP real de 0.32 en el sitio; cuando se consideró la tarifa eléctrica de \$0.1/kWh, los respectivos valores del costo nivelado de energía (LCOE) fueron \$0.9/kWh y

\$2.35/kWh respectivamente. Los hallazgos indican que los costos iniciales para el sistema de enfriamiento solar térmico y el sistema fotovoltaico fueron de aproximadamente \$3.150M y \$3M, respectivamente. El valor actual de los pagos futuros en efectivo cuando se aplicaron descuentos del 6% anual a los pagos por la combinación de energía fotovoltaica y aire acondicionado fue de aproximadamente \$9745000, mientras que el sistema de enfriamiento solar térmico no alcanzará el punto de equilibrio en \$1730 000 negativos. Está claro que el enfriador de absorción no mostró viabilidad económica, mientras que el valor de los sistemas fotovoltaicos y de aire acondicionado acoplados fue inferior a 0.05 USD/kWh.

Chira et al. (2020) en su tesis “Comparativa entre sistemas de captación solar para el diseño y análisis de un sistema de acondicionamiento para un piso de oficinas”. Tuvo como objetivo realizar la comparativa entre sistemas de captación solar para el diseño y análisis de un sistema de acondicionamiento. Llevaron a cabo un estudio exhaustivo de las tecnologías de acondicionamiento de aire y su uso de la energía solar. El cálculo de la carga de refrigeración muestra que se requiere una disipación de calor de aproximadamente 215 kW para el entorno planificado. El diseño del sistema fotovoltaico da como resultado 225 paneles solares para un 60% de autoconsumo, alimentando 16 unidades de aire acondicionado, demostrando un retorno de la inversión a medio plazo. Para el sistema de refrigeración por absorción, el banco de colectores consta de 243 unidades con un retorno de la inversión a largo plazo. En términos de impacto ambiental, el sistema de refrigeración por absorción y los sistemas de aire acondicionado por compresión mecánica reducen alrededor de 149 y 93 toneladas de CO₂ al año, respectivamente. Se concluye que es necesario ver un equilibrio económico y ambiental para tomar una decisión de por qué el sistema de acondicionamiento por compresión impulsado por paneles solares es adecuado para el entorno propuesto, ya que garantiza un retorno de la inversión y reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero.

Melendez (2023) en su tesis “Diseño de un sistema fotovoltaico aislado para la demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica”, tuvo como objetivo diseñar un sistema fotovoltaico aislado para la demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas. Partiendo de las necesidades de energía eléctrica de la oficina académica del pabellón H, se seleccionó y diseñó un sistema fotovoltaico. Este estudio describe la visión general de un sistema solar fotovoltaico partiendo de la evaluación de los recursos solares, los requisitos energéticos hasta la evaluación de las dimensiones y la economía.

Se miden y seleccionan los tamaños de sistemas fotovoltaicos, inversores, baterías, conductores y sistemas de protección eléctrica. Este proyecto no es rentable con una tasa de interés del 10% VAN, VAN -27337,96, TIR 7,35% y B/C 0,79. Para otro escenario se hace rentable al largo plazo (21 años) con un interés para el VAN de 6 %, VAN 12017.30, TIR 7.35%, y B/C 1.09. Por tanto, una fuente de energía fotovoltaica es una solución energética viable desde el punto de vista medioambiental.

Mejía (2019) en su investigación “Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para suministro de electricidad al laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica”. Utilizando datos de la NASA, el recurso solar estimado para la zona oscila entre un mínimo de 3.88 kWh/m²/día en febrero y un máximo de 5.12 kWh/m²/día en noviembre para un ángulo de inclinación óptimo de 5°. El criterio de selección de radiación en el mes más desfavorable fue febrero (3.88 kWh/m²/día). Estima que la carga o consumo eléctrico conectado al laboratorio de Ingeniería Mecánica es de 2944 W, y la demanda eléctrica teórica es de 7056 Wh/día. Los componentes del sistema fueron diseñados para suministrar y cubrir la necesidad de energía eléctrica real en la cantidad de 8980.53 Wh/día o 187.09 Ah/día a una tensión nominal de 48 V. Para la implementación se deben conectar 28 paneles fotovoltaicos con una capacidad de 135 Wh. 04 en serie y 07 en paralelo; un Regulador de carga 85A, 48VCD, 4850W; un inversor monofásico 48V CD/230V CA, 4000W, 60Hz; 24 baterías con capacidad de 85 Ah y voltaje de 12 V CD: 04 en serie y 06 en paralelo.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Demanda de energía eléctrica

La demanda de energía eléctrica se define por la cantidad que se utiliza en un momento dado. Cuanta más electricidad se use en cualquier momento, mayor será la demanda. Por lo tanto, un inventario detallado de todos los dispositivos y su consumo de energía es esencial. El inventario contiene una lista de dispositivos y su cantidad, potencia operativa del dispositivo y horas de trabajo diarias del dispositivo. La potencia operativa y las horas de trabajo diarias de los equipos son información útil para determinar la demanda energética diaria (Twizeyimana y Ndisanga, 2016).

La demanda de energía de la instalación, tiene una correlación directa con algunos parámetros como el tamaño de los módulos fotovoltaicos requeridos para cargar las baterías, la capacidad de las baterías de almacenamiento requeridas para satisfacer las necesidades de los consumidores sin tener que usar un generador en noche o en días oscuros y el cable utilizado en el sistema de distribución (Mbinkar et al., 2021).

a) **Determinación de demanda de energía**

El consenso es agregar la potencia de los equipos que se van a alimentar con el sistema fotovoltaico. Cada dispositivo tiene un consumo de energía fijo que se puede encontrar en los detalles de su placa de identificación. Se deben recuperar estos datos de todos los dispositivos que se van a utilizar. Otros datos que deben ingresarse son el número de cada aparato que se utilizará y el número de horas que se supone que el aparato permanecerá encendido. Al completar los datos requeridos, se determina el total de vatios-hora que se utilizarán, es decir, la energía total consumida o la potencia del sistema fotovoltaico (Khamisani, Liu, Cloward, y Bai, s. f.).

Por otra parte, el consumo de energía eléctrica se refiere a toda la electricidad utilizada para diversos fines, como la producción industrial, equipos eléctricos, iluminación o el uso de dispositivos electrónicos. La electricidad consumida se mide en el punto de entrada del usuario final. Los perfiles de carga diarios se pueden determinar calculando la demanda de energía (kWh/día) para todos los tipos de carga en el establecimiento de salud durante las estaciones (verano e invierno). La tarea fundamental es de identificar los aparatos eléctricos que utilizará en la instalación, y el uso de los aparatos eléctricos durante el año (Hassan et al., 2010). El consumo energía diario se realizan con la Ecuación (1) (Mejía, 2019).

$$E_d = \sum_{i=1}^n P_i \times t_i \quad (1)$$

Donde:

P_i : Potencia nominal del equipo.

t_i : Número de horas al día.

E_d : Consumo de energía medio diario.

Sistemas de aire acondicionado

La eficiencia energética de las unidades de aire acondicionado recientemente desarrolladas ha aumentado significativamente. Utilizan motores de velocidad variable con el fin de maximizar la eficiencia del flujo de aire operando a diferentes velocidades para corresponder con la salida y también incluyen un interruptor automático de retardo del ventilador para que cualquier aire frío residual pueda ser empujado hacia el interior del edificio para ser reutilizado. Las válvulas de expansión térmica limitan el flujo de refrigerante cuando es necesario para minimizar el consumo de energía. Los acondicionadores de aire vienen en cinco tipos diferentes, cada uno con un propósito diferente: Aire acondicionado central básico, sin conductos (aires acondicionados mini-split), unidad portátil, unidad de ventana y unidad portátil y de ventana (híbrido). La opción de aire acondicionado menos costosa es una unidad de aire acondicionado portátil o de ventana para enfriar una habitación individual. Los acondicionadores de aire mini-split ofrecen rentabilidad cuando solo se deben enfriar algunas habitaciones u oficinas. Una alternativa más costosa es la unidad central de aire acondicionado, que es más adecuada para edificios grandes con varias habitaciones (Albatayneh et al., 2021).

Refrigerantes naturales, es decir, no sintéticos, pueden utilizarse como refrigerantes en sistemas de aire acondicionado. Los sistemas de acondicionamiento incluyen varios hidrocarburos naturales, dióxido de carbono, amoníaco y agua. Son sustitutos de los refrigerantes artificiales clorofluorocarbono (CFC), hidrofluorocarbono (HFC) e hidroclorofluorocarbono (HCFC) (Albatayneh et al., 2021).

2.2.2 Diseño de sistemas fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos son simplemente un componente de los sistemas fotovoltaicos. Para operar los paneles fotovoltaicos de manera efectiva, se necesita una variedad de partes adicionales del sistema conocidas como balance de sistema. Los paneles fotovoltaicos, los inversores, las baterías, los controladores de carga y los cables son algunas de las piezas estándar de los sistemas fotovoltaicos. La composición de cualquier sistema fotovoltaico está determinada por el tipo de carga que alimenta y, lo que es más importante, si se trata de un sistema aislado o conectado a la red (Samaila et al., 2022).

Para el diseño se utiliza métodos, que son procedimientos, técnicas, ayudas o herramientas que proporcionan una amplia variedad de actividades que los diseñadores pueden

utilizar durante todo el proceso de diseño. Para determinar las dimensiones de un sistema fotovoltaico independiente, primero se deben determinar los requisitos óptimos de radiación y potencia; luego el diseño de cada componente del sistema fotovoltaico, como: subsistema de generación, subsistema de almacenamiento de energía, subsistema de regulación o control, subsistema de potencia (unidad inversora), y subsistemas de protección eléctrica y cables eléctricos (Ndagijimana y Kunjithapathan, 2019).

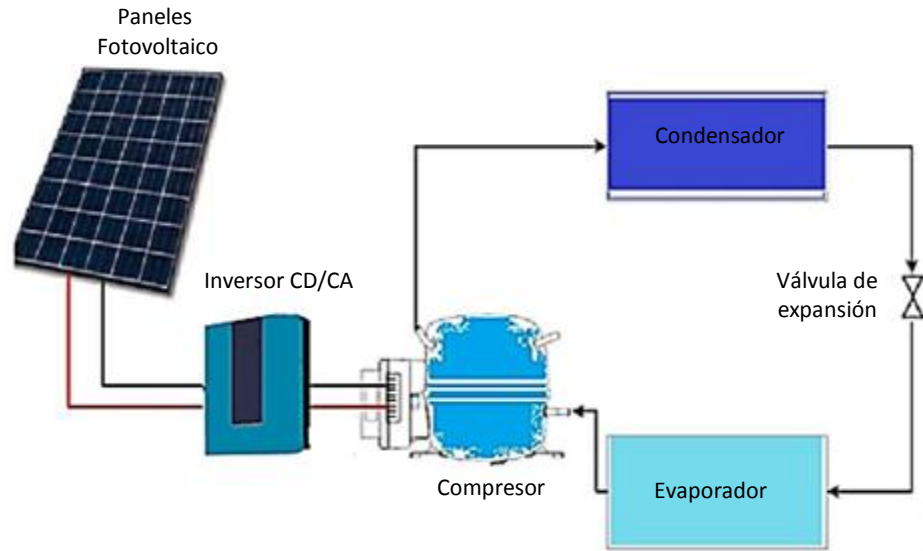
Para sistemas fotovoltaicos aislados de baja potencia, se recomienda el acoplamiento de CD. Para los sistemas híbridos fotovoltaicos, el modo de acoplamiento depende del rango de potencia de la carga y del fabricante del inversor. La eficiencia general del sistema es mayor con el acoplamiento de CD si la carga promedio principal ocurre durante la noche, y con el acoplamiento de CA si la carga promedio principal ocurre durante el día (International Energy Agency-IEA, 2014).

Energía fotovoltaica y aire acondicionado combinados

Las eficiencias fotovoltaicas más comunes son de alrededor del 15 al 20 %, mientras que algunas de alta calidad, los paneles pueden superar el 22% de eficiencia. La eficiencia de la tecnología fotovoltaica ha aumentado y el costo se ha reducido en los últimos años debido a las instalaciones a gran escala. El módulo fotovoltaico c-Si tiene alrededor del 75% de participación en el mercado de la tecnología fotovoltaica. Se espera que los precios de los sistemas fotovoltaicos disminuyan un 60 % en la próxima década. Se tienen sistemas donde la fuente principal es fotovoltaica, mientras que la red eléctrica actúa como respaldo durante los períodos sin luz solar, donde el sistema cambia automáticamente entre fuentes, asegurando que el suministro de energía no se interrumpiera. Se pueden utilizar en el modo de aire acondicionado además de los modos de calefacción (Albatayneh et al., 2021). En la Figura 1, se muestra los componentes principales acoplados de un sistema fotovoltaico y aire acondicionado.

Figura 1

Componentes principales acoplados de un sistema fotovoltaico y aire acondicionado por compresión de vapor



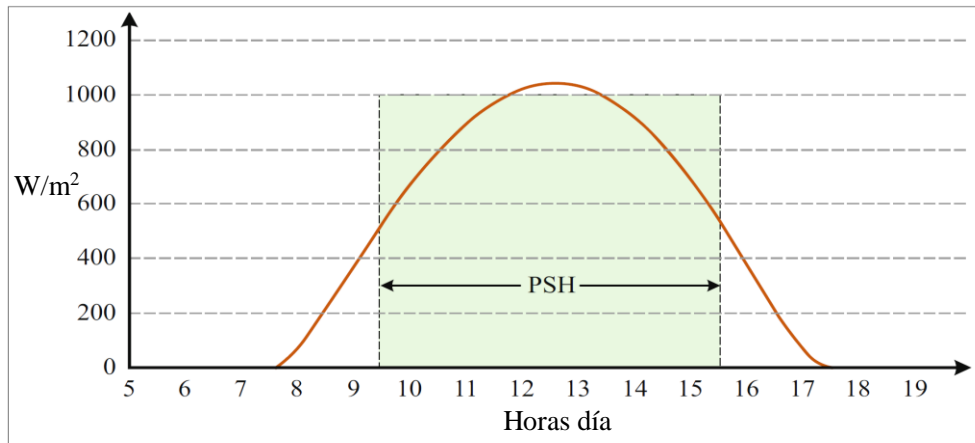
Nota. Topología de sistema fotovoltaico suministrando energía a una carga de aire acondicionado. Adecuado de (Albatayneh et al., 2021). El sistema no incluye almacenamiento.

a) Radiación solar

La irradiancia solar es la cantidad de radiación solar que incide realmente en una superficie específica, como un módulo solar fotovoltaico, y se mide en kilovatios por metro cuadrado (kW/m^2). La superficie que es perpendicular a la dirección del sol recibe una irradiancia solar máxima, en comparación con otras superficies que miran hacia el sol en otros ángulos. En principio, las células fotovoltaicas utilizan principalmente radiación visible. La insolación es la cantidad de radiación solar que golpea una superficie en un período de tiempo específico. Por ejemplo, cuando una superficie recibe 3.5 horas pico de sol al día, recibe 3.5 horas a 1000 W/m^2 . Por tanto, la irradiancia solar se puede medir de dos formas: por Horas Sol Pico (PSH) diarias o kilovatios-hora por metro cuadrado por día ($\text{kWh/m}^2/\text{día}$) (International Energy Agency-IEA, 2014).

Figura 2

Comportamiento de la irradiancia a lo largo del día (PSH)



Nota. Las PSH varían de un lugar a otro, incluso en un lugar concreto varía cada día, y normalmente se calcula la media mensual.

La disponibilidad de irradiación solar es el factor principal para considerar un escenario de sistema fotovoltaico. A menudo, el mes con la insolación solar más baja se considera un mes de referencia para el diseño. Hay varios recursos que proporcionan datos completos sobre la irradiación solar diaria. La Administración de Aeronáutica y del Espacio (NASA) proporciona un portal en línea que muestra una base de datos mensual detallada sobre mediciones satelitales (International Energy Agency-IEA, 2014).

El tamaño y la orientación del PV en términos de irradiación solar, se requiere que el PV entregue energía eléctrica en la carga máxima. Para una generación de energía eléctrica óptima, la posición del sol y la orientación de la superficie fotovoltaica son esenciales para el diseño del sistema solar, por lo que la orientación del panel es crucial dentro del diseño del sistema fotovoltaico (Beitelmal et al., 2022).

b) Energía fotovoltaica

La energía solar se refiere a la conversión de la radiación solar en energía práctica como la electricidad. Los sistemas fotovoltaicos o células solares se utilizan para convertir la luz solar directamente en electricidad. La luz solar está formada por fotones de diferente cantidad de energía dependiendo de sus longitudes de onda (Bernard, 2014). La energía solar fotovoltaica (PV) es una estrategia importante para descarbonizar el sector energético y reducir los daños a la salud, el medio ambiente y el cambio climático asociados con la

producción de electricidad a partir de fuentes de combustibles fósiles (Hanus et al., 2019).

c) Evaluación económica

El costo actual incorpora el costo de capital, el costo de reemplazo y la operación y mantenimiento de todo el sistema durante el ciclo de vida del proyecto. La evaluación económica de un proyecto implica una medida de sus beneficios netos en términos monetarios (Beitelmal et al., 2022).

Costos de energía eléctrica

En general, para cualquiera de los sistemas, el costo de la energía depende del tamaño del sistema. Una mayor capacidad del sistema reduce el costo de energía. Pero, también aumentará el costo de inversión (Mahmud, 2010). El Costo Nivelado de Generación de Electricidad (LCOE), representa el costo de un sistema de generación de energía durante su vida útil. Por otra parte, es el precio de la electricidad requerida para un proyecto en el que los ingresos serían iguales a los costos, incluido el rendimiento del capital invertido igual a la tasa de descuento. Un precio de la electricidad por encima de este generaría una mayor rentabilidad del capital, mientras que un precio inferior generaría una menor rentabilidad del capital o incluso una pérdida. Por lo tanto, los costos de un sistema fotovoltaico autónomo incluyen costos de adquisición, costos operativos, costos de mantenimiento y costos de reemplazo (Derbie, 2019).

Indicadores economicos

El desempeño financiero o económico del proyecto se puede prever sobre la base de determinantes económicos (Akbar et al., 2015). Al conocer el precio de la energía eléctrica, el análisis continua calculando el valor de la ganancia, el flujo de caja y los parámetros económicos, es decir, el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), y Periodo de Recuperación (Wresta et al., 2015).

El Valor Actual Neto (VAN), definido paramétricamente como la suma algebraica de los flujos de efectivo, actualizados a la tasa de costo de capital, dados los ingresos y gastos durante el período de evaluación; un proyecto se considera económicamente viable si el VAN alcanzado es mayor o igual a cero, ya que los gastos actualizados serán menores que los ingresos actualizados. La Tasa Interna de Retorno (TIR), representa la tasa de descuento correspondiente al valor presente de los ingresos y el valor presente de los gastos, es decir

esto conduce a un VAN igual a cero; si la TIR lograda es mayor que el retorno de la inversión requerido, el proyecto se considera económicamente viable, ya que el proyecto proporciona una rentabilidad superior al requisito mínimo (Valdés et al., 2020).

2.3 Definición de términos

Demanda de energía eléctrica

La demanda de energía eléctrica se define por la cantidad que se utiliza en un momento dado. Cuanta más electricidad se use en cualquier momento, mayor será la demanda (Twizeyimana y Ndisanga, 2016).

Energía eléctrica

La energía eléctrica utilizada, se mide como la potencia en un período de tiempo determinado (Wh). Muchos dispositivos que se encienden durante un período breve de tiempo pueden usar la misma cantidad de energía que un dispositivo que se enciende durante un período prolongado (Beatty et al., 2017).

Diseño de sistemas fotovoltaicos

Un conjunto de estudios necesarias destinadas a encontrar la solución ideal a un problema particular, pero se intenta realizar esta actividad en la mayor medida posible, y que corresponde al diseño de cada componente del sistema fotovoltaico (Ndagijimana y Kunjithapathan, 2019). La composición de cualquier sistema fotovoltaico está determinada por el tipo de carga que alimenta y, lo que es más importante, si se trata de un sistema fuera de la red o conectado a la red (Samaila et al., 2022).

Radiación solar

Es la cantidad de radiación solar que incide realmente en una superficie específica, como un módulo solar fotovoltaico, y se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2) medido como irradiancia. Así mismo, la irradiación solar se puede medir de dos formas: por Horas Sol Pico (HSP) diarias o kilovatios-hora por metro cuadrado por día ($kWh/m^2/día$) (International Energy Agency-IEA, 2014).

Energía fotovoltaica

La energía solar se refiere a la conversión de la radiación solar en energía práctica como la electricidad. Los sistemas fotovoltaicos o células solares se utilizan para convertir la luz solar directamente en electricidad (Bernard, 2014).

Evaluación económica

La evaluación económica de un proyecto implica una medida de sus beneficios netos en términos monetarios. Una evaluación económica se realiza, comenzando con el cálculo del capital de trabajo, costos de inversión y costos operativos necesarios para operar el proceso de producción (Wresta et al., 2015).

Costos de energía eléctrica

En general, para cualquiera de los sistemas, el costo de la energía depende del tamaño del sistema (Mahmud, 2010).

LCOE

Representa el costo de un sistema de generación de energía durante su vida útil. Es el precio de la electricidad requerida para un proyecto en el que los ingresos serían iguales a los costos, incluido el rendimiento del capital invertido igual a la tasa de descuento (Derbie, 2019).

Indicadores económicos

El desempeño financiero o económico del proyecto se puede prever sobre la base de determinantes económicos (Akbar et al., 2015). Los indicadores son el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), y el Periodo de Recuperación (Wresta et al., 2015).

Sistemas de aire acondicionado

La unidad recoge aire caliente en un espacio determinado y luego la procesa con gas refrigerante para liberar aire frío. Los acondicionadores de aire vienen en cinco tipos diferentes, cada uno con un propósito diferente: Aire acondicionado central básico, sin conductos (aires acondicionados mini-split), unidad portátil, unidad de ventana y unidad portátil y de ventana (híbrido) (Albatayneh et al., 2021).

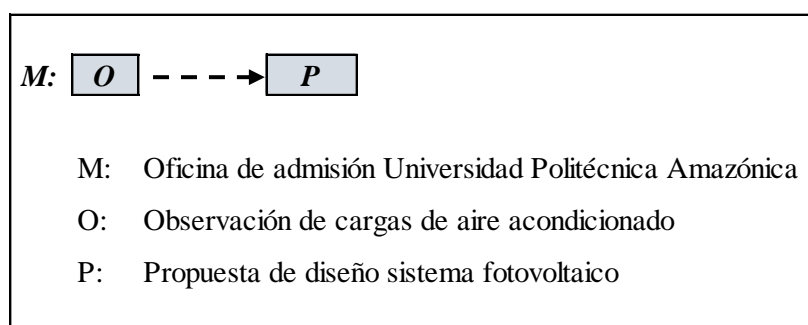
III. Materiales y métodos

3.1 Diseño de investigación

El diseño de investigación es la transformación de las preguntas y la hipótesis de investigación en las estrategias para: seleccionar a los participantes, aplicar el tratamiento, utilizar los instrumentos de medición, recoger los datos, etc (Gonzales, 2021). Se consideró una investigación no experimental (campo gabinete), con un nivel de investigación descriptiva. El diseño de la investigación es descriptivo con propuesta.

Figura 3

Diseño de la investigación



Nota. Diseño de investigación descriptivo con propuesta

3.2 Población, muestra y muestro

La población, es el conjunto de sujetos, infraestructuras, equipos, herramientas e incluso material audiovisual de los que se desea conocer algo en una investigación. Por otra parte la muestra, es un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación. La muestra es una parte representativa de la población (Gonzales, 2021).

- Población: Oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica
- Muestra: Oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica, año 2022.
- Muestreo: No probabilístico por conveniencia del investigador.

3.3 Determinación de las variables

- Variable independiente: Diseño sistema fotovoltaico.
- Variable dependiente: Demanda energía eléctrica.

3.4 Fuentes de información

La fuente de información primaria, se basan en materiales originales en los que se basan otras investigaciones; y las fuentes secundaria en la interpretación, comentario o análisis de otras fuentes (Ñaupas et al., 2018). Para la investigación la recolección de datos de campo, son cargas eléctricas del aire acondicionado de la oficina de admisión de la UPA. Así mismo para el trabajo en gabinete (formulación, cálculos y diseño), también se obtuvo datos de radiación solar disponibles del aplicativo de la NASA.

3.5 Métodos

El interés en cualquier campo del conocimiento científico radica en la capacidad de formular hipótesis, leyes y teorías para lograr una comprensión más amplia y profunda del surgimiento, desarrollo y transformación de los fenómenos. La inducción se refiere al movimiento del pensamiento de hechos específicos a declaraciones de carácter general. Significa partir de los resultados de la observación o experimentación (siempre involucrando un número limitado de casos), formular hipótesis, leyes y teorías que abarquen no solo el caso en el que se parte, sino también otros casos del mismo tipo. Es decir, generalizar los resultados. La deducción es un método que nos permite inferir hechos específicos a partir de enunciados generales, proviene de deducción, que significa descender (Ruiz, 2007).

Para la investigación se utilizó método inducción-deducción. El método inductivo primero ve el problema (demanda de energía eléctrica del aire acondicionado). La deducción ve hechos específicos, como las características específicas y funcionamiento de cada componente del sistema fotovoltaico.

3.6 Técnicas e instrumentos

Las fichas de observación permiten al investigador registrar la situación o los eventos observados durante la investigación. Los investigadores a menudo deben usar cámaras de video para registrar eventos que no son fácilmente visibles. También está el análisis de documentos, donde el investigador recopila información de cuadros, informes, etc. No es necesaria la revisión estadística del caso por expertos (Gonzales, 2021). Para investigación se utilizó la técnica de observación, y de análisis documental.

- **Las técnicas de observación**

Instrumento. Guía de observación de cargas eléctricas de aire acondicionado.

- **La técnica de análisis de documentos**

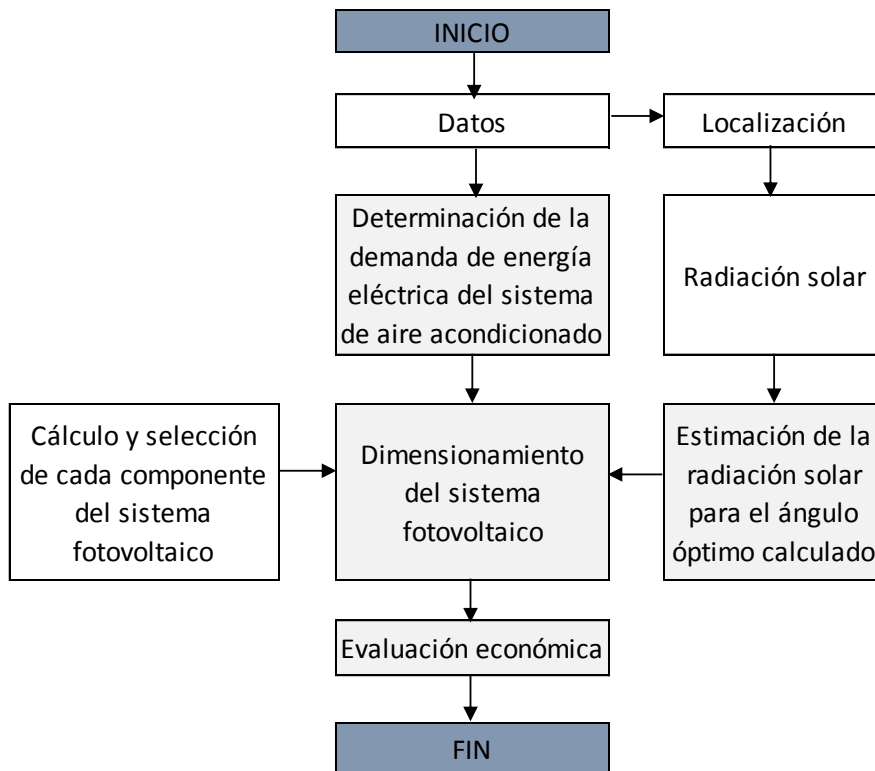
Instrumento: Ficha de registro de radiación solar y temperatura.

3.7 Procedimiento

En la Figura 4, se muestra el procedimiento de cálculo para el diseño del sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión UPA.

Figura 4

Procedimiento de cálculo para el diseño del sistema fotovoltaico



Nota. Procedimiento de cálculo de acuerdo a objetivos planteados.

El procedimiento se determina en cuatro partes, la primera es la determinación de demanda o consumo de energía eléctrica, determinación de la radiación solar, dimensionamiento del sistema fotovoltaico aislado (cálculo de parámetros eléctricos, y

selección de componentes), tomando en cuenta procedimientos y normativa vigente; por último se realizó una evaluación económicamente del sistema fotovoltaico propuesto.

3.8 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se realizó con estadística descriptiva, donde se analizan los datos recolectados de cargas eléctricas de aire acondicionado y radiación solar para la zona de estudio, para posteriormente describir su comportamiento en el contexto de la investigación. Esta descripción se realizó mediante tablas y figuras, medidas numéricas utilizando el Excel.

3.9 Consideraciones éticas

Se consideraron las directrices éticas internacionales para la investigación. La tesis está libre de plagio en todo o en parte y se adhiere a los estándares internacionales de citas y bibliografías de las fuentes consultadas y referidas. Asimismo, no infringe los derechos de terceros.

IV. Resultados

4.1 Determinación de la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado

La zona de estudio comprende la oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica, que está ubicado aproximadamente a -78.44937 de longitud y -5.74646 de latitud, con una altitud de 436 m.s.n.m. En la Figura 5, se muestra la ubicación geográfica de la oficina de admisión de la UPA.

Figura 5

Ubicación geográfica de la oficina de admisión UPA.

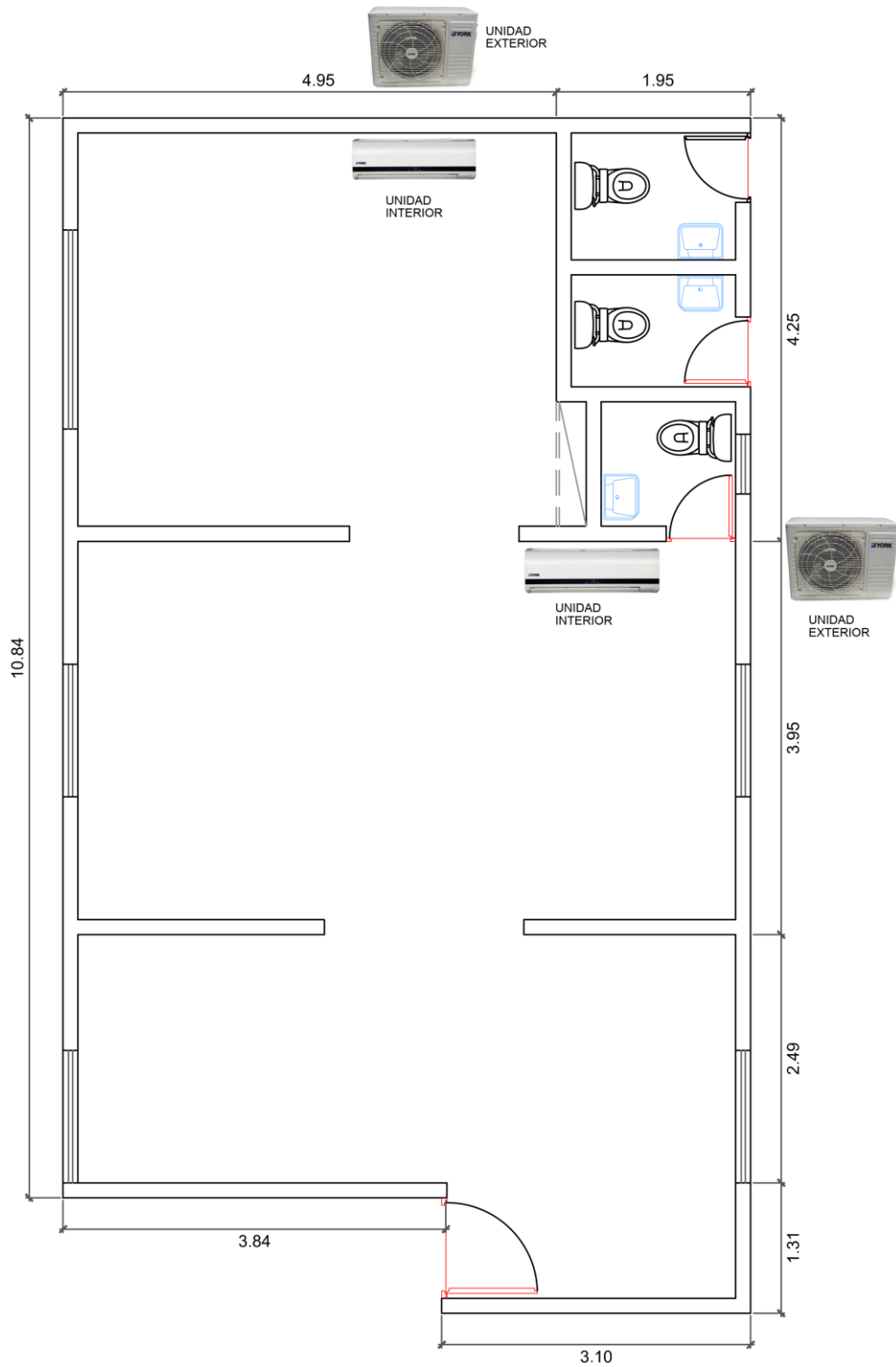


Nota. Adaptado de Google Maps.

En la Figura 6, se muestra la distribución de ambientes, y ubicación de los equipos de aire acondicionado de la oficina de admisión de la UPA.

Figura 6

Distribución de ambientes y ubicación de equipos de aire acondicionado en la oficina de admisión UPA



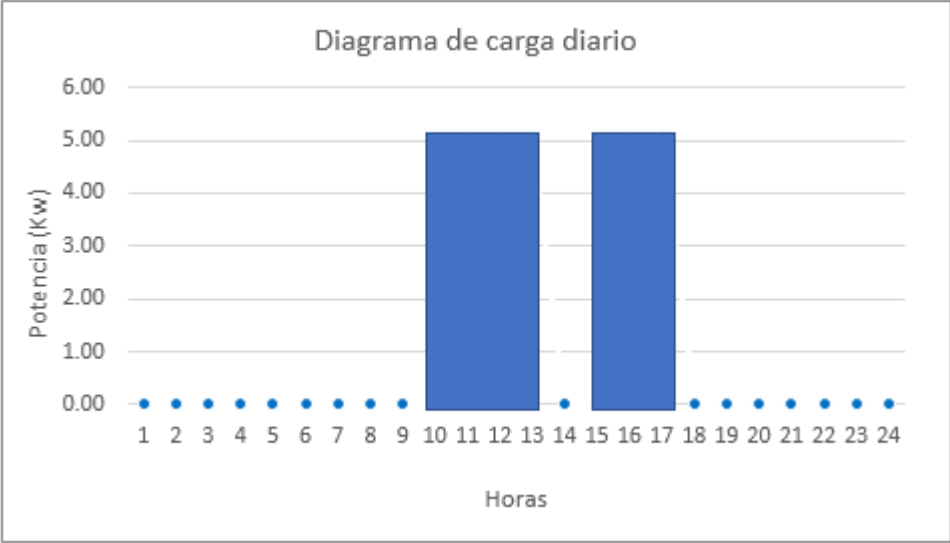
Nota. Distribución de ambientes, y ubicación de equipos de aire acondicionado.

Tomando las potencias de cada equipo del aire acondicionado se determinó la potencia instalada, así mismo la demanda de energía eléctrica se determinó tomando en cuenta la utilización de cada carga de aire acondicionado y la diversidad del uso (operación no simultánea de todas las cargas de determinado grupo). En condiciones de operación normal, la potencia consumida por una carga en algunas veces es menor que la indicada a su potencia nominal, para la investigación se ha tomado un factor de utilización de uno, ya que el motor eléctrico del compresor necesita de una corriente máxima de arranque. Asimismo de acuerdo al diagrama de carga (Figura 7), las dos unidades de aire acondicionado funcionan simultáneamente en los horarios de trabajo.

En la Tabla 1, se muestra los resultados de cálculo de la demanda de energía eléctrica diaria del aire acondicionado de la oficina de admisión. Se obtuvo una máxima demanda eléctrica de 5.05 kW, y una demanda de energía eléctrica de 25.25 kWh/día.

Figura 7

Diagrama de carga diario del aire acondicionado de la oficina de admisión UPA



Nota. Diagrama de carga diario del aire acondicionado de acuerdo a horas de trabajo de la Oficina de admisión.

Tabla 1

Resultados de demanda de energía eléctrica diaria del aire acondicionado de la oficina de admisión UPA

Ítem	Equipos de aire acondicionado	Marca/Modelo	Cargas eléctricas	Cant.	Potencia unitaria (W)	Potencia instalada (W)	Horas día	f.u	Energía diaria (kWh)
I	Unidad interior								
1.1	Evaporador	York/ YSEA24FS- ADK	Motor eléctrico del evaporador	2	40.00	80.00	5	1.00	0.40
II	Unidad exterior								
2.1	Compresor de vapor rotativo	York/ YSDA24FS- ADK	Motor eléctrico del compresor de vapor rotativo	2	2455.00	4910.00	5	1.00	24.55
2.2	Condensador		Motor eléctrico del condensador	2	30.00	60.00	5	1.00	0.30
Energía diaria (kWh/día)									25.25

Nota. f.u: Factor de utilización. Cargas de aire acondicionado con suministro de energía eléctrica 220 V CA, 60 Hz. Capacidad de enfriamiento de cada unidad 24000 BTU/h, refrigerante R-22.

4.2 Estimación de la radiación solar óptima en el campus universitario

Para Pareja (2016), el cálculo del ángulo óptimo anual ($\beta_{\text{óptimo}}$) en función de la latitud de la zona de estudio (ϕ), se determinan con la Ecuación (2). Los resultados se muestran en la Tabla 2.

$$\beta_{\text{óptimo}} = 3.7 + 0.69|\phi| \quad (2)$$

Donde,

$\beta_{\text{óptimo}}$: Ángulo óptimo de inclinación

ϕ : Latitud.

Tabla 2

Resultado de cálculo del ángulo óptimo de inclinación para la zona de estudio

Parámetros	Valores
Ángulo óptimo de inclinación ($\beta_{\text{óptimo}}$)	7.67°
Latitud zona de estudio (ϕ)	5.7465°

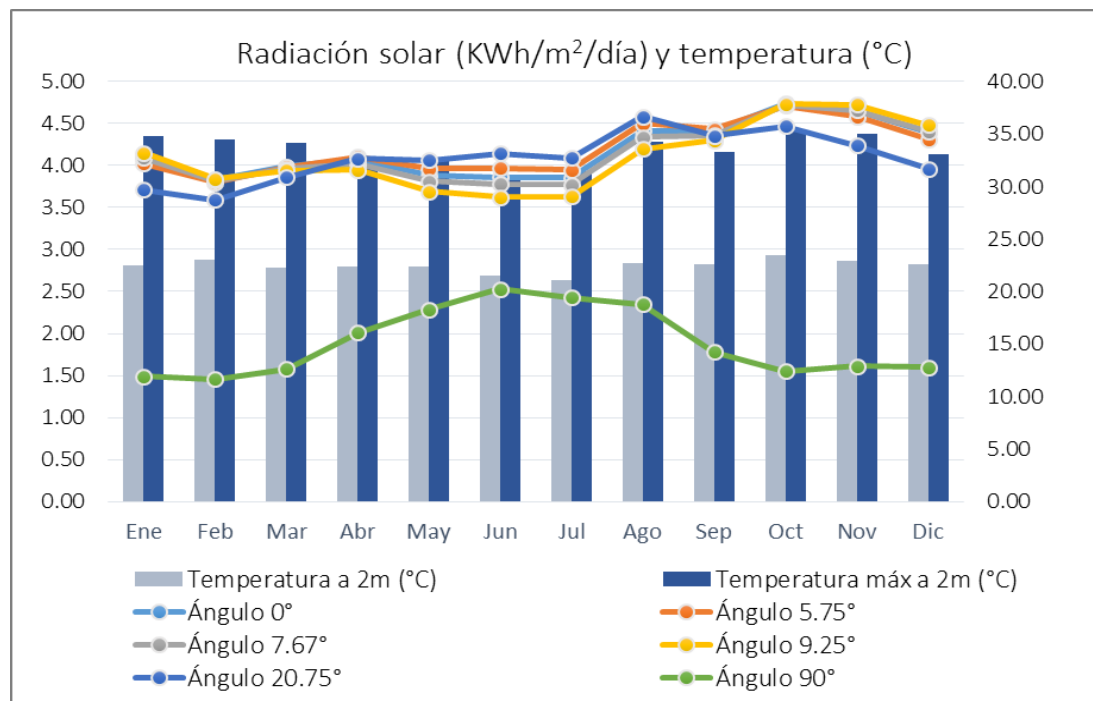
Tabla 3*Radiación solar promedio para para diferentes ángulos de inclinación, y temperatura*

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Ángulo 0°	4.09	3.83	3.99	4.07	3.88	3.86	3.85	4.41	4.41	4.74	4.65	4.40
Ángulo 5.75°	4.02	3.80	3.98	4.10	3.96	3.97	3.95	4.50	4.43	4.71	4.58	4.31
Ángulo 7.67°	4.09	3.82	3.96	4.02	3.81	3.78	3.77	4.34	4.36	4.72	4.66	4.40
Ángulo 9.25°	4.15	3.84	3.94	3.95	3.69	3.62	3.63	4.20	4.30	4.73	4.72	4.48
Ángulo 20.75°	3.71	3.59	3.86	4.08	4.06	4.14	4.09	4.58	4.35	4.47	4.24	3.96
Ángulo 90°	1.49	1.46	1.58	2.01	2.29	2.53	2.43	2.35	1.78	1.55	1.61	1.60
Temperatura a 2m (°C)	22.45	23.03	22.24	22.38	22.38	21.53	21.08	22.68	22.62	23.42	22.96	22.61
Temperatura máx. 2m (°C)	34.80	34.49	34.19	32.43	32.66	31.08	31.40	34.25	33.25	35.30	35.02	33.08

Nota. Adaptado de datos NASA (2020-2021). Radiación para el ángulo óptimo calculado (7.67°) obtenido por interpolación (kWh/m²/día), y temperatura a 2m (°C).

Figura 8

Comportamiento de la radiación solar promedio para diferentes ángulos de inclinación, y temperatura



Nota. Adecuados de datos NASA (2020-2021).

La inclinación del ángulo óptimo ($\beta_{\text{óptimo}}$) calculado resultó 7.67° . Tomando los datos obtenidos de la NASA para diferentes ángulos de inclinación (Tabla 3), se puede verificar que el ángulo óptimo calculado se encuentra entre los ángulos 5.75° y 9.25° . Según Mejía (2019), se debe aplicar el criterio del mes más desfavorable durante el año y seleccionado el ángulo más cercano al óptimo que ofrezca mayor radiación. Por motivos que el mes más desfavorable para los ángulos cercanos al óptimo, se dan en diferentes meses, como un mejor criterio se interpoló y seleccionó la radiación en el mes más desfavorable; como resultado se obtuvo $3.77 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ para julio (7.67°). Por otra parte en la zona de estudio se tiene temperaturas promedio de 22.45°C , y temperaturas máximas promedio de 33.50°C .

4.3 Dimensionamiento y selección de cada componente sistema fotovoltaico

Con la demanda de energía eléctrica calculada, y la radiación solar optima; se procede a calcular el rendimiento de la instalación, selección de la tensión de generación, y el dimensionamiento de cada componente del sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado.

4.3.1 Cálculo de pérdidas y rendimiento de la instalación

Para determinar la energía que debe ser aportada desde la matriz fotovoltaica, se debe tener en cuenta las posibles pérdidas presentes en la instalación (Pareja, 2016). El rendimiento en función a las pérdidas totales, se determina con la Ecuación (3).

$$R_{Global} = \left[1 - (K_B + K_C + K_R + K_X) \right] \left[1 - \frac{D_{aut} \cdot K_A}{P_D} \right] \quad (3)$$

Donde:

K_B : Coeficiente de pérdidas por rendimiento de la batería (5 %)

K_C : Pérdidas por el rendimiento del inversor (oscilan entre 20 % y 5%)

K_R : Pérdidas en el controlador de carga (15 %)

K_X : Otras pérdidas no consideradas anteriormente (efecto joule, etc) (10%)

K_A : Fracción de energía que se pierde por autodescarga de la batería (0.5 %)

D_{aut} : Días de autonomía

P_D : Profundidad máxima de descarga admisible de la batería (60 %).

Según Pareja (2016), cuando se tiene instalaciones con cargas de 220 V en CA, se puede dejar como incógnita los días de autonomía ($D_{aut.}$) y las pérdidas con rendimiento del inversor (K_C). Para la investigación, los resultados del rendimiento global de la instalación fotovoltaica se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4

Resultados de cálculo del rendimiento global de la instalación fotovoltaica

Descripción	Valores
Coefficiente de pérdidas por rendimiento de la batería (K_B)	0.005
Pérdidas por el rendimiento del inversor (K_C)	0.05
Pérdidas en el controlador de carga (K_R)	0.05
Otras pérdidas no consideradas anteriormente (efecto joule, etc) (K_X)	0.15
Fracción de energía que se pierde por auto descarga de la batería (K_A)	0.10
Días de autonomía ($D_{aut.}$)	1
Profundidad máxima de descarga admisible de la batería (P_D)	0.60
Rendimiento global (R_G)	0.645 (64.5%)

4.3.2 Selección de la tensión de generación del sistema fotovoltaico

La tensión de generación del sistema fotovoltaico se tomó en cuenta la Tabla 5. La potencia eléctrica instalada resultó 5.05 kW, que corresponde a seleccionar una tensión nominal para del campo fotovoltaico de 96, 120 y 300 V. Por otra parte indicar que la tensión de generación pueden ser superiores a las indicadas, esto va a depender de la selección del inversor y del arreglo fotovoltaico del campo solar.

Tabla 5

Valores referenciales para la tensión nominal del sistema en función de la potencia

Potencia	Tensión nominal
Rango de potencia $P \leq 800$ Wp	12 V
Rango de potencia $800 < P \leq 1600$ Wp	24 V
Rango de potencia $1600 < P \leq 3200$ Wp	48 V
Rango de potencia $P > 3200$ Wp	96, 120, 300 V

Nota. Mejía (2018)

4.3.3 Resultados potencia pico del sistema de generación fotovoltaica

El tamaño de los paneles para un sistema fotovoltaico que alimenta cargas de uso diario se decide según el requerimiento diario de energía (Samaila et al., 2022). Una vez determinado la demanda de energía diaria, se determinó la potencia pico mínima del generador fotovoltaico, el rendimiento global para la instalación resultó 64.46%, y la radiación solar de 3.77 kWh/m²/día, para el ángulo de inclinación óptima calculado de 7.67°.

Según Pareja (2016), para calcular la potencia mínima de generación fotovoltaica, se utilizó la Ecuación (4). Los resultados se muestran en la Tabla 6, y como resultado se tiene una potencia mínima de generación fotovoltaica de 10.38 kW.

$$P_{pico,min} = \frac{E_{diaria} \times G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \times R_{Global}} \quad (4)$$

Donde:

$P_{pico,min}$: Potencia pico mínima del generador (kW).

E_{diaria} : Energía diaria (kWh/día).

G_{CEM} : Irradiación en condiciones estándar de medida ($G_{CEM} = 1 \text{ kW/m}^2$).

$G_{dm}(\alpha, \beta)$: Irradiación sobre el generador (kWh/m².día).

R_{Global} : Rendimiento global.

Tabla 6

Resultados de cálculo de la potencia pico mínima del generador fotovoltaico

Descripción	Valores
Energía diaria (E_{diaria})	25.25 kWh/día
Irradiación en condiciones estándar de medida (G_{CEM})	1 kW/m ²
Irradiación sobre el generador (G_{dm})	3.77 kWh/m ² /día
Rendimiento global (R_{Global})	64.46 %
Potencia pico mínima del generador ($P_{p,min}$)	10.38 kW

4.3.4 Cálculo y selección de inversor

La selección del inversor debe tener una potencia nominal superior a la suma de todas las potencias de los receptores de la instalación o potencia que demanda la carga en corriente alterna (Mejía, 2019). Es muy poco que todos los consumidores de electricidad o cargas

eléctricas operen al mismo tiempo, en casos críticos se debe tener en cuenta un factor de concurrencia del 100 %.

La demanda eléctrica del aire acondicionado en la oficina de admisión es 5.05 kW. El inversor a seleccionar tiene que ser de una potencia mayor o igual a la demanda eléctrica, para la selección se tomó en cuenta el voltaje de la red y voltaje de los equipos de aire acondicionado. El inversor seleccionado es un inversor híbrido ATESS HPS7500TLS de 7.5 kW, 220-230V CA, que no necesita utilizar autotransformador. Permite el funcionamiento conectado y desconectado de la red. La potencia fotovoltaica recomendada 9 kWp, incluye dos controladores MPPT y un cargador de baterías que permite conectar las baterías directamente al inversor. Los datos técnicos del inversor se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7

Datos técnicos del inversor seleccionado

Descripción de parámetros eléctricos		Valores
Marca/Modelo		ATESS HPS7500TLS
Entrada (CD)	Máximo voltaje de circuito abierto fotovoltaico (V)	900
	Potencia fotovoltaica recomendada (kWp)	9
	Rango de voltaje fotovoltaico MPPT (V)	370-720
	Número de entradas por MPPT	2
Salida (CA)	Conexión CA	L-N
	Potencia aparente (kVA)	9.4
	Potencia nominal (kW)	7.5
	Voltaje nominal de salida (V)	220-230
	Intensidad máxima (A)	32.6
	Frecuencia nominal de red (Hz)	50/60
Salida batería (CD)	Voltaje de batería nominal recomendado (V)	350
	Rango de voltaje de la batería (V)	280-700
	Máx. corriente continua de carga/descarga (A)	25

Nota. Datos ficha técnica de fabricantes.

4.3.5 Cálculo y configuración de los paneles fotovoltaicos

Para determinar la cantidad de paneles fotovoltaicos y su configuración de los mismos, primero se seleccionó el panel fotovoltaico referencial del tipo mono cristalino, JA Solar, modelo JAM72S20-445/MR, 445 Wp. En la Tabla 8, se muestran las características eléctricas del panel fotovoltaico.

Tabla 8*Parámetros eléctricos del panel fotovoltaico seleccionado*

Parámetros eléctricos	Valores
Potencia máxima (P_{max})	445 Wp
Tensión máxima potencia (V_{pm})	41.21 V
Corriente máxima potencia (I_{pm})	10.80 A
Tensión de circuito abierto (V_{oc})	49.56 V
Corriente de cortocircuito (I_{sc})	11.32 A

Nota. Adaptados de ficha técnica de fabricante. Modelo JAM72S20-445/MR.

Según Melendez (2023) para determinar el rango máximo y mínimo de paneles fotovoltaicos a conectar en serie al inversor, se tomó en cuenta datos técnicos del inversor (rango de tensión de operación MPPT que varía de 370-720 V, voltaje máximo de 900 V CD), y de los paneles fotovoltaicos. Los cálculos se realizaron con las Ecuaciones (5) y (6) respectivamente. Los resultados de cálculo se presentan en la Tabla 9, como resultado de obtiene que el rango mínimo y máximo de paneles a instalar en serie varia de 9 a 17.

$$N_{p,serie-max MPPT} \leq \frac{V_{DCmax-MPPT Inv}}{V_{máx, panel}} \quad (5)$$

$$N_{p,serie,-min MPPT} \geq \frac{V_{DCmin-MPPT Inv}}{V_{máx, panel}} \quad (6)$$

Tabla 9*Calculo rango máximo y mínimo de paneles fotovoltaicos a conectar en serie al inversor*

Parámetros	Valores
$N_{p,serie-max MPPT}$	17.47 \approx 17
$N_{p,serie-min MPPT}$	8.98 \approx 9

Mejía (2019) señala que para determinar la cantidad de paneles fotovoltaicos totales, serie y paralelo para la instalación se realiza con las Ecuaciones (7) y (8); además indica que la potencia de generación se determina con la Ecuación (9).

$$N_{p, serie} \geq \frac{V_{n, generador}}{V_{n, panel}} \quad (7)$$

$$N_{p, paralelo} \geq \frac{N_{p, totales}}{N_{p, serie}} \quad (8)$$

$$P_{g, FV} = N_{p, serie} \times N_{p, paralelo} \times P_{m\acute{a}x, panel} \quad (9)$$

Tomando en cuenta el rango de voltaje MPPT del inversor, y parámetros eléctricos del panel fotovoltaico seleccionado, el mejor arreglo fotovoltaico para cada MPPT resultó 12 paneles serie y uno paralelo, con una potencia de generación fotovoltaica por cada MPPT 5.34 kW, y un sobredimensionado en la generación en cada MPPT 2.9%; la potencia de generación total de los dos MPPT para el mejor arreglo fotovoltaico resultó 10.68 kW mayor a la potencia de generación mínima calculado de 10.38 kW, con un sobredimensionamiento total de 5.8%. En la Tabla 10, se muestran a detalle los resultados de cálculo.

Tabla 10

Resultados de cálculo de número de paneles fotovoltaicos, potencia de generación y la selección del mejor arreglo fotovoltaico

Paneles en serie $N_{p, serie}$	Voltaje V_{mp}	Paneles en paralelo		Paneles totales $N_{p, total}$	$P_{g, FV}$ kW	Sobredimensionamiento	
		$N_{p, paralelo}$				kW	%
MPPT-1							
9	370.89	1.33	2.00	18	8.01	2.82	54.4%
10	412.10	1.20	2.00	20	8.90	3.71	71.5%
11	453.31	1.09	2.00	22	9.79	4.60	88.7%
12	494.52	1.00	1.00	12	5.34	0.15	2.9%
13	535.73	0.92	1.00	13	5.79	0.60	11.5%
14	576.94	0.86	1.00	14	6.23	1.04	20.1%
15	618.15	0.80	1.00	15	6.68	1.49	28.6%
16	659.36	0.75	1.00	16	7.12	1.93	37.2%
17	700.57	0.71	1.00	17	7.57	2.38	45.8%
MPPT-2							
9	370.89	1.33	2.00	18	8.01	2.82	54.4%
10	412.10	1.20	2.00	20	8.90	3.71	71.5%
11	453.31	1.09	2.00	22	9.79	4.60	88.7%
12	494.52	1.00	1.00	12	5.34	0.15	2.9%
13	535.73	0.92	1.00	13	5.79	0.60	11.5%
14	576.94	0.86	1.00	14	6.23	1.04	20.1%
15	618.15	0.80	1.00	15	6.68	1.49	28.6%
16	659.36	0.75	1.00	16	7.12	1.93	37.2%
17	700.57	0.71	1.00	17	7.57	2.38	45.8%
Total				24	10.68	0.30	5.8%

4.3.6 Cálculo de capacidad del banco de energía

Según Samaila et al. (2022), uno de los factores más cruciales a tener en cuenta al seleccionar las partes fundamentales de un sistema eléctrico solar autónomo es el tamaño de la batería solar. Al dimensionar un banco de baterías, los objetivos clave son obtener una fuente de energía que pueda manejar la carga del conjunto de paneles fotovoltaicos y suministrar suficiente energía almacenada para las necesidades cuando no hay luz solar.

Según Pareja (2016) y Mejía (2019), para determinar los Ah de demanda de energía eléctrica (L_D), y la capacidad nominal del banco de baterías ($C_{baterias}$), se realizó con las Ecuaciones (10) y (11); y el número de baterías en serie y paralelo se calcula con las Ecuaciones (12) y (13).

$$L_D = \frac{E_{diaria}}{V_{n,bateria}} \quad (10)$$

$$C_{baterias} = \frac{D_{aut} \times L_D}{PD_{max} \times R_{Global}} \quad (11)$$

$$N_{b,paralelo} \geq \frac{C_{bateria}}{C_{n,bateria}} \quad (12)$$

$$N_{b,serie} \geq \frac{V_{B,bateria}}{V_{n,bateria}} \quad (13)$$

Las baterías que se seleccionaron, son las baterías LG Chem RESU10H tipo R, 63 Ah, rango de voltaje 350-450 V. Trabajan en conjunto con los inversores solares, en este caso con el inversor Modelo ATESS HPS7500TLS. Con estas baterías se consigue sencillez en el diseño de la instalación; porque de lo contrario tendría que utilizar uno o más inversores conectados a la red para los módulos solares y uno o más inversores cargadores para las baterías. Los parámetros de la batería seleccionada se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11

Parámetros eléctricos de la batería seleccionada

Parámetros	Valores
Rango de voltaje	350-450 V
Capacidad nominal (C_{nom})	63 Ah

Nota. Adaptado de ficha técnica de fabricante. LG Chem RESU10H tipo R

Para los cálculos del banco de baterías se consideró un factor de profundidad de descarga máxima diaria de la batería del 80 %, un día de autonomía de acuerdo a condiciones climatológicas en el campus universitario, con la finalidad de no sobredimensionar y optimizar costos; también se tuvo en cuenta datos de la ficha técnica del inversor, donde se indica el rango de voltaje para la batería es 280-700 V, voltaje nominal recomendado batería (350 V).

Tabla 12

Resultados de cálculo de la capacidad del banco de baterías y cantidad de baterías

Baterías en serie	Energía diaria	Voltaje nominal	Demanda energía	Capacidad banco baterías	Baterías paralelo	Baterías totales	Capacidad banco baterías real	Sobredimensionamiento
$N_{b,serie}$	(KWh/día)	V_{nom}	LD (Ah/día)	$C_{baterias}$ (Ah)	$N_{b,paralelo}$	$N_{b,total}$	$C_{baterias}$ (Ah)	
1	25.25	350	72.14	139.90	2.22	3	189.0	35.1%
1	25.25	360	70.14	136.02	2.16	3	189.0	39.0%
1	25.25	370	68.24	132.34	2.10	3	189.0	42.8%
1	25.25	380	66.45	128.86	2.05	3	189.0	46.7%
1	25.25	390	64.74	125.55	1.99	2	126.0	0.4%
1	25.25	400	63.13	122.41	1.94	2	126.0	2.9%
1	25.25	410	61.59	119.43	1.90	2	126.0	5.5%
1	25.25	420	60.12	116.59	1.85	2	126.0	8.1%
1	25.25	430	58.72	113.87	1.81	2	126.0	10.6%
1	25.25	440	57.39	111.29	1.77	2	126.0	13.2%
1	25.25	450	56.11	108.81	1.73	2	126.0	15.8%

El mejor arreglo del banco de almacenamiento resultó una baterías serie por dos paralelo con un voltaje nominal de 390 V, la capacidad del banco de baterías resultó 126 Ah con un sobredimensionamiento de 0.4%, cálculos se muestran en la Tabla 12.

4.3.7 Cálculo de protecciones eléctricas

Sistemas de puesta a tierra

Los sistemas fotovoltaicos con tensiones nominales mayores a 48 voltios deben tener al menos una conexión a tierra (Pareja, 2016). El dimensionamiento seguro de una puesta a tierra de una instalación también se basa en protección contra riesgos graves de descarga eléctrica para las personas. Además, facilita la transferencia de corrientes normales o de falla

a tierra sin exceder los límites de operación ni impactar negativamente la continuidad del servicio eléctrico (Datsios y Mikropoulos, 2012).

La puesta a tierra tiene que cumplir con lo indicado en el Código Nacional de Electricidad (CNE) de Perú. Varilla de cobre 16 mm Ø x 2.40 metros, conector de cobre, caja de registro, y cable de cobre 16 mm².

Fusibles y termo magnéticos

Las principales componentes de protección incluyen los fusibles y termomagnéticos, que ofrecen protección contra cortocircuitos y sobretensiones. Para el cálculo de fusibles y termo magnético se realiza con las Ecuaciones (14), (15) y (16) (Pareja, 2016). Los cálculos se muestran en la Tabla 13.

$$I_{fusible(P-Inv)} > I_{sc} \times N_{p,paralelo} \quad (14)$$

$$I_{fusible(B-Inv)} > \frac{P_{CD-Inv}}{V_{n,B-bat.}} \quad (15)$$

$$I_{term.} = \frac{P_{CA-Carga}}{V_n \times \cos \phi} \quad (16)$$

Tabla 13

Resultados de cálculo de protecciones eléctricas del sistema fotovoltaico

Tramo entre componentes	Voltaje (V)	Tipo	Corriente fusible (A)		Corriente termomagnético (A)	
			Calculado	Estandarizado	Calculado	Estandarizado
Fusible G _{FV 1} - MPPT 1	494.52	CD	11.32	16	...	...
Fusible G _{FV 2} - MPPT 2	494.52	CD	11.32	16	...	...
Fusible Batería-Inversor	390.00	CD	20.24	25	...	...
Termomagnético Inversor - Carga eléctrica	220.00	CA	...	...	27.01	32

Nota. Cálculos, y selección de fusibles y termomagnéticos estandarizados.

De acuerdo a cálculos de fusibles y termomagnéticos, para los tramos en corriente continua, se seleccionó dos fusibles estandarizados del tipo gl cilíndricos de 16 A y uno de 25 A; y un termomagnético monofásico de 32A para el tramo inversor hacia la carga eléctrica (aire acondicionado).

4.3.8 Cables eléctricos

Para determinar la sección de los cables eléctricos es necesario primero determinar si se utiliza cobre o aluminio, su conductividad del material (γ), la longitud del cable, la corriente que atravesará el cable, y la caída de tensión en los extremos (Pareja, 2016). Se determina con la Ecuación (17), para cálculos se tomó la conductividad del cobre a 75°C igual a $\gamma_{Cu\ 75^\circ C} = 45.45\text{m}/\Omega\text{mm}^2$. Los resultados se muestran en la Tabla 14.

$$S = \frac{2 \times L \times I}{\gamma \times \Delta V} \quad (17)$$

Donde:

S : Sección del cable (mm^2)

L : Longitud del cable (m)

γ : Conductividad del cable ($\text{m}/\Omega\text{mm}^2$)

ΔV : Caída de tensión (V)

Tabla 14

Resultados de cálculo de cables eléctricos del sistema fotovoltaico

Tramo entre componentes	Longitud (m)	Máxima caída de tensión admisible	I (A)	Voltaje (V)	S (mm^2)	AWG	Tipo
G _{FV 1} - MPPT 1	40	3.0%	11.32	495	1.34	14	CD
G _{FV 2} - MPPT 2	40	3.0%	11.32	495	1.34	14	CD
Batería - Inversor	20	1.5%	20.24	390	3.05	12	CD
Inversor - Carga eléctrica	20	3.0%	27.01	220	3.60	12	CA

4.3.9 Estructura de soporte para montaje de los paneles fotovoltaicos

Para el montaje de los paneles, se ha considerado estructuras para situar los paneles solares sobre una cubierta de tejas en el techo de la misma oficina de admisión. Incluye salvatejas para que se puedan anclar los perfiles al tejado, sin necesidad de perforar las tejas. Para el anclaje de los paneles se seleccionó cuatro (04) estructuras de soporte coplanar continuo con salvatejas para cubierta de teja mixta para 06 paneles (Figura 9). Las

dimensiones de los paneles seleccionados como referencia son $2112 \pm 2\text{mm}$, $1052 \pm 2\text{mm}$, y $35 \pm 1\text{mm}$ de espesor.

Figura 9

Estructuras de soporte coplanar continuo con salvatejas para cubierta de teja



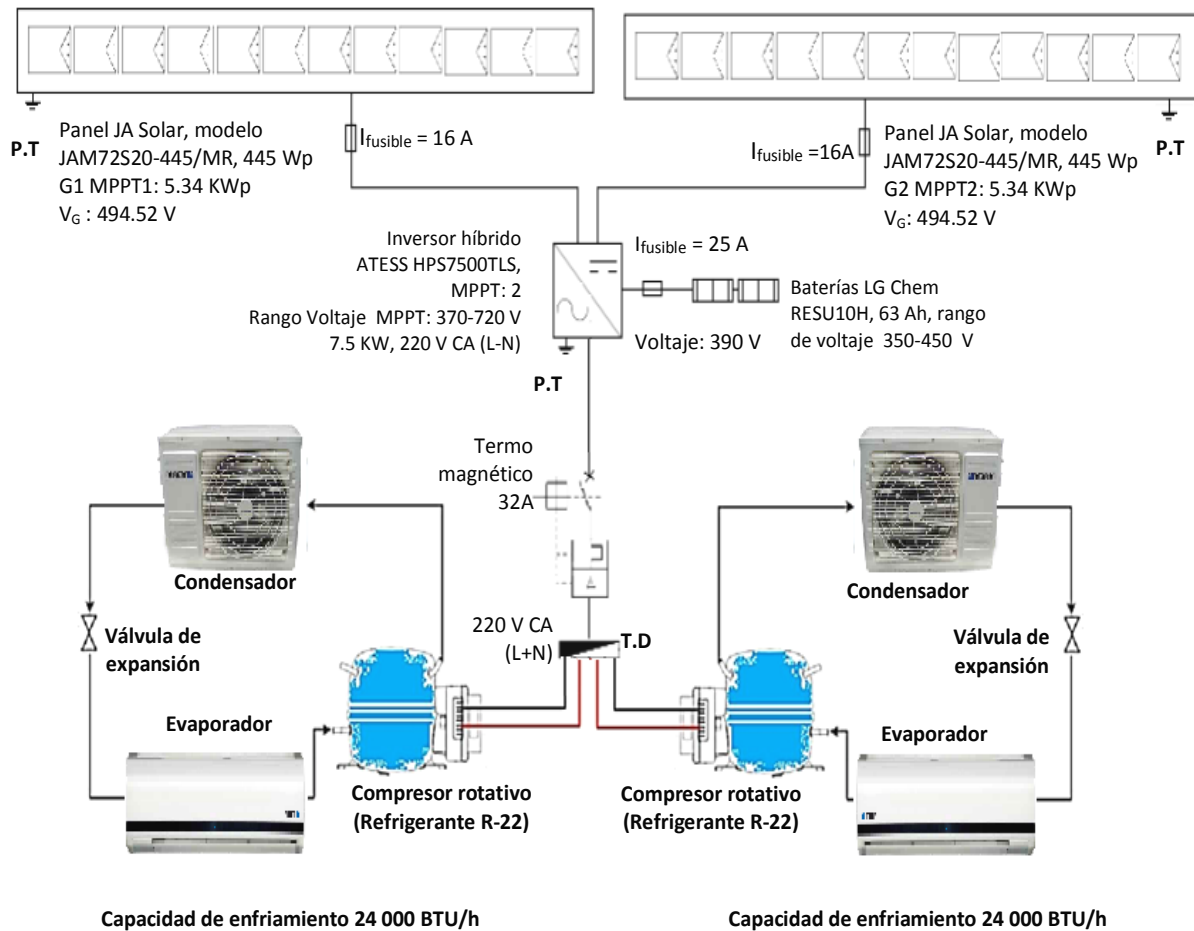
Nota. Adaptado de ficha técnica de fabricantes SUNFER. Soporte coplanar continuo con salvatejas.

4.3.10 Topología del sistema fotovoltaico autónomo

La Figura 10, muestra la topología del sistema fotovoltaico para la demanda de energía del aire acondicionado de la oficina de admisión UPA. Además se muestra los sub sistemas de generación, almacenamiento, inversor y protecciones eléctricas.

Figura 10

Topología del sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión UPA



Nota. Sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado.

4.4 Evaluación económica del sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado

Para la evaluación económica del sistema fotovoltaico, primero se determinó un presupuesto referencial para el suministro de materiales, equipos, e instalación fotovoltaica. El presupuesto es de S/.130680.00 incluido IGV. En la Tabla 15, se muestra el costo de inversión para la implementación del sistema fotovoltaico aislado propuesto.

Tabla 15*Presupuesto referencial para materiales, equipos e instalación fotovoltaica*

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Sub total (S/.)
I	Suministro de materiales y equipos				99000.00
1.1	Panel JA Solar, modelo JAM72S20-445/MR, 445 Wp	Und.	24	900.00	21600.00
1.2	Inversor híbrido ATESS HPS7500TLS, MPPT: 2, voltaje MPPT 370-720 V, Salida 7.5 kW, 220 V CA , 60 Hz	Und.	1	7850.00	7850.00
1.3	Baterías litio LG Chem RESU10H, capacidad 63 Ah, rango de voltaje 350-450 V	Und.	2	31500.00	63000.00
1.4	Cable 14 AWG	m	80	5.00	400.00
1.5	Cable 12 AWG	m	40	6.00	240.00
1.6	Portafusibles cilindrico gl, 16 A	Und.	2	65.00	130.00
1.7	Portafusibles cilindrico gl, 25A	Und.	1	65.00	65.00
1.8	Termomagnéticos 32 A, monofásico	Und.	1	80.00	80.00
1.9	Tablero de distribución F ^o G ^o para inversor y termomagnéticos	Und.	1	285.00	285.00
1.10	Estructuras de soporte coplanar continuo con salvatejas para cubierta de teja, para 6 paneles serie	Und.	4	1170.00	4680.00
1.11	Puesta a tierra de acuerdo a CNE, incluye accesorios y conductor de cobre	Glb	1	670.00	670.00
II	Instalación y pruebas				19800.00
2.1	Montaje del sistema fotovoltaico para el aire acondicionado, incluye pruebas eléctricas	Glb	1	19800.00	19800.00
	Total costo directo				S/. 118800.00
	Transporte de materiales				S/. 3564.00
	Gastos generales				S/. 8316.00
	Total				S/. 130680.00

Los costos de mantenimiento son cruciales en los proyectos de energía solar fotovoltaica fuera de la red para garantizar el éxito. A pesar de la importancia de tener acceso a capital para cubrir los costos de los sistemas, mantener un financiamiento sostenible para su mantenimiento durante su vida útil es el desafío más importante. Anteriormente, los donantes internacionales implementaron con éxito muchos proyectos que luego fracasaron debido a la falta de fondos de mantenimiento sostenibles para el reemplazo de los componentes del sistema (baterías, pero también controladores de carga e inversores) (International Energy Agency-IEA, 2014).

El costo de mantenimiento por año y la vida útil del sistema a 25 años, se toma como el 2 % del costo total de los paneles fotovoltaicos. Además los costos de operación y

mantenimiento durante la vida del sistema fotovoltaico son bajos, en comparación de las centrales térmicas convencionales (Derbie,2019).

Para el proyecto los costos de operación y mantenimiento durante la vida del sistema fotovoltaico son bajos porque su consumo real de combustible es prácticamente cero, los resultados se muestran en la Tabla 16, que resultó S/. 432.00. Asimismo en la Tabla 17 se muestran los costos de reinversión del sistema fotovoltaico para el inversor (S/. 7850.00), no se consideró reinversión de baterías con la finalidad de hacer más rentable el proyecto desde el punto de vista económico, además las baterías seleccionadas son de litio y de larga vida útil que trabajan con una eficiencia del 95 %, que después del año 10 siguen trabajando con una eficiencia del 80 %. Por otra parte, no se consideró reinversión en el año 20, ya que inversor seleccionado, pueden seguir operando después del año de reemplazo previsto.

Tabla 16

Costos anuales de mantenimiento del sistema fotovoltaico

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Sub total (S/.)
1	Mantenimiento del sistema fotovoltaico (2 % Costo total de paneles fotovoltaicos)	Und.	432.00	432.00	432.00
Total					S/. 432.00

Nota. Costo de mantenimiento anual SFV (%), tomado (Derbie, 2019).

El costo de los módulos fotovoltaicos disminuyó sustancialmente. Los costos de inversión de los sistemas fotovoltaicos aislados siguen siendo altos, a pesar de las recientes reducciones de precios de los módulos fotovoltaicos debido a los avances tecnológicos y las economías de escala. Las razones principales son los mayores costos de inversión y reemplazo de las baterías. Además, el coste de los inversores aislados, especialmente los que vienen con controladores de carga, sigue siendo elevado (International Energy Agency-IEA, 2014).

Tabla 17

Costos de reinversión sistema fotovoltaico

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Sub total (S/.)
1	Inversor híbrido ATESS HPS7500TLS, MPPT: 2, voltaje MPPT 370-720 V, Salida 7.5 kW, 220 V CA , 60 Hz	Und.	1	7850.00	7850.00
Total					S/. 7850.00

4.4.1 Costo Nivelado de Energía

Según García et al. (2015), el LCOE es la energía producida por el sistema solar fotovoltaico durante la vida útil, trasladando tanto los costos generados por su operación durante el mismo período de funcionamiento como la cantidad de producción a valor actual, gracias a la tasa de descuento d . El LCOE, está definido por Ecuación (18), para cada año t .

$$\text{LCOE} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + O \& M_t}{(1+d)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_{G,t}}{(1+d)^t}} \quad (18)$$

Donde:

I_t : Inversión inicial (S/.)

d : Tasa de descuento (%)

t : Tiempo de vida útil (años).

$O \& M_t$: Operación y mantenimiento (S/.)

$E_{G,t}$: Generación energía eléctrica (kWh)

Los costos de producción de electricidad generalmente usan tasas de descuento del 5% y 7%, para estudios internacionales de que son tasas de descuento basadas en precios reales, pero se pueden usar tasas de descuento más altas para proyectos de inversión privada (Guillen, 2015). Para el proyecto, el LCOE de generación fotovoltaica, se ha determinado con una tasa de descuento del 7%. La Tabla 18, muestran los resultados de cálculo del LCOE. Resultando que el LCOE es 1.264 S/./kWh.

Tabla 18

Resultados de cálculo del LCOE para la instalación fotovoltaica

Año	Inversión	Producción Energía	Costos O&M	Costos recurrentes	Costos anuales totales	Producción a valor presente	Costos anuales a valor presente
	(S/.)	(kWh)	(S/.)	(S/.)	(S/.)	(kWh)	(S/.)
0	130680.00				130680.00		130680.00
1		9485.34	432.00		432.00	8864.80	403.74
2		9485.34	432.00		432.00	8284.86	377.33
3		9485.34	432.00		432.00	7742.86	352.64
4		9485.34	432.00		432.00	7236.32	329.57

5	9485.34	432.00		432.00	6762.92	308.01
6	9485.34	432.00		432.00	6320.48	287.86
7	9485.34	432.00		432.00	5906.99	269.03
8	9485.34	432.00		432.00	5520.55	251.43
9	9485.34	432.00		432.00	5159.40	234.98
10	9485.34	432.00	7850.00	8282.00	4821.87	4210.15
11	9485.34	432.00		432.00	4506.42	205.24
12	9485.34	432.00		432.00	4211.60	191.81
13	9485.34	432.00		432.00	3936.08	179.26
14	9485.34	432.00		432.00	3678.58	167.54
15	9485.34	432.00		432.00	3437.92	156.58
16	9485.34	432.00		432.00	3213.01	146.33
17	9485.34	432.00		432.00	3002.82	136.76
18	9485.34	432.00		432.00	2806.37	127.81
19	9485.34	432.00		432.00	2622.78	119.45
20	9485.34	432.00		432.00	2451.19	111.64
21	9485.34	432.00		432.00	2290.83	104.33
22	9485.34	432.00		432.00	2140.97	97.51
23	9485.34	432.00		432.00	2000.90	91.13
24	9485.34	432.00		432.00	1870.00	85.17
25	9485.34	432.00		432.00	1747.67	79.60
Totales:					110 538.19	139704.89
Costo nivelado de generación LCOE (S./kWh):					1.264	

4.4.2 Costo de potencia pico instalada

Luego de realizar una evaluación del costo local del sistema fotovoltaico aislado es alto en comparación con el mercado internacional. El costo total del sistema instalado, que incluye el capital y el costo de instalación, es de 3289.24 USD/kWp; debido a que los distribuidores de equipos de sistemas fotovoltaicos proporcionan componentes a costos todavía elevados, y también por la misma topología del sistema fotovoltaico propuesto.

4.4.3 Indicadores económicos

Según Kumar (2015), el indicador Valor Actual Neto (VAN) se determina con la Ecuación (19).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r_t)^t} - I_0 \quad (19)$$

Donde:

FC_t : Flujo de caja en el t -ésimo año (S./.)

I_0 : Inversión inicial (S/).

t : Tiempo de vida útil (años).

$1/(1+r_t)^t$: Factor de descuento

Además Kumar (2015), indica que la Tasa Interna de Retorno (TIR) a la tasa de interés R para que su valor neto sea igual a cero, y se determina mediante la Ecuación (20).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+R)^t} - I_0 = 0 \quad (20)$$

Donde:

n : Años que dura la inversión

R : Tipo de interés o tasa de retorno

El Tiempo de Recuperación (TR) es un indicador económico que puede dar indicaciones demasiado optimistas ya que no tiene en cuenta la duración de la inversión y el coste del capital, y la relación entre la inversión inicial y el flujo de caja efectivo. (Kumar, 2015). El TR se determina con la Ecuación (21).

$$TR = \frac{I_0}{FC} \quad (21)$$

El proyecto resultó no rentable para un primer escenario de evaluación considerando una tasa de interés para el VAN del 10 %, VAN negativo de S/.-28810.89, y el TIR 7 %. Luego se evaluó para un segundo escenario, tomando un interés para el VAN de 6 %, el VAN resulta positivo S/. 12 662.97, y el TIR 7 %, y se hace rentable al largo plazo, tiempo de recuperación 20.85 años. En la Tabla 19 y 20, se presentan los resultados de la evaluación económica para dos escenarios propuestos.

Tabla 19

Resultados de cálculo de indicadores económicos, primer escenario

Año	Inversión (S/.)	Energía		Resultados					
		Producción Energía (kWh)	LCOE-SFV (S/./kWh)	Ingresos (S/.)	Pagos (S/.)	Flujo Neto Caja (S/.)	FNC Actualizado (Cálculo del VAN) (S/.)	Flujo Neto Caja Acumulado (S/.)	Tiempo Recuperación TR (Años)
0	130680.00					-130680.00	-130680.00	-130680.00	
1		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	10505.59	-120174.41	
2		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	9550.54	-110623.87	
3		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	8682.31	-101941.57	
4		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	7893.01	-94048.56	
5		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	7175.46	-86873.10	
6		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	6523.14	-80349.96	
7		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	5930.13	-74419.83	
8		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	5391.03	-69028.80	
9		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	4900.94	-64127.86	
10	7850.00	9485.34	1.264	11988.15	8282.00	3706.15	1428.88	-62698.98	
11		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	4050.36	-58648.62	
12		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	3682.15	-54966.48	
13		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	3347.40	-51619.07	
14		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	3043.10	-48575.98	
15		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	2766.45	-45809.53	
16		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	2514.95	-43294.57	
17		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	2286.32	-41008.25	
18		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	2078.47	-38929.78	
19		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	1889.52	-37040.25	
20		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	1717.75	-35322.51	
21		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	1561.59	-33760.92	
22		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	1419.63	-32341.29	
23		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	1290.57	-31050.72	
24		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	1173.24	-29877.48	
25		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	1066.59	-28810.89	
				TIR (%)		7.00%	S/. -28 810.89		
				TR (años)		0.00			
				Interés para VAN		10.00%			
				VAN		S/. -28 810.89			

Tabla 20

Resultados de cálculo de indicadores económicos, segundo escenario

Año	Energía			Resultados					
	Inversión	Producción Energía	LCOE-SFV	Ingresos	Pagos	Flujo Neto Caja	FNC Actualizado (Cálculo del VAN)	Flujo Neto Caja Acumulado	Tiempo Recuperación TR
	(S/.)	(kWh)	(S./kWh)	(S/.)	(S/.)	(S/.)	(S/.)	(S/.)	(Años)
0	130680.00					-130680.00	-130680.00	-130680.00	
1		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	10902.03	-119777.97	
2		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	10284.93	-109493.04	
3		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	9702.77	-99790.28	
4		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	9153.55	-90636.72	
5		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	8635.43	-82001.30	
6		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	8146.63	-73854.67	
7		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	7685.50	-66169.17	
8		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	7250.47	-58918.70	
9		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	6840.07	-52078.63	
10	7850.00	9485.34	1.264	11988.15	8282.00	3706.15	2069.49	-50009.14	
11		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	6087.64	-43921.50	
12		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	5743.05	-38178.45	
13		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	5417.97	-32760.48	
14		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	5111.30	-27649.18	
15		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	4821.98	-22827.20	
16		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	4549.04	-18278.17	
17		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	4291.54	-13986.63	
18		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	4048.63	-9938.00	
19		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	3819.46	-6118.54	
20		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	3603.26	-2515.28	20.85
21		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	3399.30	884.02	
22		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	3206.89	4090.91	
23		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	3025.37	7116.28	
24		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	2854.12	9970.40	
25		9485.34	1.264	11988.15	432.00	11556.15	2692.57	12662.97	
				TIR (%)		7.00%	S/. 12 662.97		
				TR (años)		20.85			
				Interés para VAN		6%			
				VAN	S/.	12 662.97			

IV. Discusión

La demanda de energía eléctrica diaria del aire acondicionado de la oficina de admisión, se estimó de acuerdo a cargas eléctricas de aire acondicionado, y las horas de operación en referencia al diagrama de carga diario. Se obtuvo una máxima demanda eléctrica de 5.05 kW, y una demanda de energía eléctrica de 25.25 kWh/día, se aplicó un factor de utilización de uno ya que los sistemas de refrigeración utilizan motores eléctricos en la etapa de compresión y necesitan de una corriente de arranque máxima, además operan de forma simultánea. Las cargas de aire acondicionado tienen un suministro de energía eléctrica de 220 V CA, 60 Hz; la oficina de admisión cuenta con dos unidades de aire acondicionado, cada unidad tiene una capacidad de enfriamiento de 24000 BTU/h, y utilizan refrigerante R-22. La investigación guarda relación con Alam et al. (2021) que realiza una investigación en generación de energía fotovoltaica en tejados residenciales para soportar cargas de refrigeración y objetivos nacionales en Arabia Saudí; monitorearon las demandas eléctricas diarias y anuales en una villa en Jeddah, y se modelaron una variedad de sistemas fotovoltaicos para determinar su capacidad para soportar cargas de aire acondicionado y otras cargas domésticas. La demanda eléctrica monitoreada de la villa estuvo en el rango de 66-167 kWh/día, que se utilizó para estimar las capacidades de los sistemas fotovoltaicos requeridos. Por otra parte Albatayneh et al. (2021) realizó una evaluación del acoplamiento de sistemas fotovoltaicos y de aire acondicionado frente a sistemas de refrigeración solar (enfriadores de absorción, energía térmica es proporcionada por colectores solares) en Jordania; el sistema de refrigeración constaba de un par de compresores multietapa refrigerados, ambos de 700 kW. Los sistemas fotovoltaicos son adecuados y pueden reducir las cargas máximas de aire acondicionado.

Se determinó que la radiación se obtuvo de datos de la NASA para diferente ángulo de inclinación, el ángulo óptimo ($\beta_{\text{óptimo}}$) calculado resultó 7.67, y se encuentra entre los ángulos 5.75° y 9.25°. Por motivos que el mes más desfavorable para los ángulos cercanos al óptimo se dan en diferentes meses, se procedió a interpolar y se seleccionó la radiación en el mes más desfavorable. Para el ángulo óptimo calculado se obtuvo una radiación de 3.77 kWh/m²/día para el mes de julio. Concuere con Mejía (2019) que diseñó un sistema fotovoltaico autónomo para suministro de electricidad al laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica, también utilizó datos de la NASA, determinó un ángulo

de inclinación óptimo de 5° , y aplico el criterio de selección de radiación en el mes más desfavorable que fue febrero con $3.88 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$. Así mismo Melendez (2023) diseñó un sistema fotovoltaico aislado para la demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica, y dentro de la evaluación de la radiación solar, tomó el mes más desfavorable del ángulo de inclinación óptima 7.67° , que resultó $3.65 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$, para el periodo de evaluación 2018-2022 del aplicativo de la NASA. Para zonas de estudio son muy cercanas y con similares condiciones climatológicas los valores de radiación son muy similares, también existe una pequeña variación con el periodo de evaluación al utilizar datos de la NASA.

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado, primero se determinó el rendimiento total de la instalación (64.46%). Para la generación se determinó 24 paneles Panel JA Solar, modelo JAM72S20-445/MR, 445 Wp ; dividido en dos grupos de generación, 5.34 kWp para el MPPT1, y 5.34 kWp para el MPPT2 del inversor. Para el subsistema de potencia se seleccionó un inversor híbrido ATESS HPS7500TLS, número de MPPT: 2, de 7.5 kW , 220 V CA . Así mismo, para el almacenamiento se seleccionó 02 baterías LG Chem RESU10H, 63 Ah , voltaje $350\text{-}450 \text{ V}$. Existe coincidencias con Alam et al. (2021) en su investigación sobre generación de energía fotovoltaica en tejados residenciales para soportar cargas de refrigeración y objetivos nacionales en Arabia Saudí; estima las capacidades de los sistemas fotovoltaicos requeridos, los resultados indican que los sistemas fotovoltaicos en el rango de $2\text{-}10 \text{ kWp}$ presentan un déficit significativo para soportar la demanda total; sin embargo, se encontró un sistema de 15 kWp para cumplir con las cargas totales diurnas. Por otra parte Albatayneh et al. (2021), evalúa el acoplamiento de sistemas fotovoltaicos y de aire acondicionado frente a sistemas de refrigeración solar (enfriadores de absorción, energía térmica es proporcionada por colectores solares), el sistema de refrigeración constaba de un par de compresores multietapa refrigerados, ambos de 700 kW , mientras que el tamaño del sistema fotovoltaico era de 2.1 MWp , la conexión a la red pública era un medidor neto de 0.4 kV y 50 Hz , y se esperaba que 3300 MWh /año se generaría. El sistema de refrigeración solar operó con un coeficiente de rendimiento (COP) máximo de 0.79 y registró un COP real de 0.32 en el sitio. En referencia a las a la eficiencia del sistema fotovoltaico, características del inversor y baterías concuerda con Melendez (2023), que diseñó un sistema fotovoltaico aislado para la demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica.

El dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos depende de las características de las cargas eléctricas de aire acondicionado, y estas cargas eléctricas de la capacidad de enfriamiento, también de las horas operación y condiciones climatológicas; esto hace variar el tamaño de cada componente del sistema fotovoltaico y su topología.

Para la evaluación económicamente del proyecto, primeramente se determinó el Costo Nivelado de Energía (LCOE) resultando que el LCOE es 1.264 S./kWh para una tasa de descuento del 7 %. El costo local instalado del sistema fotovoltaico es alto en comparación con el mercado internacional, resulta 3289.24 USD/kWp; debido a que los distribuidores de equipos de sistemas fotovoltaicos proporcionan componentes a costos todavía elevados, y también por la misma topología del sistema fotovoltaico propuesto. La energía producida del sistema fotovoltaico resultó 9485.34 kWh/año. El proyecto resultó no rentable para una tasa de interés para el VAN del 10 %, VAN negativo de S/.-28810.89, y el TIR 7 %. Se evaluó para un segundo escenario, tomando un interés para el VAN de 6 %, el VAN resulta positivo S/ 12 662.97, y el TIR 7 %, y se hace rentable al largo plazo, tiempo de recuperación 20.85 años. Existe coincidencia con Melendez (2023), que el proyecto resultó no rentable con una tasa de interés del 10% VAN, VAN -27337.96, TIR 7.35% y B/C 0.79; para otro escenario se hace rentable al largo plazo (21 años) con un interés para el VAN de 6 %, VAN 12017.30, TIR 7.35%, y B/C 1.09. Por otra parte Albatayneh et al. (2021) en su investigación evaluación del acoplamiento de sistemas fotovoltaicos y de aire acondicionado frente a sistemas de refrigeración solar en Jordania, consideró la tarifa eléctrica de \$0.1/kWh, los respectivos valores del costo nivelado de energía (LCOE) fueron \$0.9/kWh y \$2.35/kWh respectivamente. Los hallazgos indican que los costos iniciales para el sistema de enfriamiento solar térmico y el sistema fotovoltaico fueron de aproximadamente \$3.150M y \$3M, respectivamente. El VAN de los pagos futuros en efectivo cuando se aplicaron descuentos del 6% anual a los pagos por la combinación de energía fotovoltaica y aire acondicionado fue de aproximadamente \$9745000, mientras que el sistema de enfriamiento solar térmico no alcanzará el punto de equilibrio en \$1730000 negativos; el enfriador de absorción no mostró viabilidad económica, mientras que el valor de los sistemas fotovoltaicos y de aire acondicionado acoplados fue inferior a 0.05 USD/kWh. Por tanto, una fuente de energía fotovoltaica es una solución energética viable desde el punto de vista medioambiental.

Conclusiones

Se determinó la demanda de energía eléctrica diaria del aire acondicionado de la oficina de admisión, se estimó de acuerdo a cargas eléctricas de aire acondicionado, y las horas de operación. Se obtuvo una máxima demanda eléctrica de 5.05 kW, y una demanda de energía eléctrica de 25.25 kWh/día. Las cargas de aire acondicionado tienen un suministro de energía eléctrica de 220 V CA, 60 Hz; la oficina de admisión cuenta con dos unidades de aire acondicionado, cada unidad tiene una capacidad de enfriamiento de 24000 BTU/h, y utilizan refrigerante R-22.

Se determinó que la radiación se obtuvo de datos de la NASA para diferente ángulo de inclinación, el ángulo óptimo (β_{optimo}) calculado resultó 7.67, y se encuentra entre los ángulos 5.75° y 9.25°. Por motivos que el mes más desfavorable para los ángulos cercanos al óptimo se dan en diferentes meses, se procedió a interpolar y seleccionar la radiación en el mes más desfavorable. Para el ángulo óptimo calculado se obtuvo una radiación de 3.77 kWh/m²/día para el mes de julio.

Se dimensionó el sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado, primero se determinó el rendimiento del sistema fotovoltaico (64.46 %). Para la generación se determinó 24 paneles Panel JA Solar, modelo JAM72S20-445/MR, 445 Wp; dividido en dos grupos de generación 5.34 kWp para el MPPT1, y 5.34 kWp para MPPT2 del inversor. Para el subsistema de potencia se seleccionó un inversor híbrido ATESS HPS7500TLS, número de MPPT: 2, de 7.5 kW de salida, 220 V CA. Así mismo, para el almacenamiento se seleccionó dos baterías LG Chem RESU10H, 63 Ah, voltaje 350-450 V.

Por último se para la evaluación económicamente del proyecto, primeramente se determinó el LCOE resultando 1.264 S/./kWh para una tasa de descuento del 7 %. El costo local instalado del sistema fotovoltaico es alto en comparación con el mercado internacional, resulta 3289.24 USD/kWp; debido a que los distribuidores de equipos de sistemas fotovoltaicos proporcionan componentes a costos todavía elevados, y también por la misma topología del sistema fotovoltaico propuesto. La energía producida del sistema fotovoltaico resultó 9485.34 kWh/año. El proyecto resultó no rentable para una tasa de interés para el VAN del 10 %, VAN negativo de S/.-28810.89, y el TIR 7 %. Se evaluó para un segundo escenario, tomando un interés para el VAN de 6 %, el VAN resulta positivo S/. 12 662.97, y

el TIR 7 %, y se hace rentable al largo plazo, tiempo de recuperación 20.85 años. Esta investigación ayudará a las partes interesadas y consultores a optimizar los sistemas de energía fotovoltaica para satisfacer los requerimientos de energía de los sistemas de aire acondicionado de una manera económicamente viable.

Recomendaciones

Realizar mediciones con analizador de redes eléctricas o pinza amperimétrica, y así elaborar un diagrama de carga diario real, para evaluar la máxima demanda y las horas de mayor consumo de energía del aire acondicionado durante el día.

Analizar la radiación solar a través de otras fuentes confiables, mapas solares y estaciones meteorológicas cercanas.

Evaluar y comparar los costos de la potencia pico instalado y el LCOE, con los costos de otras fuentes de generación de energía eléctrica.

Como problemas abiertos realizar la evaluación económica sin considerar almacenamiento de energía, y que el sistema fotovoltaico solo trabaje en las horas sol pico, y así minimizar costos para su instalación.

La universidad, debe buscar financiación para implementar y promover esta fuente de energía, ya que es sostenible desde una perspectiva medioambiental ya que tiene un retorno de la inversión a largo plazo.

Referencias bibliográficas

- Akbar, T., Mufti, A. U. G. M., y Khurshid, N. (2015). Potential and viability of stand alone solar PV systems for rural electrification of Pakistan by using RET screen software. *International Journal of Smart Home*, 9(8), 11-18. <https://doi.org/10.14257/ijsh.2015.9.8.02>
- Alam, M., Alghamdi, A. S., Bahaj, A. S., James, P. A. B., y Blunden, L. S. (2021). Residential rooftop PV power generation to support cooling loads and national targets in Saudi Arabia. *Journal of Physics: Conference Series*, 2042(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2042/1/012097>
- Albatayneh, A., Jaradat, M., Al-Omary, M., y Zaquot, M. (2021). Evaluation of coupling pv and air conditioning vs. Solar cooling systems—case study from jordan. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(2), 1-15. <https://doi.org/10.3390/app11020511>
- Beatty, C., Brown, J. M., Schott, A. C., Grove, L., y Charles, L. (2017). *Schools Going Solar. Data driven lessons and activities to support and incorporate installed photovoltaic systems into the classroom learning environment. 2017-2018 Pri.*
- Beitelmal, W. H., Okonkwo, P. C., Al Housni, F., Grami, S., Emori, W., Uzoma, P. C., y Das, B. K. (2022). Renewable energy as a source of electricity for Murzuq health clinic during COVID-19. *MRS Energy and Sustainability*, 9(1), 79-93. <https://doi.org/10.1557/s43581-021-00020-w>
- Chira, A., Cárdenas, C., Ma Samn, F., Seminario, J., y Luna, V. (2020). *Comparativa entre sistemas de captación solar para el diseño y análisis de un sistema de acondicionamiento para un piso de oficinas [Universidad de Piura]*. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4862/T_IME_2101.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Datsios, Z. G., y Mikropoulos, P. N. (2012). *Safe grounding system design for a photovoltaic power station. May 2014*. <https://doi.org/10.1049/cp.2012.2041>
- Derbie, S. (2019). Design of a Standalone Photovoltaic System for a Typical Household around Dessie City-Ethiopia. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 7(1), 1-7. <https://doi.org/10.12691/ajeec-7-1-1>
- García, M. F., Marino, I., Hernández, I., y Valdés, J. (2015). Cálculo del costo nivelado de la energía para una planta fotovoltaica en el noroeste de la república Mexicana.

*Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, Universidad Autónoma
Metropolitana* *Unidad* *Iztapalapa.*

<https://www.researchgate.net/publication/342433294%0ACÁLCULO>

Gonzales, J. A. (2021). *Técnicas e instrumentos de investigación científica* (ENFOQUES CONSULTING EIRL (ed.); 1 era Edic).
<https://www.researchgate.net/publication/350072286%0ATÉCNICAS>

Guillen, O. (2015). *Energía eólica para generación eléctrica* (Editorial Trillas (ed.); 1era Ed.).

Hassan, A. A., Fahmy, F. H., y El-Sayed, M. A. (2010). Stand-alone photovoltaic system for an emergency health clinic. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1(8), 1586-1591. <https://doi.org/10.24084/repqj08.729>

International Energy Agency-IEA. (2014). PV Systems for Rural Health Facilities in Developing Areas. En *Researchgate.Net*.
<https://www.researchgate.net/publication/273762878>

Kumar, D. (2015). Economic Assessment of Photovoltaic Energy Production Prospects in India. *Procedia Earth and Planetary Science*, 11, 425-436.
<https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.06.042>

Laine, H. S., Salpakari, J., Looney, E. E., Savin, H., Peters, I. M., y Buonassisi, T. (2019). Meeting global cooling demand with photovoltaics during the 21st century. *Energy and Environmental Science*, 12(9), 2706-2716. <https://doi.org/10.1039/c9ee00002j>

Mahmud, A. M. (2010). Evaluation of the solar hybrid system for rural schools in Sabah, Malaysia. *PECon2010 - 2010 IEEE International Conference on Power and Energy*, 1, 628-633. <https://doi.org/10.1109/PECON.2010.5697657>

Mbinkar, E. N., Asoh, D. A., Tchuidjan, R., y Baldeh, A. (2021). *Design of a Photovoltaic Mini-Grid System for Rural Electrification in Sub-Saharan Africa*. 91-110.
<https://doi.org/10.4236/epe.2021.133007>

Mejía, E. (2018). *Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica* [Universidad Politécnica Amazónica].
<http://repositorio.upa.edu.pe/handle/UPA/19>

Mejía, E. (2019). *Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica*.

- Revista Científica Pakamuros*, 7(2), 73-88.
<http://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/article/view/95/89>
- Melendez, M. (2023). *Diseño de un sistema fotovoltaico aislado para la demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica* [Universidad Politécnica Amazónica].
<http://hdl.handle.net/20.500.12897/196>
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., y Romero, H. (2018). Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. En Ediciones de la U (Ed.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (Quinta edi). www.edicionesdelau.com
- Ndagijimana, y Kunjithapathan, B. (2019). Design and implementation pv energy system for electrification rural areas. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(5), 2340-2352.
- Pareja, M. (2016). *Energía Solar Fotovoltaica. Cálculo de una Instalación Aislada*. (Marcombo (ed.); 3era Ed.).
- Ruiz, R. (2007). *El Método Científico y sus Etapas*. <http://www.index-f.com/lascasas/documentos/lc0256.pdf>
- Samaila, B., David D, Shehu A.A, y Yahaya M.N. (2022). Solar Photovoltaic System Design and Cost Estimations for Electrification of selected Primary Health Centres in Maiyama Local Government, Kebbi State. *Journal of Technology Innovations and Energy*, 1(3), 16-27. <https://doi.org/10.56556/jtie.v1i3.250>
- Twizeyimana, E. K., y Ndisanga, T. (2016). *Feasibility study of a sustainable power system for health facilities* [CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY].
<https://odr.chalmers.se/server/api/core/bitstreams/b05d84f4-c201-4fda-a6e2-a998deaf4b3e/content>
- Valdés, G. D., Rodríguez, E. R., Miranda, C., y Lillo, J. (2020). Viability study of photovoltaic systems as distributed sources of energy in the city of Arica, Chile. *Informacion Tecnologica*, 31(3), 249-256. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000300249>
- Wresta, A., Andriani, D., Saepudin, A., y Sudiby, H. (2015). Economic analysis of cow manure biogas as energy source for electricity power generation in small scale ranch. *Energy Procedia*, 68, 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.240>

Anexos

Anexo 01

Instrumentos de recolección de datos

Instrumento: Guía de observación de cargas eléctricas de aire acondicionado

Proyecto de tesis:

Tesista:

Fecha:

Ítem	Equipos de aire acondicionado	Marca/Modelo	Cargas eléctricas	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Potencia instalada (W)	Horas día	f.u	Energía diaria (kWh)
I	Unidad interior								
II	Unidad exterior								
					Energía diaria (kWh/día)				



Instrumento: Ficha de registro de radiación solar y temperatura.

Proyecto de tesis:

Tesista:

Fecha:

Latitud:

Longitud:

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Ángulo 0°												
Ángulo Latitud												
Ángulo Latitud -15												
Ángulo Latitud +15												
Ángulo 90°												
Temperatura a 2m (°C)												
Temperatura máx a 2m (°C)												



Anexo 02

Validez y confiabilidad

Constancia de evaluación

Yo, Mejía Vásquez Eduar Jamis, con DNI 40695828, de profesión Ingeniero Mecánico Electricista, con Registro CIP 86534; desempeñándome como Coordinador de Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica, hago constar:

Por medio de la presente he revisado con fines de validación los instrumentos: “Guía de observación de cargas eléctricas de aire acondicionado”, y “Ficha de registro de radiación solar y temperatura”; de la tesis del Bachiller en Ingeniería Mecánica, Villalobos Amaya Edinson, titulada **“Diseño de un sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica”**.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, se puede formular las siguientes apreciaciones:

Ítem	Criterio	Muy adecuado	Adecuado	Poco adecuado	Inadecuado
1	Congruencia de ítems	X			
2	Aptitud de contenido	X			
3	Redacción de ítems	X			
4	Metodología	X			
5	Pertinencia	X			
6	Coherencia	X			
7	Organización	X			
8	Objetividad	X			
9	Claridad	X			

Conclusión: El instrumento es: Muy adecuado.

Muy adecuado (X) Adecuado () Poco adecuado () Inadecuado ()

En señal de conformidad firmo la presente, en la ciudad de Bagua Grande a los 26 días del mes de agosto del 2023.

Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez
Coordinador Escuela Profesional
Ingeniería Mecánica -UPA

Anexo 03
Matriz de consistencia

1. TITULO	4. VARIABLE DE ESTUDIO	8. INSTRUMENTOS
<p>Diseño de un sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica</p>	<p>a) Variable independiente (VI) Diseño de un sistema fotovoltaico</p> <p>b) Variable dependiente (VD) Demanda de energía eléctrica</p>	<p>- Guía de observación de cargas eléctricas de aire acondicionado. - Ficha de registro de radiación solar y temperatura.</p>
2. FORMULACION DEL PROBLEMA	5. HIPOTESIS GENERAL	
<p>¿Se podrá diseñar un sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica?.</p>	<p>Se puede diseñar un sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica</p>	

3. OBJETIVOS	6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO
3.1. Objetivo General	<p>Se consideró una investigación no experimental (campo gabinete), con un nivel de investigación descriptiva. El diseño de la investigación es descriptivo con propuesta.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p><i>M:</i> O - - - -> P</p> <p>M: Oficina de admisión Universidad Politécnica Amazónica O: Observación de cargas de aire acondicionado P: Propuesta de diseño sistema fotovoltaico</p> </div> <p><i>Nota.</i> Diseño de investigación descriptivo con propuesta</p>	<p>Para el análisis estadístico se realizó con estadística descriptiva, donde se analizan los datos recolectados de cargas eléctricas de aire acondicionado y radiación solar para la zona de estudio, para posteriormente describir su comportamiento en el contexto de la investigación. Esta descripción se realizó mediante tablas y figuras, medidas numéricas utilizando el Excel.</p>
<p>Diseñar un sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica.</p>		
3.2. Objetivos Específicos		
<ul style="list-style-type: none"> - Determinar la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la UPA. - Estimar la radiación solar optima en el campus universitario de la UPA. - Dimensionar y selección de cada componente sistema fotovoltaico para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la UPA. - Evaluar económicamente el proyecto para la demanda de energía eléctrica del aire acondicionado de la oficina de admisión de la UPA. 		
	7. POBLACION Y MUESTRA	
	<ul style="list-style-type: none"> - Población: Oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica - Muestra: Oficina de admisión de la Universidad Politécnica Amazónica, año 2022. - Muestreo: No probabilístico por conveniencia del investigador. 	

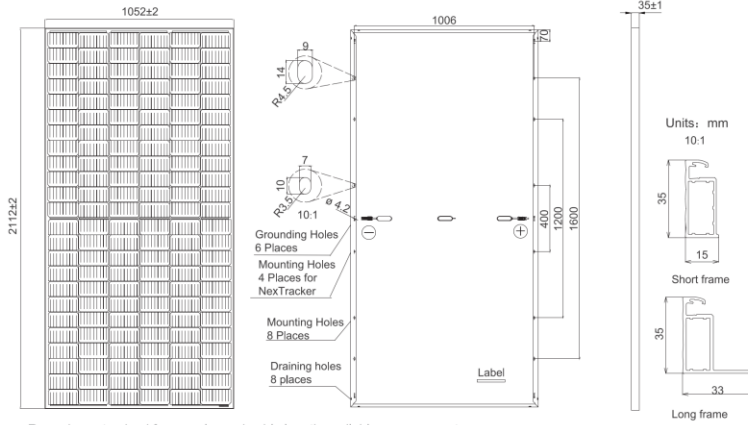
Anexo 04

Fichas técnicas

JASOLAR

JAM72S20 445-470/MR Series

MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	24.5kg
Dimensions	2112±2mm×1052±2mm×35±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	144 (6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	MC4-EVO2/ QC 4.10-35
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1200mm(+)/1200mm(-)
Packaging Configuration	31pcs/pallet 682pcs/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(Pmax) [W]	445	450	455	460	465	470
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.56	49.70	49.85	50.01	50.15	50.31
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.21	41.52	41.82	42.13	42.43	42.69
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.32	11.36	11.41	11.45	11.49	11.53
Maximum Power Current(Imp) [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 Isc(α _{Isc})	+0.044%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})	-0.272%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})	-0.350%/C					
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G					

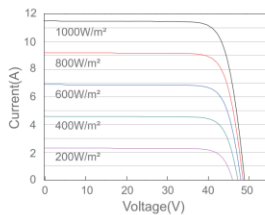
Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

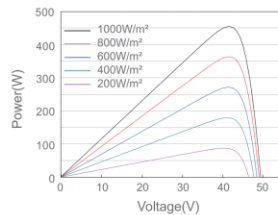
TYPE	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR	JAM72S20 -470/MR	OPERATING CONDITIONS
Rated Max Power(Pmax) [W]	336	340	344	348	352	355	Maximum System Voltage 1000V/1500V DC
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	46.65	46.90	47.15	47.38	47.61	47.84	Operating Temperature -40 C~+85 C
Max Power Voltage(Vmp) [V]	38.95	39.19	39.44	39.68	39.90	40.10	Maximum Series Fuse Rating 20A
Short Circuit Current(Isc) [A]	9.20	9.25	9.29	9.33	9.38	9.42	Maximum Static Load,Front* 5400Pa(112 lb/ft ²) Maximum Static Load,Back* 2400Pa(50 lb/ft ²)
Max Power Current(Imp) [A]	8.64	8.68	8.72	8.76	8.81	8.86	NOCT 45±2 C
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C,wind speed 1m/s, AM1.5G						Safety Class Class II
	*For NexTracker installations ,Maximum Static Load, Front is 1800Pa while Maximum Static Load, Back is 1800Pa.						Fire Performance UL Type 1

CHARACTERISTICS

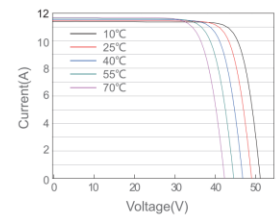
Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Power-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Premium Cells, Premium Modules

Version No. : Global_EN_20220511A



ATESS

HPS5000TLS







HPS7500TLS

HPS10000TLS

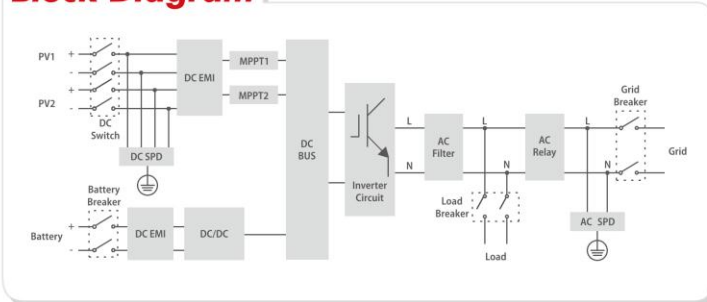
Overview

5-10kW single phase all-in-one hybrid inverter for home, school or villa application

Features

- 
All in one hybrid inverter
- 
Seamless on/off grid transfer
- 
Compact design
- 
Support remote control of DG
- 
Touchscreen LCD
- 
Programmable working mode

Block Diagram



Datasheet

ATESS HPS5000TLS

ATESS HPS7500TLS

ATESS HPS10000TLS

AC (Grid-connected)

Apparent power	6.25kVA	9.4kVA	12.5kVA
Rated power	5kW	7.5kW	10kW
Rated voltage	230V	230V	230V
Rated current	21.5A	32.6A	43.4A
Voltage range	210V - 250V	210V - 250V	210V - 250V
Rated frequency	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz
Frequency range	47~51.5/57~61.5Hz	47~51.5/57~61.5Hz	47~51.5/57~61.5Hz
THDI	<3%	<3%	<3%
PF	0.8lagging~0.8leading	0.8lagging~0.8leading	0.8lagging~0.8leading
AC connection	L/N/PE	L/N/PE	L/N/PE

AC(Off-grid)

Apparent power	6.25kVA	9.4kVA	12.5kVA
Rated power	5kW	7.5kW	10kW
Rated voltage	230V	230V	230V
Rated current	21.5A	32.6A	43.4A
THDU	≤2%linear	≤2%linear	≤2%linear
Rated frequency	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz
Overload capability	110%-10 mins 120%-1 min	110%-10 mins 120%-1 min	110%-10 mins 120%-1 min

DC (Battery and PV)

Max. PV Open-circuit voltage	600V	900V	900V
Recommended PV power	6kWp	9kWp	12kWp
PV MPPT voltage range	125V-550V	370V-720V	370V-720V
Number of MPPT	2	2	2
Recommended rated battery voltage	300V	350V	450V
Battery voltage range	85-500V	280-700V	280-700V
Full load battery voltage range	250-500V	300-700V	400-700V
Max. charge/discharge power	5kW	7.5kW	10kW
Max. charge/discharge current	25A	25A	25A

General Information

Protection devices	PV DC switch, battery breaker and fuse, PV fuse, grid breaker, load breaker		
Protection degree	IP65	IP65	IP65
Noise emission	<65dB(A)@1m	<65dB(A)@1m	<65dB(A)@1m
Operating temperature	-25 °C~+55 °C	-25 °C~+55 °C	-25 °C~+55 °C
Cooling	Forced-air	Forced-air	Forced-air
Relative humidity	0-95% non-condensing	0-95% non-condensing	0-95% non-condensing
Maximum altitude	6000m (derate over 3000m)	6000m (derate over 3000m)	6000m (derate over 3000m)
Dimension (W/H/D)	600/700/250mm	600/700/250mm	600/700/250mm
Weight	50kg	50kg	50kg
Topology	Transformerless	Transformerless	Transformerless
Lighting protection	Type II	Type II	Type II
Transfer between on/off grid	Automatic≤20ms	Automatic≤20ms	Automatic≤20ms
Standby consumption	<20W	<20W	<20W

Communication

Display	Touch screen	Touch screen	Touch screen
Communication	RS485/CAN	RS485/CAN	RS485/CAN

Certificate

CE, MEA, PEA, EN 61000-6-4:2007+A1:2011, EN61000-6-2:2005, EN62109-1:2010, EN62109-2:2011

RESU

Change Your Energy, Charge Your Life

48V



Modelos	RESU3.3	RESU6.5	RESU10
Energía total [kWh]	3.3	6.5	9.8
Energía utilizable [kWh]	2.9	5.9	8.8
Capacidad [Ah]	63	126	189
Tensión nominal [V]	51.8	51.8	51.8
Rango de voltaje [V]	42.0-58.8	42.0-58.8	42.0-58.8
Potencia máxima [kW]	3.0	4.2	5.0
Pico de potencia [kW] (durante 3 seg)	3.3	4.6	7.0
Dimensión [H x A x P, mm]	452 x 401 x 120	452 x 654 x 120	452 x 483 x 227
Peso [kg]	31	52	75
Clasificación de protección hermética	IP55		
Comunicación	CAN 2.0 B		
Certificación	Célula	UL1642	
	Producto	UL1973 / TUV (IEC 62619) / CE / FCC / RCM	

Marcas de inversores compatibles : SMA, SolaX, Sungrow, Schneider Electric, Ingeteam, GoodWe, Redback, Victron Energy
(A partir del tercer trimestre de 2016 se agregarán más) Inversor compatible



RESU Plus es un kit de expansión diseñado especialmente para los modelos 48V de la nueva serie de RESU. Con RESU Plus, todos los modelos 48V pueden ser interconectados entre sí.

- Dimensiones: 385 x 240 x 65 (HxAxP, mm)
- Unidad de baterías expandibles: máx. 2 unidades.
- Clasificación IP55

400V



Modelos	RESU7H	RESU10H
Energía total [kWh]	7.0	9.8
Energía utilizable [kWh]	6.6	9.3
Capacidad [Ah]	63	63
Rango de voltaje [V]	350-450	350-450 | 385-550
Potencia máxima [kW]	3.5	5.0
Pico de potencia [kW] (durante 10 seg)	5.0	7.0
Dimensión [H x A x P, mm]	744 x 692 x 206	744 x 907 x 206
Peso [kg]	76	97 | 99.8
Clasificación de protección hermética	IP55	
Comunicación	RS485	RS485 | CAN 2.0 B
Certificación	Célula	UL 1642
	Producto	TUV (IEC 62619) / CE / RCM | UL1973 / TUV (IEC 62619) / CE / FCC / RCM

Marcas de inversores compatibles : SMA(RESU10H), SolarEdge(RESU7H,10H) (A partir del tercer trimestre de 2016 se agregarán más)

02.3V Soporte coplanar continuo con salvatejas



Componentes del Kit



Tejas compatibles con la fijación



Menú Principal



Coplanar para cubiertas de teja



Ejemplos de instalación



Ver precio



Ficha técnica

Especificaciones	
Superficie de instalación	
Superficie de anclaje	
Tamaño máximo del panel	Sistema Kit: 2279x1150 Sistema PS: 2400x1350
Espesor del panel	de 30 a 45 mm
Kits disponibles	1 - 6 módulos
Sistema de unión de kits	S15
Tornillería de anclaje	No incluido
Velocidad del viento	Hasta 150 km/h (Ver documento de velocidades del viento)



Perfilería:
Aluminio EN AW
6005A.T6



Tornillería:
Acero inoxidable
A2-70



Anexo 05
Panel fotográfico



Nota. Unidad exterior del aire acondicionado (Compresor y condensador)



Nota. Unidad interior del aire acondicionado (Evaporador)



Nota. Interiores de la oficina de admisión UPA.