



**UPA** Universidad  
Politécnica Amazónica

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**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**

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

**AUTOR:**

**Bach. Manuel Gabriel Melendez Rojas**

**<https://orcid.org/0000-0001-8917-643X>**

**ASESOR:**

**Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez**

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

**Registro: UPA-PITIM0020**

**Bagua Grande – Perú**

**2023**

## **Dedicatoria**

A mis padres Manuel Meléndez y Madeleine Rojas por ser las personas más importantes en mi vida, soporte material y emocional para cumplir con mis metas trazadas y convertirme en una persona de bien al servicio de la sociedad. A mi hermano Marx Hildebrando por ser la persona en quien me inspiro para convertirme en ejemplo de hermano mayor.

Manuel Gabriel

## **Agradecimiento**

Al Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez, Coordinador de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica y asesor del trabajo de investigación por sus acertadas orientaciones durante el desarrollo del informe de investigación; por sus sabias orientaciones brindadas durante el desarrollo del proyecto de investigación, permitiendo cumplir a tiempo con los requerimientos propios del estudio.

Al Gerente de la Universidad Politécnica Amazónica, por facilitarme la toma de datos de las oficinas académicas del pabellón H para la realización de la presente investigación.

El autor

## **Autoridades universitarias**

**Rector** : Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán

**Coordinador de Escuela** : Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

### **Visto bueno del asesor**

Yo, 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 tesista Manuel Gabriel Melendez Rojas, en su tesis titulada: “Diseño de un Sistema Fotovoltaico Aislado para la Demanda de Energía Eléctrica de las Oficinas Académicas del Pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica”. Asimismo dejo constancia que se ha levantado las observaciones señaladas en la revisión previa a esta presentación.

Por lo indicado, doy fe y visto bueno.

Bagua Grande, 06 de enero del 2023



---

**Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez**

Asesor de Tesis

## Jurado evaluador



---

**Mg. Ing. Emilio Periche Chunga**

Presidente Jurado Evaluador



---

**Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán**

Secretario Jurado Evaluador



---

**Mg. Ing. Juan José Castañeda León**

Vocal Jurado Evaluador

## Declaración jurada de no plagio

Yo, Manuel Gabriel Melendez Rojas, identificado con DNI 70070480, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica Amazónica.

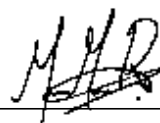
Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada: “Diseño de un Sistema Fotovoltaico Aislado para la Demanda de Energía Eléctrica de las Oficinas Académicas del Pabellón H 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, 06 de enero del 2023



---

Manuel Gabriel Melendez Rojas

DNI 70070480

## Índice

|  |      |
|--|------|
| Dedicatoria.....                           | ii   |
| Agradecimiento.....                        | iii  |
| Autoridades universitarias .....           | iv   |
| Visto bueno del asesor .....               | v    |
| Jurado evaluador.....                      | vi   |
| Declaración jurada de no plagio .....      | vii  |
| 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 de la investigación..... | 3    |
| 1.3.1 Justificación social.....            | 3    |
| 1.3.2 Justificación ambiental .....        | 3    |
| 1.3.3 Justificación económica.....         | 3    |
| 1.3.4 Justificación científica .....       | 3    |
| 1.4 Hipótesis.....                         | 4    |
| 1.5 Objetivos .....                        | 4    |
| 1.5.1 Objetivo general.....                | 4    |
| 1.5.2 Objetivos específicos .....          | 4    |
| II Marco teórico .....                     | 5    |
| 2.1 Antecedentes .....                     | 5    |
| 2.1.1 A nivel internacional.....           | 5    |



|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.1.2 | A nivel nacional .....   | 6  |
| 2.1.3 | A nivel regional o local.....  | 7  |
| 2.2   | Bases teóricas .....   | 8  |
| 2.2.1 | Energía solar .....  | 8  |
| 2.2.2 | Sistema fotovoltaico .....   | 9  |
| 2.2.3 | Sistemas fotovoltaicos aislados .....  | 9  |
| 2.2.4 | Producción anual de energía eléctrica .....  | 11 |
| 2.2.5 | Demanda de energía eléctrica .....   | 11 |
| 2.3   | Definición de términos .....   | 11 |
| III   | Materiales y métodos .....   | 13 |
| 3.1   | Diseño de la investigación.....  | 13 |
| 3.2   | Población y muestra .....  | 13 |
| 3.3   | Determinación de variables .....   | 14 |
| 3.4   | Matriz de operacionalización de variables .....  | 14 |
| 3.5   | Fuentes de información .....   | 14 |
| 3.6   | Métodos.....   | 15 |
| 3.7   | Técnicas e instrumentos .....  | 15 |
| 3.8   | Procedimiento.....   | 16 |
| 3.9   | Análisis estadístico.....  | 18 |
| 3.10  | Consideraciones éticas .....   | 18 |
| IV    | Resultados.....  | 19 |
| 4.1   | Resultados de recurso solar en la zona del proyecto .....                              | 19 |
| 4.2   | Resultados demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas pabellón<br>H. .... | 20 |
| 4.3   | Resultados de dimensionamiento de los componentes sistema fotovoltaico<br>aislado..... | 23 |
| 4.3.1 | Resultados de cálculo de pérdidas de la instalación .....                              | 23 |

|   |    |
|---|----|
| 4.3.2 Resultados de selección de la tensión de generación del sistema fotovoltaico..... | 24 |
| 4.3.3 Resultados potencia pico del sistema de generación fotovoltaica .....             | 25 |
| 4.3.4 Resultados de cálculo y selección de inversor .....                               | 26 |
| 4.3.5 Resultados de cálculo y configuración de los módulos fotovoltaicos ....           | 27 |
| 4.3.6 Resultados de la capacidad de almacenamiento y número de baterías ...             | 28 |
| 4.3.7 Resultados de cálculo de conductores .....  | 30 |
| 4.3.8 Resultados de cálculo de protecciones en la instalación fotovoltaica.....         | 31 |
| 4.3.9 Estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos .....                          | 33 |
| 4.3.10 Topología del sistema fotovoltaico dimensionado .....                            | 33 |
| 4.4 Resultados de evaluación económica de proyecto. ....                                | 34 |
| 4.4.1 Presupuesto del sistema fotovoltaico .....  | 35 |
| 4.4.2 Costo Nivelado de Energía .....   | 36 |
| 4.4.3 Valor actual neto .....   | 38 |
| 4.4.4 Tiempo de recuperación.....   | 39 |
| 4.4.5 Ratio Beneficio – Costo .....   | 39 |
| V Discusión .....   | 42 |
| Conclusiones.....   | 44 |
| Recomendaciones .....   | 45 |
| Referencias bibliográficas .....  | 46 |

## Índice de tablas

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Tabla 1  | Operacionalización de variables e indicadores .....                                       | 14 |
| Tabla 2  | Radiación diaria promedio en la zona, kWh/m <sup>2</sup> /día, 2018 -2021 .....           | 19 |
| Tabla 3  | Resultados de consumo eléctrico diario de la vivienda unifamiliar .....                   | 22 |
| Tabla 4  | Valores referenciales de tensión del sistema en función de la demanda eléctrica.<br>..... | 25 |
| Tabla 5  | Datos técnicos del inversor seleccionado ATESS .....                                      | 26 |
| Tabla 6  | Parámetros eléctricos del panel fotovoltaico seleccionado JA Solar .....                  | 27 |
| Tabla 7  | Cálculo de conductores del sistema fotovoltaico .....                                     | 31 |
| Tabla 8  | Presupuesto referencial del sistema fotovoltaico .....                                    | 35 |
| Tabla 9  | Costos de mantenimiento anual del sistema fotovoltaico .....                              | 36 |
| Tabla 10 | Costos de reinversión sistema fotovoltaico.....   | 36 |
| Tabla 11 | Resultados de cálculo del LCOE para la instalación fotovoltaica .....                     | 38 |
| Tabla 12 | Resultados de evaluación económica, interés para VAN 10% .....                            | 40 |
| Tabla 13 | Resultados de evaluación económica, interés para VAN 6 % .....                            | 41 |

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 Sistema fotovoltaico referencial .....  | 9  |
| Figura 2 Diseño de la investigación .....  | 13 |
| Figura 3 Ubicación oficinas académicas, Universidad Politécnica Amazónica .....  | 16 |
| Figura 4 Procedimiento de cálculo para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico aislado. ....                            | 17 |
| Figura 5 Radiación diaria promedio para el ángulo de inclinación optimo calculado, kWh/m <sup>2</sup> /día, 2018 -2021 ..... | 20 |
| Figura 6 Distribución de ambientes de las oficinas académicas del pabellón H. ....   | 21 |
| Figura 7 Estructuras de soporte coplanar continuo con salvatejas para cubierta de teja mixta. ....                           | 33 |
| Figura 8 Topología del sistema fotovoltaico dimensionado .....   | 34 |

## RESUMEN

La investigación trata sobre el diseño de un sistema fotovoltaico aislado para la demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica. En función de la demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas del pabellón H, se selecciona y se diseña el sistema fotovoltaico. En la investigación se explica la visión general del sistema solar fotovoltaico desde la evaluación del recurso solar, demanda de energía hasta el dimensionamiento y evaluación económica. Se dimensionó y se seleccionó el tamaño del sistema fotovoltaico, inversor, la batería, conductores, y sistemas protección eléctrica. También se calcularon los precios de la electricidad, el LCOE calculado es de 1.134 S/./kWh para una tasa de descuento del 7 %. El proyecto resultó no rentable para una tasa de interés para el VAN del 10 %, VAN -27337.96, TIR 7.35%, y B/C 0.79. Se analizó para otro escenario donde se hace un poco rentable al largo plazo (año 21) tomando un interés para el VAN de 6 %, VAN 12017.30, TIR 7.35%, y B/C 1.09. Por lo tanto, la fuente de energía fotovoltaica es una solución energética viable desde el punto de vista ambiental.

**Palabras clave:** Diseño, sistema fotovoltaico, aislado, demanda de energía, oficinas académicas.

## ABSTRACT

The research deals with the design of an isolated photovoltaic system for the electrical energy demand of the academic offices of pavilion H of the Amazon Polytechnic University. Based on the demand for electrical energy from the academic offices in Hall H, the photovoltaic system is selected and designed. The research explains the general vision of the photovoltaic solar system from the evaluation of the solar resource, energy demand to the dimensioning and economic evaluation. The size of the photovoltaic system, inverter, battery, conductors, and electrical protection systems were dimensioned and selected. Electricity prices were also calculated, the calculated LCOE is 1.134 S/./kWh for a 7% discount rate. The project was not profitable for an interest rate for the VAN of 10%, VAN -27337.96, TIR 7.35%, and B/C 0.79. It was analyzed for another scenario where it becomes a little profitable in the long term (year 21) taking interest for the VAN of 6%, VAN 12017.30, TIR 7.35%, and B/C 1.09. Therefore, the photovoltaic power source is a viable energy solution from an environmental point of view.

**Keywords:** Design, photovoltaic system, isolated, energy demand, academic offices.

## **I. Introducción**

### **1.1 Realidad problemática**

La energía fotovoltaica (PV) para aplicaciones de sistemas de edificios está experimentando crecimiento. Esta mayor actividad es el resultado de que los propietarios de edificios se sientan más seguros con esta nueva tecnología, los diseñadores se sientan más cómodos incorporando la energía fotovoltaica en los diseños eléctricos y arquitectónicos de los edificios, la disminución del costo del sistema fotovoltaico, la mayor conciencia pública sobre el agotamiento de los recursos energéticos convencionales y los problemas relacionados con la energía, fiabilidad y estabilidad. Por lo general, estos sistemas cumplen objetivos principales para compensar las cargas eléctricas del edificio, disminuir la demanda eléctrica del edificio o proporcionar un suministro de energía continuo durante los cortes de la red pública; pero debido a fallas de diseño, errores de instalación o mantenimiento inadecuado, estos sistemas pueden funcionar por debajo de las expectativas de diseño (Hayter et al., 2002).

La energía es uno de los candidatos más prometedores, que juega un papel importante en el crecimiento económico de las naciones del mundo. Varios factores como la urbanización, la modernización y el aumento de la población humana conducen a un fuerte aumento de la demanda de energía en el mundo. En los países desarrollados, el consumo de energía está aumentando a una tasa del 1% anual y del 5% anual para los países en desarrollo. La tendencia energética del futuro muestra que la cantidad de energía necesaria se duplicará en 2020 según la Agencia Internacional de Energía (AIE) (Al-Najideen y Alrwashdeh, 2017).

La electricidad es un elemento fundamental para el progreso financiero y el crecimiento socioeconómico de un país. Los combustibles fósiles como el petróleo, el gas y el carbón se utilizan generalmente en la generación de energía a gran escala que han causado contaminación ambiental, agotamiento de la capa de ozono y calentamiento global. En los últimos años, la conciencia ambiental del calentamiento global se ha concentrado en recursos renovables como la solar, eólica, biomasa y mareomotriz. Como resultado, se están desarrollando pequeñas plantas de generación distribuida (DG) que utilizan recursos de

energía renovable (RE). Para aplicaciones fuera de la red, los sistemas de energía híbridos que utilizan recursos de energía renovable junto con generadores diésel son comunes. El transporte de combustible, sin embargo, es un problema importante para las regiones distantes. Según el lugar del sitio, la capacidad y los recursos disponibles, la configuración del sistema híbrido difiere. Para evaluar el tamaño, el costo y la eficacia, es necesaria una evaluación de la viabilidad técnica y económica (Al-Qahdan et al., 2021).

El crecimiento de la población y la introducción de nuevas tecnologías están aumentando la demanda de electricidad, aumentando las emisiones de gases de efecto invernadero y acelerando el cambio climático, al tiempo que impactan en la economía de la población. El cambio climático es uno de los principales problemas que vive la tierra en el año, y su principal causa es el efecto invernadero provocado por la quema de combustibles fósiles como el petróleo y el carbón. La causa directa de estos impactos es el ser humano a través del uso indiscriminado de combustibles fósiles. En los últimos años, la situación ha empeorado, trayendo cambios climáticos como sequías, lluvias y temperaturas cálidas y frías. Impactos sobre toda la vida en la Tierra (Reyes, 2019).

Habiendo descrito la realidad problemática, la Universidad Politécnica Amazónica debería formar parte de estos cambios, mejorando la calidad de suministro eléctrico, procesos de gestión ambiental y aplicando nuevas tecnologías. Las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica, utilizan energía proveniente de la red del concesionario, y presenta problemas de confiabilidad y calidad en el suministro eléctrico por cortes de energía que se dan, además presenta elevados costos de facturación eléctrica. La integración de la fotovoltaica en los centros de carga puede reducir las pérdidas de energía y aumentar la tensión de la red eléctrica. Además, el mantenimiento y la operación también son fáciles pero tienen un impacto significativo para reducir la contaminación y el efecto invernadero.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Se podrá diseñar un sistema fotovoltaico aislado para satisfacer la demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica?.



### **1.3 Justificación de la investigación**

#### **1.3.1 Justificación social**

Este proyecto permitirá a los estudiantes y docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica conocer los sistemas fotovoltaicos aislados y sus aplicaciones y replicarlos para otro tipo de cargas en lugares aislados e instituciones educativas que permita generar energía.

#### **1.3.2 Justificación ambiental**

El proyecto se enfoca en el autoconsumo sin conexión a la red eléctrica como una forma alternativa de desarrollar nuevos modelos energéticos, ayudando a reducir el impacto ambiental de las oficinas académicas del Pabellón H de la Universidad Politécnica de Amazonas. Al concluir la investigación, la universidad contará con el diseño de un sistema fotovoltaico aislado para la futura generación de energía eléctrica y mejora de su eficiencia energética, lo que podría contribuir a obtener una certificación del tipo ambiental.

#### **1.3.3 Justificación económica**

El proyecto también contribuiría al ahorro económico y a mejorar la imagen pública de la universidad, se reducirían los costos de facturación eléctrica para la Universidad Politécnica Amazónica, dependiendo de la topología del sistema fotovoltaico.

#### **1.3.4 Justificación científica**

Este estudio pretende cambiar problemas existentes, el diseño de los sistemas fotovoltaicos que generan electricidad en el campus. Esto mejora la calidad de suministro eléctrico, eficiencia energética y la imagen de la institución. La universidad debe tener una política ambiental organizacional que demuestre el compromiso ambiental de la universidad con los cuerpos estudiantiles, otras partes interesadas y el país en general. Los resultados de este estudio muestran que el uso de energías renovables como fuente de generación de energía que aumenta la confiabilidad del sistema, y la eficiencia energética de instituciones

de todo tipo, por lo que otras universidades u otro tipo de instituciones educativas que tienen conocimiento pueden incluirse este tipo de proyectos.

## **1.4 Hipótesis**

Se puede diseñar un sistema fotovoltaico aislado para satisfacer la demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema fotovoltaico aislado para la demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Evaluar el recurso solar en la zona del proyecto.
- Determinar la demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas del pabellón H.
- Dimensionar los componentes sistema fotovoltaico aislado.
- Evaluar económicamente el proyecto.

## II Marco teórico

### 2.1 Antecedentes

#### 2.1.1 A nivel internacional

Al-Qahdan et al. (2021) diseñaron de manera óptima un sistema solar fotovoltaico con almacenamiento de batería para un edificio universitario y evaluar el rendimiento técnico del sistema propuesto mediante el uso de la simulación PVsyst. Tres edificios de la Facultad de Tecnología de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Malasia Perlis han sido elegidos como estudio de caso. La creciente demanda de energía y el desarrollo de la tecnología de energía renovable ha sido el catalizador para la utilización de energía de recursos renovables. La recolección de energía solar, especialmente a través de la tecnología fotovoltaica, es la más atractiva y favorecida en Malasia. Las metodologías incluyen la recopilación de datos para el perfil de carga y datos meteorológicos, como la radiación solar y la temperatura, el dimensionamiento de los componentes del sistema y, por último, el uso de la simulación PVsyst para evaluar el rendimiento técnico del sistema propuesto. El resultado muestra que el sistema podría producir 168 989 kWh de energía a la carga que es técnicamente adecuada para el sitio debido a la producción de alto rendimiento específico y la relación de rendimiento además de la alta fracción solar. Además, el sistema podría ahorrar 61 801 al año en la factura de electricidad, mientras que desde el punto de vista de la sostenibilidad, se podrían evitar 117 toneladas de CO<sub>2</sub> mediante el uso de energía renovable al año.

García y Peñuela (2019) realizaron el diseño e implementación de un sistema de paneles solares como prueba piloto para suministro energético de dispositivos móviles, ubicado en la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio campus Loma Linda. Para ello se ha implementado una instalación aislada de red o autónoma, debido a su autonomía y facilidad de diseño e implementación. Método de estudio de tipo descriptivo y cuantitativo basada en una revisión bibliográfica sobre un modelo de planta fotovoltaica que cumpla con los criterios de eficiencia ambiental y económica, que se adapte a las necesidades de demanda de energía para dispositivos móviles de la comunidad de la Universidad Santo Tomás campus Loma Linda, sede Villavicencio a partir de una energía limpia. Los

resultados se analizaron en tres momentos (estadístico descriptivo sobre la percepción socio-ambiental de la comunidad, descriptivo sobre mapas de radiación solar del área, e impacto socio-ambiental después de la instalación), para el primero se realizaron 250 encuestas en el Campus, en el segundo se llevó a cabo la realización de los mapas de radiación solar con datos obtenidos por el IDEAM y por el último se realizaron cálculos sobre la generación de GEI a partir de la implementación del sistema.

Al-Najideen y Alrwashdeh (2017) diseñaron un sistema solar fotovoltaico para cubrir la demanda de electricidad de la facultad de ingeniería de la Universidad de Mu'tah en Jordania. El uso de los recursos disponibles de manera eficiente y efectiva para reducir la factura de energía es una forma de reducir el consumo de energía y la generación de electricidad. El sistema fotovoltaico en red considera la forma más prometedora de lograr el objetivo de ahorro. Para ello, la disponibilidad del sistema solar fotovoltaico como fuente de generación eléctrica para la Facultad de Ingeniería propuso diseñar una planta de energía solar fotovoltaica de 56.7 kW conectada a red para cubrir la demanda eléctrica. El análisis reveló que la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Mu'tah consumía 96 MWh anualmente y al instalar un sistema fotovoltaico en red con una capacidad de 56.7 KW, la producción de electricidad a la red será de 97.02 MWh por año, que cubre la demanda de electricidad de Facultad de Ingeniería de la Universidad de Mu'tah con un costo de capital de \$ 117 000 y un período de recuperación de aproximadamente 5.5 años.

### **2.1.2 A nivel nacional**

Reyes (2019) realiza una propuesta para el aprovechamiento de energías renovables, mediante el dimensionamiento y diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica de tres pisos del edificio D de la Universidad ESAN, ubicada en el distrito de Santiago de Surco – Lima. Además, se estimó la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>eq generadas por los equipos utilizados en dichos pisos y se evaluó la eficiencia energética pre y post propuesta de uso del sistema fotovoltaico. Para el estudio se utilizó la metodología de auditorías energéticas, monitoreo de parámetros meteorológicos y encuestas a alumnos, profesores y trabajadores que utilizan las instalaciones del edificio D de la Universidad, obteniendo como principales resultados que los equipos que más consumen más energía eléctrica son las luminarias y el aire acondicionado. En el dimensionamiento se obtuvo una

cantidad de 155 paneles solares, 374 baterías, 2 reguladores y 79 inversores, que cubren el 18.6% de la energía eléctrica demandada por los 3 pisos elegidos.

Rufasto (2019) diseñó un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica a la sala de cómputo de la Universidad Nacional de Jaén. Realizó la evaluación del recurso solar con datos de la estación meteorológica Davis Vantage Pro 2 y comparando los resultados con los datos de la NASA, determinó la demanda energética y el diseño de cada uno de los componentes del sistema fotovoltaico. Asimismo hizo la comparación de la energía solar con la energía eléctrica. Determino que el consumo de energía promedio diario de 59.52 kWh/día. Los componentes del sistema fotovoltaico autónomo que se seleccionaron son 116 paneles fotovoltaicos de 335 Wp, 7 reguladores MPPT-Victron Energy 100A/48V, 01 inversor/cargador Quattro Victron Energy 48/8000-220V; 72 baterías TFS U-Power 12 V CD y 250 Ah. En el análisis de la comparación de la energía eléctrica convencional con la energía fotovoltaica calculó que el costo de inversión fue S/. 246249.02, mientras que el ahorro económico en 01 año fue de S/. 21710.30. Además, tiempo de recuperación del sistema fotovoltaico será dentro del año 13 de haber instalado el sistema.

### **2.1.3 A nivel regional o local**

Mejía (2019) diseñó un sistema fotovoltaico autónomo para suministro de electricidad al laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica. Utiliza datos de la NASA, el recurso solar evaluado para la zona, varía desde un mínimo de 3.88 kWh/m<sup>2</sup>/día en el mes de febrero, hasta un máximo de 5.12 kWh/m<sup>2</sup>/día en noviembre para un ángulo óptimo de inclinación de 5°. Aplicó el criterio de seleccionar la radiación en el mes más desfavorable febrero (3.88 kWh/m<sup>2</sup>/día). Estimó que la carga o demanda eléctrica conectada al laboratorio de Ingeniería Mecánica es de 2 944 W, y la demanda de energía eléctrica teórica es de 7 056 Wh/día. Los componentes del sistema se dimensionaron para suministrar y cubrir la demanda de energía eléctrica real de 8 980.53 Wh/día ó 187.09 Ah/día, para una tensión nominal de 48 V. Para la implementación se estimó 28 paneles fotovoltaicos de 135 Wp para conectarse 04 en serie y 07 en paralelo; 01 regulador de carga de 85 A, 48 V CD, y 4 850 W; 01 inversor monofásico de 48 V CD/230 V CA, 4 000 W, y 60 HZ; 24 baterías de 85 Ah de 12V CD para ser conectadas 04 en serie y 06 en paralelo.

Florián (2022) dimensionó un sistema eléctrico fotovoltaico para la demanda eléctrica del Taller de Procesos de Manufactura de la Universidad Politécnica Amazónica. Nivel de investigación descriptiva, y un diseño no experimental. Determinó la radiación en el mes más desfavorable  $4.02 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$  para una inclinación óptima calculada de  $7.44^\circ$ . La demanda de energía eléctrica es  $30.08 \text{ kWh/día}$ , y potencia nominal de  $8.49 \text{ kW}$ . Determinó 24 paneles fotovoltaico mono cristalino SpolarPV SP470M6-96 de  $500 \text{ Wp}$ , que se agruparon de acuerdo al número de rastreadores MPPT del inversor, generador MPPT1 de  $8 \text{ kWp}$ , y el otro de  $4 \text{ kWp}$ , con una tensión de generación de  $433.68 \text{ V}$ ; para el subsistema de potencia se determinó un inversor híbrido X3-HYBRID-10.0T, rango de tensión de operación MPPT:  $180\text{-}950 \text{ V}$ , potencia salida  $10 \text{ kW}$ , y tensión salida  $380/220 \text{ V AC}$ , y para el almacenamiento determinó 02 baterías LG Chem RESU10H tipo R,  $63 \text{ Ah}$ , rango de voltaje  $350\text{-}450 \text{ V}$ , conectadas en paralelo. Realizó una evaluación económica con el pliego tarifario BT2 para la red eléctrica comparando un sistema solar aislado con y sin baterías. Resulta que un sistema solar aislado con baterías no es factible. Para una instalación aislada sin baterías se tuvo un retorno de inversión de 14.9 años, se concluye que es factible en este escenario por el retorno de la inversión a largo plazo y el periodo de evaluación de 25 años.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Energía solar**

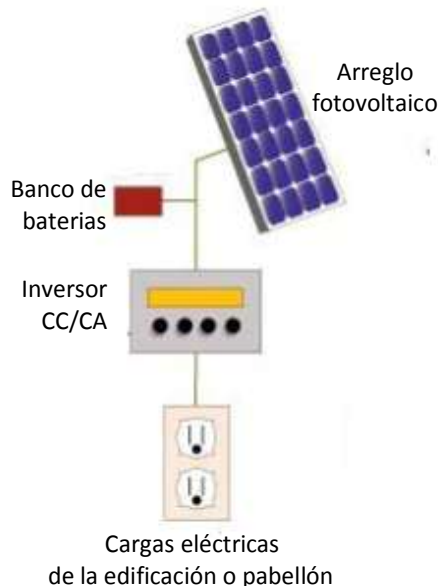
La radiación global varía mucho según la posición geográfica de la región y las diferentes estaciones durante un año (Kifle et al., 2018). La energía del sol puede explotarse directamente en forma de calor o convertirse primero en energía eléctrica y luego utilizarse. En consecuencia, la energía solar se clasifica en solar térmico y solar fotovoltaica (PV). La energía solar térmica tiene numerosas aplicaciones, como el calentamiento de agua, el secado de verduras y productos agrícolas, la cocina, etc. Las aplicaciones de los secadores y cocinas solares han encontrado un uso moderado simplemente por el bajo nivel de difusión de estas tecnologías. La energía solar fotovoltaica, por otro lado, se usa ampliamente no solo en los países en desarrollo sino también en los países altamente desarrollados. La aplicación de la energía solar fotovoltaica es prácticamente ilimitada (Shakya y Raj, 2016).

### 2.2.2 Sistema fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos, están diseñados para entregar una corriente alta durante un período corto, mientras que las baterías de respaldo deben entregar una corriente relativamente continúa durante períodos prolongados. Las baterías especiales de descarga profunda son las más adecuadas. Ciertos tipos de baterías de descarga profunda liberan pequeñas cantidades de hidrógeno cuando se cargan y deben mantenerse en un recinto ventilado, lejos de llamas abiertas o chispas (Derbie y Gont, 2019). En la Figura 1, se muestra un sistema fotovoltaico referencial.

**Figura 1**

*Sistema fotovoltaico referencial*



*Nota.* Muestra los componentes principales de un sistema fotovoltaico.

### 2.2.3 Sistemas fotovoltaicos aislados

Se caracterizan por tener como fuente únicamente la energía generada por los paneles fotovoltaicos. Por lo tanto, se necesita un dispositivo de almacenamiento de energía, generalmente un banco de baterías, para garantizar el suministro de energía durante la noche o en períodos de baja incidencia solar. En general, un solo sistema de energía fotovoltaica se compone básicamente de una matriz de módulos fotovoltaicos, un controlador de carga,

una o más baterías, y un inversor, en caso de que haya cargas operando con voltaje CA (López Seguel et al., 2013).

Para sistemas de energía aislados, las baterías son el corazón de cualquier sistema de energía solar. Proporcionan el almacenamiento de energía necesario para garantizar la disponibilidad de energía constante para las cargas. Asimismo para los sistemas de energía autónomos, un inversor proporciona una salida de CA de 220 V para hacer funcionar dispositivos estándar con la alimentación de CC del banco de baterías. (Derbie y Gont, 2019). Los inversores, convierte la salida de CC de los paneles fotovoltaicos en una corriente alterna CA limpia para las cargas de CA o la retroalimenta a la línea de la red. Es uno de los elementos principales del sistema de energía solar, ya que los paneles solares generan corriente continua. También se le llama acondicionador de potencia porque cambia la forma de la energía eléctrica. La eficiencia de todos los inversores alcanza su eficiencia nominal (alrededor del 90 por ciento) cuando la demanda de carga es superior al 50 por ciento de la carga nominal (Al-shamani et al., 2013).

### **Diseño del sistema fotovoltaico**

En aplicaciones de sistemas fotovoltaicos fuera de la red, la matriz fotovoltaica y los bancos de baterías asociados deben dimensionarse cuidadosamente para poder satisfacer las demandas de carga durante los períodos con la energía solar más baja. En las aplicaciones conectadas a la red, en la presencia de la red elimina la necesidad de hacer coincidir estrechamente el tamaño del sistema con las cargas eléctricas durante todo el año. Para los sistemas de medición neta en los que la empresa de servicios públicos no paga el exceso de generación de electricidad, la energía solar anual estimada, la generación de electricidad debe ser menor o igual al consumo anual de electricidad, ya que no hay ningún beneficio financiero por generar más electricidad de la que necesita (Derbie y Gont, 2019). Por otra parte, un inversor conectado a la red para convertir la potencia de entrada de CC de los generadores fotovoltaicos en potencia de CA inyectada en la red. Incluye algoritmos de control para el seguimiento del punto máximo (MPPT), sincronización para hacer que el inversor esté liderado por la red y algoritmo anti-isla para garantizar la seguridad durante los tiempos de corte de la red (Omar y Mahmoud, 2019).



## **2.2.4 Producción anual de energía eléctrica**

La generación de electricidad se considera necesaria para pronosticar el desempeño futuro de la matriz, que luego se utiliza como entrada en el modelo económico. El ángulo de inclinación de los módulos tiene un gran impacto en la cantidad de radiación solar incidente recogida en la superficie. Teóricamente, la potencia máxima anual del módulo se produce cuando los módulos miran hacia el camino del sol (Lee et al., 2016).

## **2.2.5 Demanda de energía eléctrica**

Las necesidades energéticas de una instalación dependen de varios factores, como el tamaño de los paneles solares necesarios para cargar las baterías, la capacidad de los acumuladores necesarios para satisfacer las necesidades de los consumidores de energía eléctrica de noche o en días oscuros (Mbinkar et al., 2021). La demanda es la cantidad de electricidad que requiere un equipo o carga en un solo momento. Se mide en kilovatios (kW). El consumo es la cantidad de electricidad que usa un equipo durante un período de tiempo. Esto se mide en kilovatios-hora (kWh).

### **Determinación de demanda de energía eléctrica**

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 equipo que se utilizará y el número de horas que se supone que el equipo 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 et al., s. f.).

## **2.3 Definición de términos**

### **Diseño del sistema**

El diseño del sistema implica evaluar los valores exactos de voltaje y corriente de cada componente del sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda de energía de la

instalación, mientras se calcula el precio total de todo el sistema, desde el diseño hasta la fase funcional sistema, transporte y montaje electromecánico (Al-shamani et al., 2013).

### **Módulos solares**

El corazón de un sistema fotovoltaico es el módulo solar. El fabricante conecta muchas células fotovoltaicas para producir un módulo solar. Cuando se instalan en un sitio, los módulos solares se conectan en serie para formar cadenas. Las cadenas de módulos se conectan en paralelo para formar una matriz (Roos, 2009).

### **Banco de baterías**

Almacena la energía eléctrica producida por las células fotovoltaicas y hace que la energía esté disponible por la noche o en días oscuros (días de autonomía o días sin sol) (Oko et al., 2012).

### **Inversor**

Convierte la salida de CC de los paneles fotovoltaicos en una corriente alterna CA limpia para las cargas de CA o la retroalimenta a la línea de la red. Es uno de los elementos principales del sistema de energía solar, ya que los paneles solares generan corriente continua (Al-shamani et al., 2013).

### **Carga eléctricas**

Son los aparatos eléctricos que se conectan al sistema fotovoltaico solar (Al-shamani et al., 2013).

### **Demanda de energía eléctrica**

La demanda, es la cantidad de electricidad que requiere un equipo o carga en un solo momento, se mide en kilovatios (kW). El consumo es la cantidad de electricidad que usa un equipo durante un período de tiempo, esto se mide en kilovatios-hora (kWh).

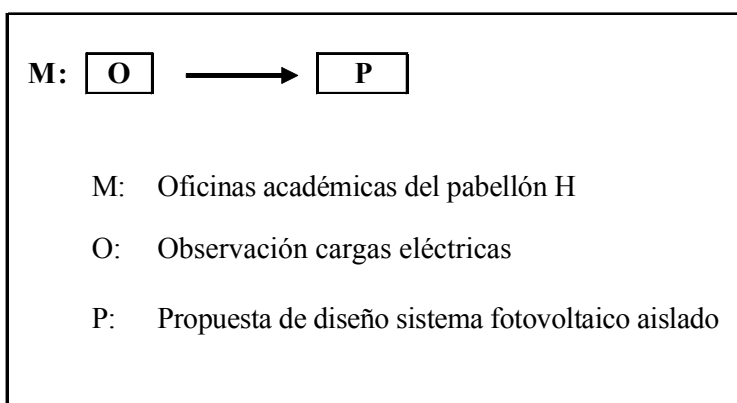
### III Materiales y métodos

#### 3.1 Diseño de la investigación

El diseño 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 (Lázaro y Panduro, 2020). En referencia a los objetivos planteados, el diseño de la investigación fué descriptivo con propuesta, no experimental.

#### Figura 2

*Diseño de la investigación*



*Nota.* Diseño de investigación descriptivo con propuesta

#### 3.2 Población y muestra

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; López, 2004). Para la investigación la población y muestra son las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica, y como observación las cargas eléctricas. También se tomó la radiación solar en resolución mensual para los últimos 03

años (2018-2021). Se consideró un muestreo no probabilístico a conveniencia del investigador.

### 3.3 Determinación de variables

- **Variable dependiente.**  
Demanda de energía eléctrica
- **Variable independiente.**  
Diseño sistema fotovoltaico aislado

### 3.4 Matriz de operacionalización de variables

En la Tabla 1, se muestra la operacionalización de variables, tomando en cuenta el problema y la posible solución.

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables e indicadores*

| Variables            |   | Indicadores   |
|----------------------|---|---|
| <b>Dependiente</b>   | Demanda energía eléctrica                 | - Energía eléctrica (kWh/día).<br>- Potencia eléctrica (kW).  |
| <b>Independiente</b> | Diseño de un sistema fotovoltaico aislado | - Energía eléctrica (kWh/día).<br>- Radiación solar para ángulo óptimo (kWh/m <sup>2</sup> /día).<br>- Potencia de generación (kWp)<br>- Costo energía (LOCE) (\$./kWh).<br>- Retorno de inversión (Años).<br>- Beneficio/costo |

### 3.5 Fuentes de información

La fuente de información primaria, se basó en materiales originales en los que se basan otras investigaciones; y las fuentes secundarias en la interpretación, comentario o análisis de otras fuentes. Para la investigación la recolección de datos de campo, son cargas

eléctricas de las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica, distribución de equipos, áreas para ubicación de los paneles fotovoltaicos. Asimismo para el trabajo en gabinete (formulación, cálculos y dimensionamiento), se obtuvo datos de radiación solar disponibles del aplicativo de la NASA en resolución mensual para los últimos 03 años (2018-2021).

### **3.6 Métodos**

El método deductivo, es una manera de argumento que parte de una verdad universal para sacar conclusiones concretas; en la investigación científica, este procedimiento tiene la doble funcionalidad de cubrir resultados desconocidos desde principios conocidos, procedimiento deductivo en contraposición al procedimiento inductivo. Con respecto al procedimiento analítico, es un procedimiento que diferencia las piezas de un todo y nace con un análisis sistemático de cada componente individual; este procedimiento es eficaz una vez que se hace un trabajo de investigación científica documental, que se basa en un examen por separado de todos los materiales necesarios para la investigación (Maya, 2014). De lo anterior se puede concluir, que el método inductivo primero ve el problema, para la investigación (demanda de energía eléctrica), la conclusión puede ser afirmativa que la situación conduce a un resultado definido. El análisis y síntesis consiste en separar el objeto de estudio en sus componentes para conocer la naturaleza del fenómeno, sus causas y consecuencias, así como las características específicas del funcionamiento del sistema fotovoltaico.

### **3.7 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 la investigación se utilizó la técnica de observación y análisis documental. Asimismo los instrumentos fueron validados por expertos.

- Técnicas de observación: Instrumento guías de observación (tipos de cargas eléctricas, potencias eléctricas nominales de equipos, área de ubicación de paneles).
- Técnica de análisis de documentos: Instrumento como guías de análisis de documentos (tesis, artículos, datos radiación solar NASA).

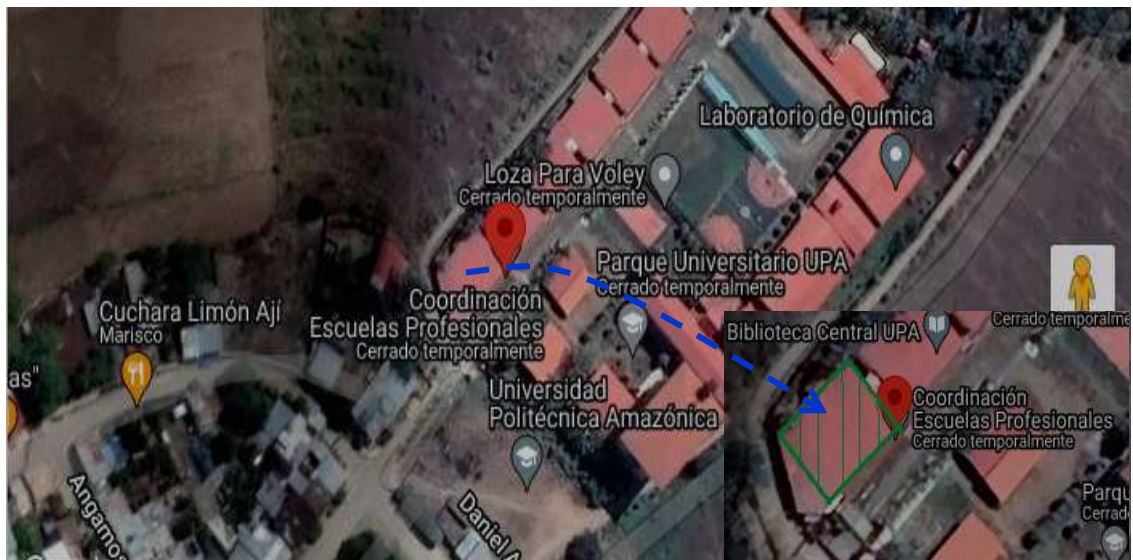
### 3.8 Procedimiento

#### a) Localización geográfica

El área de estudio comprende las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica. Su localización geográfica es  $-78.44954$  de longitud oeste y  $-5.74649$  de latitud sur, y una altitud promedio de 437 msnm. De acuerdo a datos de la NASA (2018-2021) se tiene temperaturas mínima promedio de  $14.36^{\circ}\text{C}$ , y temperaturas máxima promedio de  $33.78^{\circ}\text{C}$ . En la Figura 3, se muestra la ubicación del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica.

**Figura 3**

*Ubicación oficinas académicas, Universidad Politécnica Amazónica*



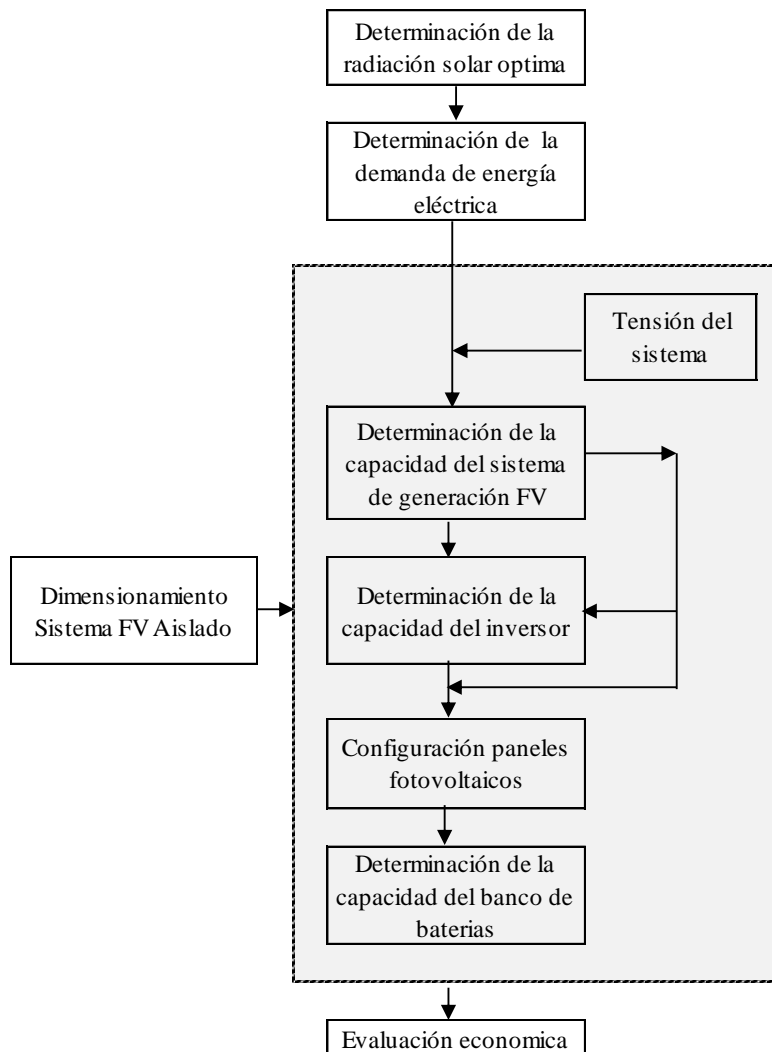
*Nota.* Muestra la ubicación del pabellón H

## b) Procedimiento de cálculo sistema fotovoltaico aislado

Se presenta el procedimiento de cálculo, donde las actividades incluyen la recopilación de datos carga eléctrica y datos meteorológicos como la radiación solar y la temperatura, determinar el rendimiento de la instalación, dimensionamiento de los componentes del sistema y, por último la evaluación económica. En la Figura 4, se muestra el procedimiento de cálculo del sistema fotovoltaico aislado para las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica.

**Figura 4**

*Procedimiento de cálculo para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico aislado.*



*Nota.* Muestra el procedimiento de cálculo.

### **3.9 Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico y procesamiento de tablas, se ha utilizado la herramienta Excel. Dentro de las etapas del análisis de datos cuantitativo primeramente se ha reconocido las variables de las hipótesis planteadas, armar bases de datos, procesar los datos mediante las operaciones de tabulación, lectura y análisis de datos, interpretación de los datos. Finalmente la interpretación sobre los resultados de la investigación.

### **3.10 Consideraciones éticas**

Se tomó en cuenta las pautas éticas internacionales para la investigación. La tesis no es plagiada ni total ni parcialmente, por lo que se respetaron los estándares internacionales de citación y referencias de las fuentes consultadas. Asimismo, la tesis no infringe los derechos de terceros.



## IV Resultados

### 4.1 Resultados de recurso solar en la zona del proyecto

Para la evaluación del recurso solar, con las coordenadas del lugar  $-78.44954$  de longitud oeste y  $-5.74649$  de latitud sur, se recopilieron datos de radiación solar para la zona estudio que corresponde a las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica, obtenidos de la página de la NASA (consultado el 27 de octubre del 2022). Para favorecer de este modo su auto limpieza y evitar que elementos como hojas, polvo cubran el panel, los sistemas fotovoltaicos deben tener un ángulo de inclinación, dependiendo de la zona donde se ubica (Mejía, 2019). El ángulo de inclinación del campo fotovoltaico se determinó con la Ecuación (1). Resultó que el ángulo óptimo de inclinación es  $7.67^\circ$ , para una latitud del lugar de  $-5.74649$ .

$$\beta_{opt.} = 0.69 \times |\varphi| + 3.7 \quad (1)$$

Donde

$\beta_{opt.}$  Ángulo óptimo de inclinación

$|\varphi|$  Latitud del lugar.

**Tabla 2**

*Radiación diaria promedio en la zona, kWh/m<sup>2</sup>/día, 2018 -2021*

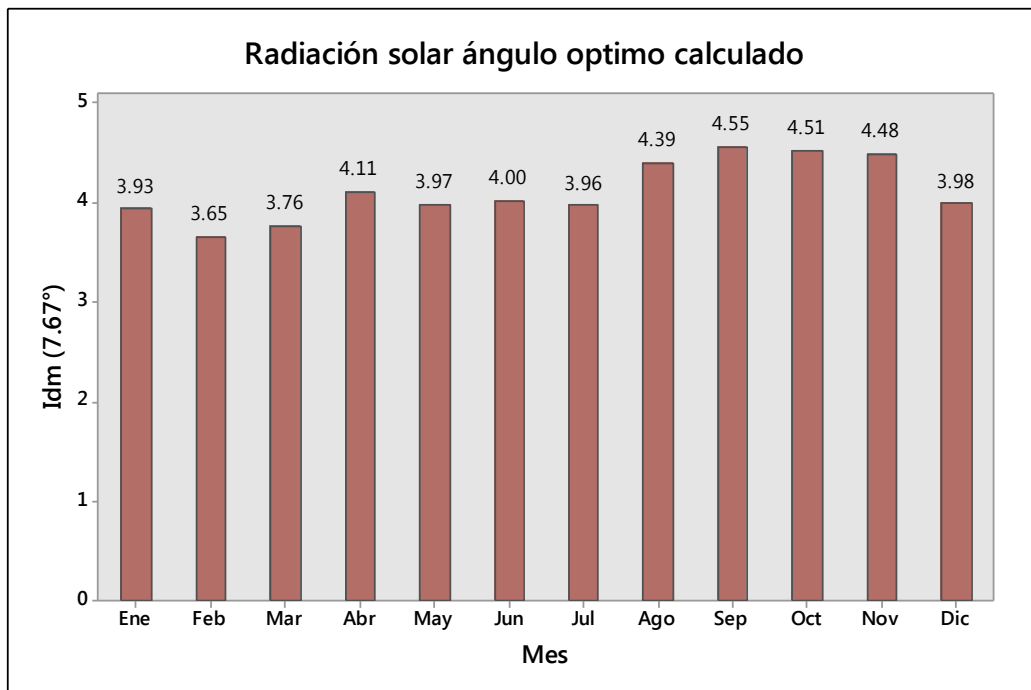
| Mes | I <sub>dm</sub> (0°) | I <sub>dm</sub> (5.75°) | I <sub>dm</sub> (7.67°) | I <sub>dm</sub> (9.25°) | I <sub>dm</sub> (20.75°) | I <sub>dm</sub> (90°) |
|-----|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Ene | 4.03                 | 3.96                    | 3.93                    | 3.9                     | 3.66                     | 1.48                  |
| Feb | 3.70                 | 3.67                    | 3.65                    | 3.63                    | 3.47                     | 1.42                  |
| Mar | 3.77                 | 3.77                    | 3.76                    | 3.75                    | 3.65                     | 1.55                  |
| Abr | 4.07                 | 4.10                    | 4.11                    | 4.11                    | 4.08                     | 2.01                  |
| May | 3.87                 | 3.95                    | 3.97                    | 3.99                    | 4.04                     | 2.28                  |
| Jun | 3.86                 | 3.97                    | 4.00                    | 4.03                    | 4.14                     | 2.53                  |
| Jul | 3.83                 | 3.93                    | 3.96                    | 3.99                    | 4.08                     | 2.43                  |
| Ago | 4.29                 | 4.37                    | 4.39                    | 4.41                    | 4.45                     | 2.29                  |
| Sep | 4.52                 | 4.55                    | 4.55                    | 4.55                    | 4.47                     | 1.82                  |
| Oct | 4.56                 | 4.53                    | 4.51                    | 4.49                    | 4.31                     | 1.57                  |
| Nov | 4.59                 | 4.52                    | 4.48                    | 4.45                    | 4.19                     | 1.64                  |
| Dic | 4.10                 | 4.02                    | 3.98                    | 3.95                    | 3.70                     | 1.52                  |

*Nota.* Interpolación para el ángulo óptimo calculado  $7.67^\circ$ . Datos obtenidos NASA (2018-2021).

La radiación para el ángulo óptimo de  $7.67^\circ$  se interpoló entre los ángulos de  $5.75^\circ$  que corresponde a la latitud de la zona, y  $9.25^\circ$  obtenidos del aplicativo de la NASA. Los resultados de radiación solar para el ángulo óptimo calculado se muestran en la Figura 5. Para el diseño del sub sistema de generación fotovoltaica se tomó el mes más desfavorable del ángulo de inclinación óptima calculada que resultó  $3.65 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ , para el periodo de evaluación 2018 -2021.

**Figura 5**

*Radiación diaria promedio para el ángulo de inclinación óptimo calculado,  $\text{kWh/m}^2/\text{día}$ , 2018 -2021*



*Nota.* Datos obtenidos NASA (2018-2021).

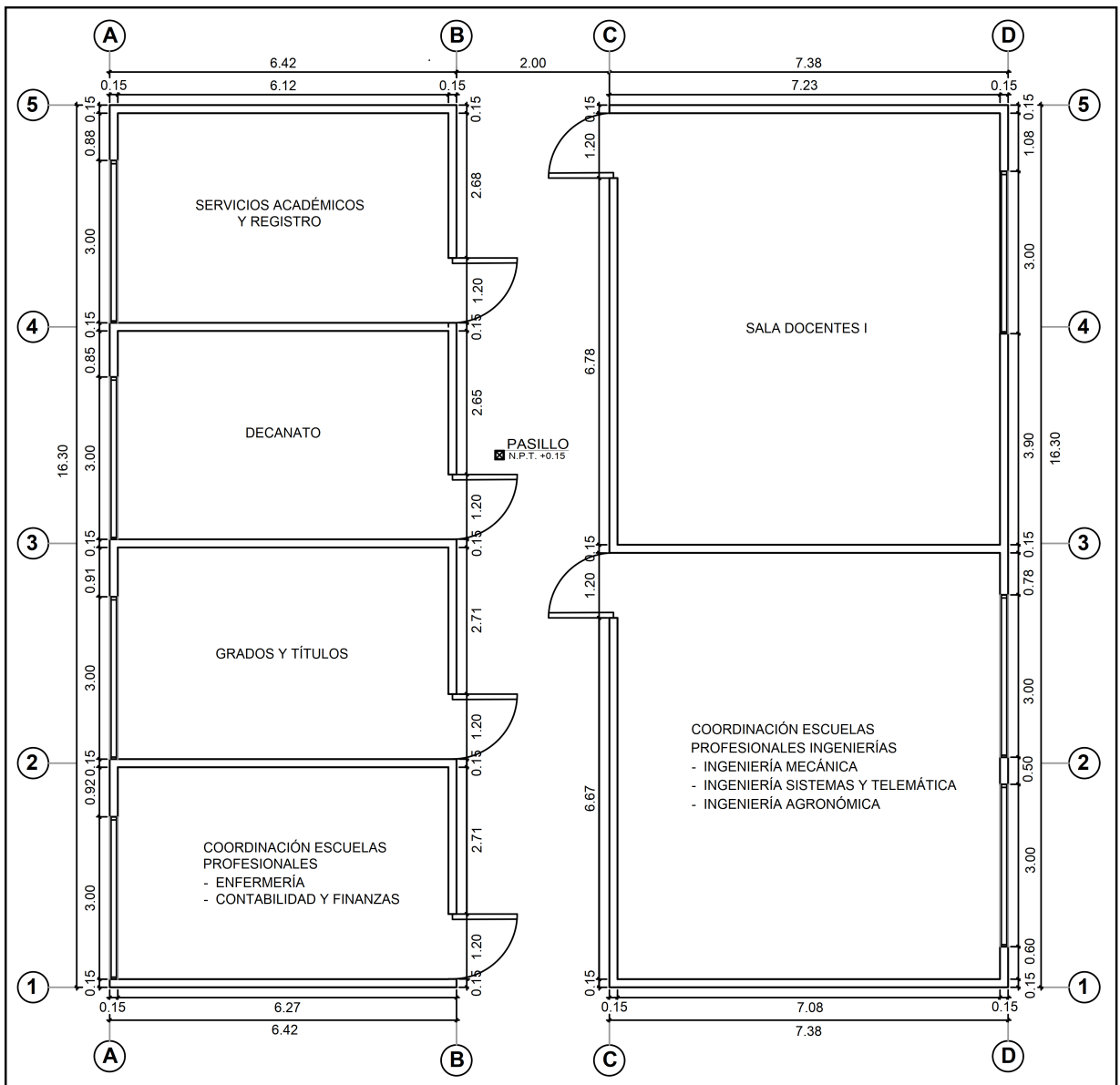
#### **4.2 Resultados demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas pabellón H.**

En base a las potencias demandadas por cada receptor, se calcula la potencia demandada por la instalación, introduciendo distintos factores, que tienen en cuenta la utilización de cada carga (no operación a plena carga de cada receptor) 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 es algunas veces menor que la indicada como su potencia nominal, por un tema de optimización de recursos, sea tomado

un factor de utilización de 0.8. A menor carga simultánea, menor inversión y los proyectos se vuelven más viables.

**Figura 6**

*Distribución de ambientes de las oficinas académicas del pabellón H*



*Nota.* Muestra la distribución de ambientes, y oficinas académicas del Pabellón H.

Según Pareja (2016), para el cálculo de la energía diaria se realizó con la Ecuación (2). Luego del cálculo realizado para las oficinas académicas del Pabellón H un consumo de energía eléctrica de 20.72 kWh /día, y una potencia eléctrica instalada de 6.08 kW. Los

resultados se muestran en la Tabla 3. Para lo cual se consideró un factor de utilización de 0.8.

$$E_{diaria} = \sum P_i \times T_i$$

Donde,  $E_{diaria}$  energía diaria (kWh/día),  $P_i$  potencia nominal de cada equipo (kW),  $T_i$  tiempo de operación diaria de cada equipo (horas).

**Tabla 3**

*Resultados de consumo eléctrico diario de la vivienda unifamiliar*

| Nº         | Cargas eléctricas por ambiente  | Unidad | Cantidad | Potencia (W) | Potencia total (W) | F.U | Operación diaria (horas) | Consumo diario (kWh/día) |
|------------|---|--------|----------|--------------|--------------------|-----|--------------------------|--------------------------|
| <b>I</b>   | <b>Coordinación Escuelas Profesionales de Ingenierías</b>                           |        |          |              |                    |     |                          | <b>6.62</b>              |
| 1.1        | Lámpara circulares empotradas LED   | Und    | 6        | 24           | 144                | 0.8 | 5                        | 0.58                     |
| 1.2        | Computadora de escritorio estándar  | Und    | 4        | 200          | 800                | 0.8 | 5                        | 3.20                     |
| 1.3        | Computadora portátil  | Und    | 3        | 100          | 300                | 0.8 | 5                        | 1.20                     |
| 1.4        | Ventilador de techo 3 aspas   | Und    | 5        | 76           | 380                | 0.8 | 5                        | 1.52                     |
| 1.5        | Impresora multifuncional  | Und    | 1        | 100          | 100                | 0.8 | 1                        | 0.08                     |
| 1.6        | Cámara de seguridad   | Und    | 1        | 7            | 7                  | 0.8 | 8                        | 0.04                     |
| <b>II</b>  | <b>Sala de Docentes I</b>   |        |          |              |                    |     |                          | <b>2.68</b>              |
| 2.1        | Lámpara circulare empotradas LED  | Und    | 6        | 24           | 144                | 0.8 | 3                        | 0.35                     |
| 2.2        | Computadora de escritorio estándar  | Und    | 2        | 200          | 400                | 0.8 | 3                        | 0.96                     |
| 2.3        | Computadora portátil  | Und    | 4        | 100          | 400                | 0.8 | 3                        | 0.96                     |
| 2.4        | Ventilador de techo 3 aspas   | Und    | 2        | 76           | 152                | 0.8 | 3                        | 0.36                     |
| 2.5        | Cámara de seguridad   | Und    | 1        | 7            | 7                  | 0.8 | 8                        | 0.04                     |
| <b>III</b> | <b>Coordinación Escuelas Profesionales de Enfermería, y Contabilidad y Finanzas</b> |        |          |              |                    |     |                          | <b>3.28</b>              |
| 3.1        | Lámpara circular empotradas LED   | Und    | 2        | 24           | 48                 | 0.8 | 5                        | 0.19                     |
| 3.2        | Computadora de escritorio estándar  | Und    | 2        | 200          | 400                | 0.8 | 5                        | 1.60                     |
| 3.3        | Computadora portátil  | Und    | 2        | 100          | 200                | 0.8 | 5                        | 0.80                     |
| 3.4        | Ventilador de techo 3 aspas   | Und    | 2        | 76           | 152                | 0.8 | 5                        | 0.61                     |
| 3.5        | Impresora multifuncional  | Und    | 1        | 100          | 100                | 0.8 | 1                        | 0.08                     |

|              |  |     |   |     |             |     |   |              |
|--------------|--|-----|---|-----|-------------|-----|---|--------------|
| <b>IV</b>    | <b>Grados y Títulos</b>                |     |   |     |             |     |   | <b>2.77</b>  |
| 4.1          | Lámpara circular empotradas LED        | Und | 4 | 24  | 96          | 0.8 | 5 | 0.38         |
| 4.2          | Computadora de escritorio estándar     | Und | 2 | 200 | 400         | 0.8 | 5 | 1.60         |
| 4.3          | Computadora portátil                   | Und | 1 | 100 | 100         | 0.8 | 5 | 0.40         |
| 4.4          | Ventilador de techo 3 aspas            | Und | 1 | 76  | 76          | 0.8 | 5 | 0.30         |
| 4.5          | Impresora multifuncional               | Und | 1 | 100 | 100         | 0.8 | 1 | 0.08         |
| <b>V</b>     | <b>Decanato</b>                        |     |   |     |             |     |   | <b>1.92</b>  |
| 5.1          | Lámpara circular empotradas LED        | Und | 2 | 24  | 48          | 0.8 | 4 | 0.15         |
| 5.2          | Computadora de escritorio estándar     | Und | 1 | 200 | 200         | 0.8 | 4 | 0.64         |
| 5.3          | Computadora portátil                   | Und | 1 | 100 | 100         | 0.8 | 4 | 0.32         |
| 5.4          | Ventilador de techo 3 aspas            | Und | 2 | 76  | 152         | 0.8 | 4 | 0.49         |
| 5.5          | Impresora multifuncional               | Und | 1 | 100 | 100         | 0.8 | 4 | 0.32         |
| <b>VI</b>    | <b>Servicios Académicos y Registro</b> |     |   |     |             |     |   | <b>3.12</b>  |
| 6.1          | Lámpara circular empotradas LED        | Und | 4 | 24  | 96          | 0.8 | 5 | 0.38         |
| 6.2          | Computadora de escritorio estándar     | Und | 2 | 200 | 400         | 0.8 | 5 | 1.60         |
| 6.3          | Computadora portátil                   | Und | 1 | 100 | 100         | 0.8 | 5 | 0.40         |
| 6.4          | Ventilador de techo 3 aspas            | Und | 2 | 76  | 152         | 0.8 | 5 | 0.61         |
| 6.5          | Impresora multifuncional               | Und | 1 | 100 | 100         | 0.8 | 1 | 0.08         |
| 6.6          | Cámara de seguridad                    | Und | 1 | 7   | 7           | 0.8 | 8 | 0.04         |
| <b>VII</b>   | <b>Pasillo</b>                         |     |   |     |             |     |   | <b>0.34</b>  |
| 7.1          | Lámpara circulares empotradas LED      | Und | 3 | 24  | 72          | 0.8 | 3 | 0.17         |
| 7.2          | Lámpara de emergencia LED              | Und | 2 | 16  | 32          | 0.8 | 3 | 0.08         |
| 7.3          | Cámara de seguridad                    | Und | 2 | 7   | 14          | 0.8 | 8 | 0.09         |
| <b>Total</b> |  |     |   |     | <b>6079</b> |     |   | <b>20.72</b> |

*Nota.* Cargas eléctricas y las horas de operación diaria de cada equipo. Voltaje de operación de 220 V CA monofásico. F.U es el factor de utilización.

### 4.3 Resultados de dimensionamiento de los componentes sistema fotovoltaico aislado.

#### 4.3.1 Resultados de cálculo de pérdidas 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).

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

Donde:

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

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

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

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

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

$D_{aut.}$ : Días de autonomía

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

En instalaciones con todas las cargas de 220-230 V en C.A, se puede dejar como incógnita los días de autonomía ( $D_{aut.}$ ), y las pérdidas con rendimiento del convertidor ( $K_C$ ) (Pareja, 2016). Considerando  $K_C = 5\%$ , y 01 día de autonomía con la finalidad de no sobredimensionar el sistema, y sobre todo el banco de baterías. Se obtiene como resultados que el rendimiento total de la instalación ( $R_T$ ) es de 64.48 %.

$$R_T = \left[ 1 - (0.3 + K_C) \right] \left[ 1 - (0.008 \times D_{aut.}) \right] \quad (4)$$

$$R_T = \left[ 1 - (0.3 + 0.05) \right] \left[ 1 - (0.008 \times 1) \right] = 64.48\%$$

#### 4.3.2 Resultados de selección de la tensión de generación del sistema fotovoltaico

La selección de la tensión de generación del sistema fotovoltaico se tomó en cuenta la Tabla 4. La potencia eléctrica instalada resultó 6.08 kW, que corresponde a seleccionar una tensión para la generación mayor a 48 V, puede ser tensiones 96, 120, 300 V y más; esto va a depender de la selección del inversor y del arreglo fotovoltaico.

**Tabla 4**

Valores referenciales de tensión del sistema en función de la demanda eléctrica.

| Potencia pico            | Voltaje nominal |
|--------------------------|-----------------|
| $P \leq 800 W_P$         | 12 V            |
| $800 < P \leq 1600 W_P$  | 24 V            |
| $1600 < P \leq 3200 W_P$ | 48 V            |
| $P > 3200 W_P$           | 96, 120 ó 300 V |

Nota. Mejía (2018)

### 4.3.3 Resultados potencia pico del sistema de generación fotovoltaica

Después de determinar el consumo energético diario, se determinó la potencia pico mínima del generador, la eficiencia energética calculada para la instalación es de 64.48%, y la radiación de 3.65 kWh/m<sup>2</sup> .día, para el ángulo de inclinación óptima calculada (7.67°). Según Pareja (2016), para determinar la potencia mínima de generación se utilizó la Ecuación (5). Resultando una potencia mínima de 8.80 kW.

$$P_{p,\min} = \frac{E_{diaria} \times I_{CEM}}{I_{dm}(\alpha, \beta) \times R_T} \quad (5)$$

$$P_{p,\min} = \frac{20.72 \times 1}{3.65 \times 0.6448} = 8.80 \text{ kW}$$

Donde:

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

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

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

$I_{dm}(\alpha, \beta)$  : Irradiación sobre el generador (kWh/m<sup>2</sup>.día). Este valor se calcula a partir del valor por encima del plano horizontal y determina las pérdidas que hay que tener en cuenta en el valor de la dirección y pendiente de la instalación.

$R_T$  : Rendimiento energético total de la instalación (incluye pérdidas diversas).

#### 4.3.4 Resultados de 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; Pareja, 2016). 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 %. Para la investigación se tomó un factor de utilización de 0.8, por las mismas actividades que se realizan en las oficinas, y optimizar los recursos.

La potencia eléctrica o carga instalada en las oficinas académicas del pabellón H, es 6.08 kW. El inversor a seleccionar tiene que ser de una potencia mayor o igual a la demanda eléctrica instalada, y para la selección se tomó en cuenta la tensión de la red. El inversor seleccionado es un inversor híbrido ATESS HPS7500TLS de 7.5 kW, 230 V AC (L-N), 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. La tabla de datos técnicos del inversor seleccionado se proporciona en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Datos técnicos del inversor seleccionado ATESS*

|                        | <b>Parámetros</b>                                   | <b>Valores</b> |
|------------------------|---|----------------|
| Entrada<br>(DC)        | Máximo voltaje de circuito abierto fotovoltaico (V) | 900            |
|                        | Potencia fotovoltaica recomendada (kWp)             | 9              |
|                        | Rango de tensión fotovoltaica MPPT (V)              | 370-720        |
|                        | Número de MPPT                                      | 2              |
| Salida<br>(AC)         | Conexión CA   | L-N            |
|                        | Potencia aparente (kVA)                             | 9.4            |
|                        | Potencia nominal (W)                                | 7.5            |
|                        | Tensión nominal de salida (V)                       | 230            |
|                        | Intensidad máxima (A)                               | 32.6           |
| Salida<br>batería (DC) | Frecuencia nominal de red (Hz)                      | 50/60          |
|                        | 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. Modelo ATESS HPS7500TLS



### 4.3.5 Resultados de cálculo y configuración de los módulos fotovoltaicos

Para el dimensionamiento y agrupación de paneles fotovoltaicos en strings, para las oficinas académicas del pabellón H, se seleccionó como referencia un panel fotovoltaico mono cristalino JA Solar, modelo JAM72S20-450/MR, cuyos parámetros eléctricos se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Parámetros eléctricos del panel fotovoltaico seleccionado JA Solar*

| Parámetros eléctricos                    | Valores |
|--|---------|
| Potencia máxima ( $P_{max}$ )            | 450 W   |
| Tensión máxima ( $V_{pm}$ )              | 41.52 V |
| Corriente máxima ( $I_{pm}$ )            | 10.84 A |
| Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ) | 49.70 V |
| Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ )  | 11.36 A |

*Nota.* Datos ficha técnica de fabricantes. Modelo JAM72S20-450/MR.

Según Mejía (2019), para determinar la cantidad de paneles para la instalación fotovoltaica se realiza con la Ecuación (6). Como resultado se obtuvo 20 paneles.

$$N_{total, paneles} \geq \frac{P_p}{P_{m\acute{a}x, paneles}} \quad (6)$$

$$N_{total, paneles} \geq \frac{8.80}{0.450} = 19.56 \approx 20 \text{ paneles JAM72S20-450/MR}$$

Para determinar el rango máximo y mínimo de paneles fotovoltaicos a conectar al inversor, se tomó en cuenta datos técnicos del inversor (Tabla 5), y de los paneles fotovoltaicos. Los cálculos se realizaron con las Ecuaciones (7) y (8) respectivamente.

$$N_{serie, paneles-max MPPT} \leq \frac{V_{DCmax-MPPT Inv}}{V_{m\acute{a}x, paneles}} \quad (7)$$

$$N_{serie, paneles-max MPPT} \leq \frac{720}{41.52} = 17.34 \approx 17 \text{ paneles JAM72S20-450/MR}$$

$$N_{serie, paneles-min MPPT} \geq \frac{V_{DCmin-MPPT Inv}}{V_{m\acute{a}x, panel}} \quad (8)$$

$$N_{serie, paneles-min MPPT} \geq \frac{370}{41.52} = 8.91 \approx 9 \text{ paneles JAM72S20-450/MR}$$

En la Tabla 5, se presentan los datos del inversor seleccionado, y se verifica que el número de MPPT son 2, esto muestra que permite dos entradas desde el área del panel solar, por lo que puede haber dos sub campos fotovoltaicos y para cada sub campo el inversor intenta maximizar la potencia que produce.

De acuerdo a cálculos se requiere 20 paneles para la instalación, por otra parte los cálculos indican que el máximo número de paneles serie que se pueden conectar son 17, y como mínimo 9. Para el arreglo fotovoltaico tomando en cuenta las características del inversor, se decide conectar 10 paneles en serie para el MPPT1, de igual manera para el MPPT 2 del inversor. De acuerdo al arreglo fotovoltaico se obtiene un voltaje de generación de máxima potencia 415.20 V, que está dentro del rango de tensión fotovoltaica MPPT (370-720 V).

Esto asegura que los paneles se puedan conectar al inversor ya que están dentro del rango calculado e incluso dentro del rango de seguimiento óptimo del MPPT. Para cada MPPT se tiene una potencia pico de generación de 4500 kW, haciendo un total de 9 kW, por lo que se comprueba que cumple con la potencia pico límite de entrada por seguidor MPPT.

#### 4.3.6 Resultados de la capacidad de almacenamiento y número de baterías

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. Según Mejía (2019) y Pareja (2016), 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 (9) y (10).

Para los cálculos del banco de baterías se consideró un factor de profundidad de descarga máxima diaria de la batería del 80 %, 01 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, rango de voltaje de batería 280-700 V, voltaje nominal recomendado batería (350 V).

$$L_D = \frac{E_{diaria}}{V_{B-bat.}} \quad (9)$$

$$L_D = \frac{20.72 \times 1000}{350} = 59.20 \text{ Ah/día}$$

$$C_{B-bat.} = \frac{D_{aut} \times L_D}{PD_{max} \times R_T} \quad (10)$$

$$C_{B-bat.} = \frac{1 \times 59.20}{0.80 \times 0.6448} = 114.76 \text{ Ah/día}$$

Donde:

$D_{aut}$  : Días de autonomía

$PD_{max}$  : Factor de profundidad de descarga máxima diaria de la batería

$R_T$  : Rendimiento total de la instalación

Según Mejía (2019), para determinar el número de baterías en serie y paralelo, se realiza con las Ecuaciones (11) y (12). Para lo cual se consideró un voltaje del banco de

baterías, igual voltaje nominal recomendado en la ficha técnica del inversor (350 V). Del cálculo resultó que para instalación se necesitan 2 baterías conectadas en paralelo.

$$N_{p, bat.} \geq \frac{C_{B-bat.}}{C_{n, bat.}} \quad (11)$$

$$N_{p, bat.} \geq \frac{114.76}{63} = 1.82 \approx 2 \text{ baterías LG Chem RESU10H}$$

$$N_{s, bat.} \geq \frac{V_{B-bat.}}{V_{n, bat.}} \quad (12)$$

$$N_{s, bat.} \geq \frac{350}{350} = 1 \text{ batería LG Chem RESU10H}$$

#### 4.3.7 Resultados de cálculo de conductores

Las pérdidas por conductores eléctricos son importantes en DC, cuando la tensión es baja. También es importante: colocar los generadores cerca de los inversores, trabajar a la tensión continua máxima que los paneles y los inversores puedan soportar, aumentar el rendimiento de conversión y reducir las pérdidas óhmicas. En función de la sección del conductor considerada (Fernández-Infantes et al., 2006). La sección del conductor en cada tramo del sistema fotovoltaico, se determinó con la Ecuación (13). Resultados se muestran en la Tabla 7.

$$S = \frac{2 \times \rho \times L \times I}{\Delta V} \quad (13)$$

Donde:

$\Delta V$  : Caída de tensión (V)

$\rho$  : Resistividad del material:  $\rho_{Cu \ 75^\circ C} = 0.022 \ \Omega \text{mm}^2 / \text{m}$ .

$S$  : Sección conductor ( $\text{mm}^2$ )

**Tabla 7***Cálculo de conductores del sistema fotovoltaico*

| Componentes                    | Longitud (m) | Máxima caída de tensión admisible | I (A) | Vn    | S (mm <sup>2</sup> ) | AWG | Tipo |
|--------------------------------|--------------|-----------------------------------|-------|-------|----------------------|-----|------|
| FV 1 -MPPT 1                   | 30           | 3%                                | 10.84 | 415.2 | 1.15                 | 16  | CC   |
| FV 2 -MPPT 2                   | 30           | 3%                                | 10.84 | 415.2 | 1.15                 | 16  | CC   |
| Inversor - Batería             | 10           | 1%                                | 25.71 | 350   | 3.23                 | 12  | CC   |
| Inversor- Tablero Distribución | 20           | 5%                                | 27.29 | 220   | 1.70                 | 14  | CA   |

#### 4.3.8 Resultados de cálculo de protecciones en la instalación fotovoltaica.

##### Fusibles y termo magnéticos

Los principales elementos de protección son el fusible y los termomagnéticos, que sirven como disparo de protección ante cortocircuitos y sobre tensiones (Pareja, 2016). El tramo de corriente continua corresponde al tramo de la instalación eléctrica que va a partir de los paneles fotovoltaicos hasta el inversor, y de las baterías hasta el inversor, en corriente alterna del tramo inversor a la carga. Para el cálculo de fusibles y termo magnético se realiza con las (14), (15) y (16).

$$I_{fusable(P-INV.)} \geq I_{sc} \times N_{p,paneles} \quad (14)$$

- Fusible FV1 - MPPT1 del inversor

$$I_{fusable(P-INV.)} \geq 11.36 \times 1 = 11.36A$$

- Fusible FV2 - MPPT2 del inversor

$$I_{fusable(P-INV.)} \geq 11.36 \times 1 = 11.36A$$

- Fusible Inversor-batería

$$I_{fusible(INV.-BAT.)} \geq \frac{P_{CC-Inv}}{V_{n,B-bat.}} \quad (15)$$

$$I_{fusible(INV.-BAT.)} \geq \frac{9000}{350} = 25.71A$$

- Termomagnético Inversor -Carga

$$I_{termomagnetico} = \frac{P_{CA-Carga}}{V_n} \quad (16)$$

$$I_{termomagnetico} = \frac{6079}{220} = 27.63A$$

Tomando en cuenta los cálculos realizados, se seleccionó fusibles estandarizados del tipo gl cilíndricos: Para el tramos PV1-MPPT1 un fusible de 16 A, para PV2-MPPT2 fusible de 16 A, tramo Inversor- Batería fusible de 32 A; y un termo magnético de 32A que se instalará entre el Inversor y la carga.

### Sistemas de puesta a tierra

Los sistemas con una tensión nominal superior a 48 voltios deben tener al menos una conexión a tierra unida a la estructura del campo fotovoltaico y al marco metálico del módulo solar (Pareja, 2016). El dimensionamiento seguro del sistema de puesta a tierra de una instalación se basa en la protección de las personas contra el peligro de una descarga eléctrica crítica. Además, permite el flujo de corrientes normales o de falla hacia la tierra sin exceder los límites operativos y del equipo o afectando negativamente la continuidad del servicio (Datsios y Mikropoulos, 2012).

La puesta a tierra tiene que cumplir con las especificaciones del Código Nacional de Electricidad (CNE). Varilla de cobre 5/8 pulgada x 2.40 metros,

conector de cobre, caja de registro, y conductor de cobre 16 mm. La resistencia de puesta tierra se recomienda menor a  $25 \Omega$ , se recomienda utilizar dosis de bentonita y/ otros compuestos similares.

#### 4.3.9 Estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos

La propuesta para la instalación del sistema fotovoltaico, será un tipo de estructura para poder situar los paneles solares sobre una cubierta de tejas en el techo de las mismas oficinas académicas del pabellón H. 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 (02) estructuras de soporte coplanar continuo con salvatejas para cubierta de teja mixta para 6 paneles, y (02) estructuras de las mismas características para 4 paneles de  $2112 \pm 2\text{mm} \times 1052 \pm 2\text{mm} \times 35 \pm 1\text{mm}$ .

#### Figura 7

*Estructuras de soporte coplanar continuo con salvatejas para cubierta de teja mixta.*



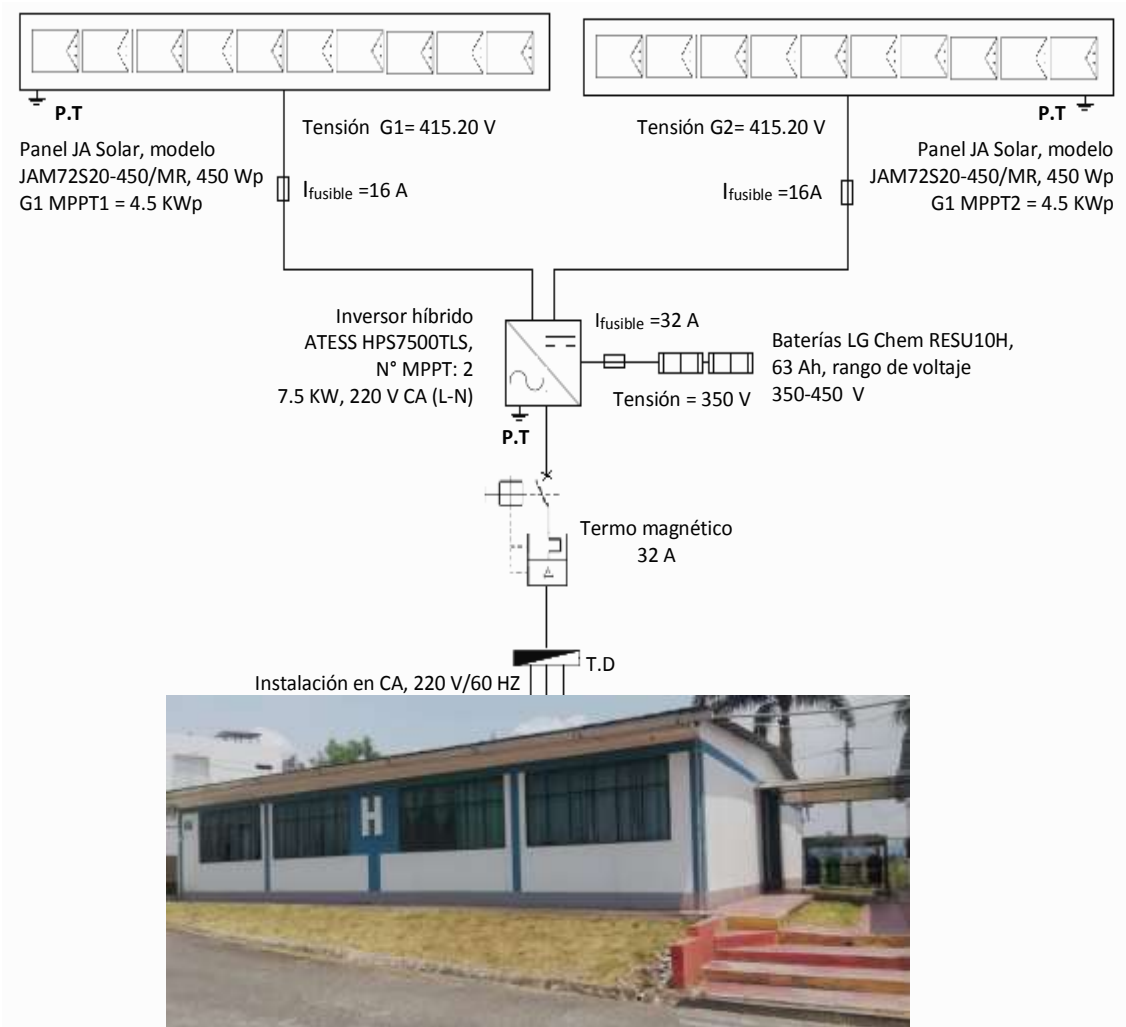
*Nota.* Adecuado de Ficha técnica de Fabricante. Perfilería de aluminio EN AW 6005A T6, y Tornillería de acero inoxidable A2-70.

#### 4.3.10 Topología del sistema fotovoltaico dimensionado

La Figura 8, muestra la topología del sistema fotovoltaico dimensionado para las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica.

**Figura 8**

*Topología del sistema fotovoltaico dimensionado*



*Nota.* Esquema y datos técnicos de cada componente

#### 4.4 Resultados de evaluación económica de proyecto

Para la evaluación económica, primero se determinó el presupuesto referencial para el sistema fotovoltaico; y el Costo Nivelado de Energía (LCOE) corresponde a la energía producida por el sistema fotovoltaico durante la vida del proyecto.



#### 4.4.1 Presupuesto del sistema fotovoltaico

El presupuesto referencial para el sistema fotovoltaico asciende a S/. 124 020.34, para suministro y montaje electromecánico. En la Tabla 8, se muestra el costo de inversión para el proyecto.

**Tabla 8**

*Presupuesto referencial del sistema fotovoltaico*

| Ítem      | Descripción  | Unidad | Cantidad | Precio (S/.) | Sub total (S/.)       |
|-----------|--|--------|----------|--------------|-----------------------|
| <b>I</b>  | <b>Suministro de materiales</b>  |        |          |              | <b>91582.00</b>       |
| 1.1       | Panel JA Solar, modelo JAM72S20-450/MR, 450 Wp.  | Und.   | 20       | 833.00       | 16660.00              |
| 1.2       | Inversor híbrido ATESS HPS7500TLS, N° MPPT: 2, tensión MPPT 370-720 V. Salida 7.5 KW, 220 V CA | Und.   | 1        | 7900.00      | 7900.00               |
| 1.3       | Baterías litio LG Chem RESU10H, capacidad 63 Ah, rango de voltaje 350-450 V                    | Und.   | 2        | 30745.00     | 61490.00              |
| 1.4       | Cable 16 AWG   | m      | 60       | 4.50         | 270.00                |
| 1.5       | Cable 12 AWG   | m      | 10       | 5.50         | 55.00                 |
| 1.6       | Cable 14 AWG   | m      | 20       | 5.00         | 100.00                |
| 1.7       | Porta fusibles de 16 A   | Und.   | 2        | 35.00        | 70.00                 |
| 1.8       | porta fusibles de 32 A   | Und.   | 1        | 45.00        | 45.00                 |
| 1.9       | Termo magnético monofásico de 32A  | Und.   | 1        | 170.00       | 170.00                |
| 1.10      | Tablero de distribución para inversor y termo magnéticos                                       | Und.   | 1        | 250.00       | 250.00                |
| 1.11      | SopORTE coplanar continuo con salvatejas para cubierta de teja mixta para 6 paneles            | Und.   | 2        | 1180.00      | 2360.00               |
| 1.12      | SopORTE coplanar continuo con salvatejas para cubierta de teja mixta para 4 paneles            | Und.   | 2        | 796.00       | 1592.00               |
| 1.13      | Puesta a tierra, con componentes homologados de acuerdo a CNE.                                 | Glb    | 1        | 620.00       | 620.00                |
| <b>II</b> | <b>Montaje</b>   |        |          |              | <b>20148.04</b>       |
| 2.1       | Montaje electromecánico del sistema fotovoltaico   | Glb    | 1        | 20148.04     | 20148.04              |
|           | <b>Costo directo</b>   |        |          |              | <b>S/. 111730.04</b>  |
|           | <b>Transporte de materiales</b>  |        |          |              | <b>S/. 4 469.20</b>   |
|           | <b>Gastos generales</b>  |        |          |              | <b>S/. 7 821.10</b>   |
|           | <b>Total</b>   |        |          |              | <b>S/. 124 020.34</b> |

*Nota.* Precios incluyen IGV.

Derbie y Gont (2019) manifiesta que usando el costo de mantenimiento por año, y la vida útil del sistema (N = 25 años); el costo de mantenimiento se toma como el 2 % del costo total de los paneles fotovoltaicos (PFV). Para el proyecto resulta igual a S/. 333.20, los costos

de operación y mantenimiento durante la vida del sistema fotovoltaico son bajos, a diferencia de las centrales térmicas convencionales; porque su consumo real de combustible es cero. En la Tabla 9, se muestran los costos anuales de mantenimiento, y Tabla 10 muestran los costos de reinversión sistema fotovoltaico para el inversor. 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 %, y después del año 10 siguen trabajando con una eficiencia del 80 %.

**Tabla 9**

*Costos de mantenimiento anual del sistema fotovoltaico*

| Ítem         | Descripción   | Unidad | Cantidad | Costo (S/.) | Sub total (S/.)   |
|--------------|---|--------|----------|-------------|-------------------|
| 1            | Mantenimiento generador fotovoltaico<br>(2 % Costo total de PV) | Und.   | 1        | 333.20      | 333.20            |
| <b>Total</b> |   |        |          |             | <b>S/. 333.20</b> |

*Nota.* Precios incluyen IGV. Porcentaje mantenimiento anual, tomado de Derby y Gont (2019).

**Tabla 10**

*Costos de reinversión sistema fotovoltaico*

| Ítem         | Descripción  | Unidad | Cantidad | Precio (S/.) | Sub total (S/.)    |
|--------------|--|--------|----------|--------------|--------------------|
| 1            | Inversor híbrido ATESS HPS7500TLS,<br>N° MPPT: 2, tensión MPPT 370-720 V.<br>Salida 7.5 KW, 220 V CA | Und.   | 1        | 7900.00      | 7900.00            |
| <b>Total</b> |  |        |          |              | <b>S/. 7900.00</b> |

*Nota.* Precios incluyen IGV.

#### 4.4.2 Costo Nivelado de Energía

Derby y Gont (2019) analiza el diseño de un sistema fotovoltaico independiente, donde se muestra que el Costo del Ciclo de Vida (CCV) consiste en el costo de poseer y

operar todo el sistema durante su vida útil, expresado en dinero de hoy. Los costos de un sistema fotovoltaico independiente incluyen costos de adquisición, costos operativos, costos de mantenimiento y costos de reemplazo. Así mismo García et al. (2015), el Costo Nivelado de Energía (LCOE), corresponde a la energía generada por el sistema fotovoltaico durante la vida útil del proyecto, trasladando tanto los costos generados por su operación durante el mismo período como la cantidad de producción a valor presente, gracias a la tasa de descuento  $d$ . Asimismo Derby y Gont (2019) y García et al. (2015), el cálculo del LCOE, está definidos por la Ecuación (17), para cada año  $j$

$$\text{LCOE} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{I_j + O \& M_j}{(1+d)^j}}{\sum_{j=1}^n \frac{E_{G,j}}{(1+d)^j}} \quad (17)$$

Donde:

$I_j$  : Inversión inicial (diseño, equipos, instalación e ingeniería) (S/.)

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

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

$d$  : Tasa de descuento (%)

$j$  : Tiempo de vida útil del sistema (años).

La vida útil de todos los elementos se consideró de 25 años, excepto del inversor que se considera de 10 años. Por lo tanto, se deben comprar 2 grupos adicionales de inversores después del año 10. No se consideró reinversión el año 20 con finalidad de hacer un poco más rentable el proyecto.

Guillen (2015) menciona que los estudios internacionales sobre el costo de generación de energía generalmente aplican tasas de 5 y 7 %, que son tasas de descuento basadas en precios reales, sin embargo, para proyectos de inversión privada, las tasas pueden aplicar tasas de descuento más altas. Para la investigación, el LCOE de la generación fotovoltaica, se ha determinado con una tasa de descuento del 7 %. La Tabla 11, muestran los resultados de cálculo del LCOE del sistema fotovoltaico. Resulta que el LCOE es 1.134 S/./kWh.

**Tabla 11***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   | 124020.34 |                    |            |                    | 124020.34              |                             | 124020.34                       |
| 1   |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 9333.23                     | 311.40                          |
| 2   |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 8722.65                     | 291.03                          |
| 3   |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 8152.00                     | 271.99                          |
| 4   |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 7618.70                     | 254.20                          |
| 5   |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 7120.28                     | 237.57                          |
| 6   |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 6654.46                     | 222.03                          |
| 7   |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 6219.13                     | 207.50                          |
| 8   |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 5812.27                     | 193.93                          |
| 9   |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 5432.03                     | 181.24                          |
| 10  |           | 9986.56            | 333.20     | 7900.00            | 8233.20                | 5076.66                     | 4185.34                         |
| 11  |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 4744.54                     | 158.30                          |
| 12  |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 4434.15                     | 147.94                          |
| 13  |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 4144.07                     | 138.27                          |
| 14  |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 3872.96                     | 129.22                          |
| 15  |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 3619.59                     | 120.77                          |
| 16  |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 3382.79                     | 112.87                          |
| 17  |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 3161.49                     | 105.48                          |
| 18  |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 2954.66                     | 98.58                           |
| 19  |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 2761.37                     | 92.13                           |
| 20  |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 2580.72                     | 86.11                           |
| 21  |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 2411.88                     | 80.47                           |
| 22  |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 2254.10                     | 75.21                           |
| 23  |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 2106.63                     | 70.29                           |
| 24  |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 1968.82                     | 65.69                           |
| 25  |           | 9986.56            | 333.20     |                    | 333.20                 | 1840.01                     | 61.39                           |
|   |           |                    |            |                    | <b>Totales:</b>        | <b>116 379.17</b>           | <b>131 919.28</b>               |
| <b>Costo nivelado de generación (S/./kWh)</b> |           |                    |            |                    |                        | <b>1.134</b>                |                                 |

*Nota.* Precios incluyen IGV.**4.4.3 Valor actual neto**

Una inversión  $I_0$  origina en los años futuros unos flujos de caja positivos o negativos que se producen en los distintos años  $j$  de duración de la propia inversión. Estos flujos de efectivo:  $FC_1$  en el primer año,  $FC_2$  en el segundo año,  $FC_j$  en el  $j$ -ésimo año. Para hacer

esta comparación, el efectivo los flujos deben ser “actualizados”, cada uno referido al año en que estará disponible, multiplicándolo por el factor de descuento relevante  $1/(1+i_j)^j$ . Cuando el VAN resulta positivo, significa que al final de la vida de la inversión los flujos de efectivo descontados producidos habrán dado rendimientos mayores que el costo de la inversión inicial. Por lo tanto el proyecto es conveniente desde el punto de vista financiero; viceversa cuando el VAN es negativo (Kumar, 2015). El VAN se determinó con la Ecuación (18).

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i_j)^j} - I_0 \quad (18)$$

#### 4.4.4 Tiempo de recuperación

El Tiempo de Recuperación (TR), se define como la relación entre la inversión inicial y el flujo de efectivo esperado considerado fijo en cantidad y programado periódicamente. Este indicador económico es muy utilizado pero puede dar indicaciones demasiado optimistas ya que no tiene cuenta la duración de la inversión y el coste del capital (Kumar, 2015). El TR se determinó con la Ecuación (19).

$$TR = \frac{I_0}{FC} \quad (19)$$

#### 4.4.5 Ratio Beneficio – Costo

El ratio Beneficio – Costo (B/C) es el cociente entre el valor absoluto de los costos y los beneficios, actualizados al valor presente. Ambos (los costos y beneficios) se actualizan con la misma tasa de descuento.

El proyecto resulta no rentable para una tasa de interés para el VAN del 10 %, VAN = -27337.96, TIR = 7.35%, y B/C = 0.79. Analizando para otro escenario se hace un poco rentable al largo plazo tomando un interés para el VAN de 6 %, VAN=12017.30, TIR = 7.35%, y B/C = 1.09. En la Tabla 12 y Tabla 13 se muestran los resultados de cálculo de la evaluación económica para diferentes tasas de interés y una vida útil de 25 años.

**Tabla 12**

*Resultados de evaluación económica, interés para VAN 10%*

| <b>Año de operación</b> | <b>Costos Inversión y reinversión (S/.)</b> | <b>Costos O&amp;M (S/.)</b> | <b>Costos totales (S/.)</b> | <b>Beneficios totales (Venta de energía) (S/.)</b> | <b>Factor de actualización 10.0%</b> | <b>Costos actualizados (S/.)</b> | <b>Beneficios actualizados (S/.)</b> | <b>Flujo neto de efectivo act. (S/.)</b> | <b>Flujo neto de efectivo act. acumulado (S/.)</b> |
|-------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|--|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--|--|
| 0                       | 124020.34                                   |                             | 124020.34                   |  | 1.00                                 | 124020.34                        | 0.00                                 | -124020.34                               | -124020.34   |
| 1                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.91                                 | 302.91                           | 10290.96                             | 9988.06                                  | -114032.29   |
| 2                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.83                                 | 275.37                           | 9355.42                              | 9080.05                                  | -104952.24   |
| 3                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.75                                 | 250.34                           | 8504.93                              | 8254.59                                  | -96697.65  |
| 4                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.68                                 | 227.58                           | 7731.75                              | 7504.17                                  | -89193.47  |
| 5                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.62                                 | 206.89                           | 7028.87                              | 6821.98                                  | -82371.50  |
| 6                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.56                                 | 188.08                           | 6389.88                              | 6201.80                                  | -76169.70  |
| 7                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.51                                 | 170.98                           | 5808.98                              | 5638.00                                  | -70531.70  |
| 8                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.47                                 | 155.44                           | 5280.89                              | 5125.45                                  | -65406.25  |
| 9                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.42                                 | 141.31                           | 4800.81                              | 4659.50                                  | -60746.75  |
| 10                      | 7900.00                                     | 333.20                      | 8233.20                     | 11320.06   | 0.39                                 | 3174.26                          | 4364.37                              | 1190.12                                  | -59556.63  |
| 11                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.35                                 | 116.78                           | 3967.61                              | 3850.83                                  | -55705.80  |
| 12                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.32                                 | 106.17                           | 3606.92                              | 3500.75                                  | -52205.05  |
| 13                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.29                                 | 96.52                            | 3279.02                              | 3182.50                                  | -49022.55  |
| 14                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.26                                 | 87.74                            | 2980.93                              | 2893.18                                  | -46129.36  |
| 15                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.24                                 | 79.77                            | 2709.93                              | 2630.17                                  | -43499.19  |
| 16                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.22                                 | 72.51                            | 2463.58                              | 2391.06                                  | -41108.13  |
| 17                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.20                                 | 65.92                            | 2239.61                              | 2173.69                                  | -38934.44  |
| 18                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.18                                 | 59.93                            | 2036.01                              | 1976.08                                  | -36958.36  |
| 19                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.16                                 | 54.48                            | 1850.92                              | 1796.44                                  | -35161.92  |
| 20                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.15                                 | 49.53                            | 1682.66                              | 1633.13                                  | -33528.79  |
| 21                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.14                                 | 45.03                            | 1529.69                              | 1484.66                                  | -32044.13  |
| 22                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.12                                 | 40.93                            | 1390.62                              | 1349.69                                  | -30694.44  |
| 23                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.11                                 | 37.21                            | 1264.20                              | 1226.99                                  | -29467.45  |
| 24                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.10                                 | 33.83                            | 1149.28                              | 1115.45                                  | -28352.00  |
| 25                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.09                                 | 30.75                            | 1044.80                              | 1014.04                                  | -27337.96  |
| <b>Total</b>            | <b>131920.34</b>                            |                             |                             | <b>283001.54</b>                                   |                                      | <b>130090.61</b>                 | <b>102752.65</b>                     | <b>-27337.96</b>                         |  |
|                         |   |                             |                             | <b>VAN=</b>  | <b>-27337.96</b>                     | <b>Se rechaza</b>                |                                      |  |  |
|                         |   |                             |                             | <b>TIR =</b>                                       | <b>7.35%</b>                         | <b>Se rechaza</b>                |                                      |  |  |
|                         |   |                             |                             | <b>B/C =</b>                                       | <b>0.79</b>                          | <b>Se rechaza</b>                |                                      |  |  |

**Tabla 13**

*Resultados de evaluación económica, interés para VAN 6 %*

| <b>Año de operación</b> | <b>Costos Inversión y reinversión (S/.)</b> | <b>Costos O&amp;M (S/.)</b> | <b>Costos totales (S/.)</b> | <b>Beneficios totales (Venta de energía) (S/.)</b> | <b>Factor de actualización 6.0%</b> | <b>Costos actualizados (S/.)</b> | <b>Beneficios actualizados (S/.)</b> | <b>Flujo neto de efectivo act. (S/.)</b> | <b>Flujo neto de efectivo act. acumulado (S/.)</b> |
|-------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|--|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--|--|
| 0                       | 124020.34                                   |                             | 124020.34                   |  | 1.00                                | 124020.34                        | 0.00                                 | -124020.34                               | -124020.34   |
| 1                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.94                                | 314.34                           | 10679.30                             | 10364.96                                 | -113655.38   |
| 2                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.89                                | 296.55                           | 10074.81                             | 9778.27                                  | -103877.11   |
| 3                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.84                                | 279.76                           | 9504.54                              | 9224.78                                  | -94652.33  |
| 4                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.79                                | 263.93                           | 8966.55                              | 8702.62                                  | -85949.71  |
| 5                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.75                                | 248.99                           | 8459.01                              | 8210.02                                  | -77739.69  |
| 6                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.70                                | 234.89                           | 7980.20                              | 7745.30                                  | -69994.38  |
| 7                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.67                                | 221.60                           | 7528.49                              | 7306.89                                  | -62687.49  |
| 8                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.63                                | 209.05                           | 7102.35                              | 6893.29                                  | -55794.20  |
| 9                       |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.59                                | 197.22                           | 6700.33                              | 6503.11                                  | -49291.09  |
| 10                      | 7900.00                                     | 333.20                      | 8233.20                     | 11320.06   | 0.56                                | 4597.38                          | 6321.06                              | 1723.69                                  | -47567.41  |
| 11                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.53                                | 175.53                           | 5963.27                              | 5787.74                                  | -41779.66  |
| 12                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.50                                | 165.59                           | 5625.72                              | 5460.13                                  | -36319.53  |
| 13                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.47                                | 156.22                           | 5307.29                              | 5151.07                                  | -31168.46  |
| 14                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.44                                | 147.37                           | 5006.87                              | 4859.50                                  | -26308.96  |
| 15                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.42                                | 139.03                           | 4723.47                              | 4584.43                                  | -21724.53  |
| 16                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.39                                | 131.16                           | 4456.10                              | 4324.94                                  | -17399.59  |
| 17                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.37                                | 123.74                           | 4203.87                              | 4080.13                                  | -13319.46  |
| 18                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.35                                | 116.73                           | 3965.91                              | 3849.18                                  | -9470.28   |
| 19                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.33                                | 110.13                           | 3741.43                              | 3631.30                                  | -5838.98   |
| 20                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.31                                | 103.89                           | 3529.65                              | 3425.76                                  | -2413.23   |
| 21                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.29                                | 98.01                            | 3329.86                              | 3231.84                                  | 818.62   |
| 22                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.28                                | 92.46                            | 3141.37                              | 3048.91                                  | 3867.53  |
| 23                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.26                                | 87.23                            | 2963.56                              | 2876.33                                  | 6743.86  |
| 24                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.25                                | 82.29                            | 2795.81                              | 2713.52                                  | 9457.38  |
| 25                      |   | 333.20                      | 333.20                      | 11320.06   | 0.23                                | 77.64                            | 2637.56                              | 2559.92                                  | 12017.30   |
| <b>Total</b>            | <b>131920.34</b>                            |                             |                             | <b>283001.54</b>                                   |                                     | <b>132691.08</b>                 | <b>144708.38</b>                     | <b>12017.30</b>                          |  |
|                         |   |                             |                             | <b>VAN=</b>  | <b>12017.30</b>                     | <b>Se acepta</b>                 |                                      |  |  |
|                         |   |                             |                             | <b>TIR =</b>                                       | <b>7.35%</b>                        | <b>Se acepta</b>                 |                                      |  |  |
|                         |   |                             |                             | <b>B/C =</b>                                       | <b>1.09</b>                         | <b>Se acepta</b>                 |                                      |  |  |

## V Discusión

Dentro de la evaluación de la radiación solar, se tomó el mes más desfavorable del ángulo de inclinación óptima  $7.67^\circ$ , que resultó  $3.65 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ , para el periodo de evaluación 2018 -2022 del aplicativo de la NASA. Florián (2022) determinó y tomó el criterio de la radiación en el mes más desfavorable  $4.02 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$  para una inclinación óptima calculada de  $7.44^\circ$  obtenidos también del aplicativo de la NASA para diferente periodo de evaluación. Asimismo datos muy cercanos a los encontrados por Mejía (2019), el nivel de radiación solar promedio mensual varía desde un mínimo de  $3.88 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$  en el mes de febrero, hasta un máximo de  $5.12 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$  en noviembre para un ángulo óptimo de inclinación de  $5^\circ$ ; selecciona que la radiación en el mes más desfavorable que recibirá el sistema es de  $3.88 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ , datos obtenidos del aplicativo de la NASA. Los resultados son muy cercanos a los encontrados por otros autores motivo que las zonas de estudio es la misma, pero para diferentes periodos o rangos de evaluación.

La demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas del pabellón H es de  $20.72 \text{ kWh/día}$ , para lo cual se consideró un factor de utilización de 0.8, con la finalidad de minimizar costos. La potencia eléctrica instalada es de  $6.08 \text{ kW}$ . La misma metodología de cálculo utilizada por Florián (2022), a diferencia que son otras cargas de consumo de energía, y utiliza un factor de simultaneidad la unidad. De igual manera Mejía (2019), estimó que la carga o demanda eléctrica total conectada al laboratorio de Ingeniería Mecánica es de  $2.94 \text{ kW}$ , y la demanda de energía eléctrica teórica de  $7.056 \text{ kWh/día}$ , con un factor de simultaneidad la unidad. Los factores de utilización, y simultaneidad permite optimizar los costos dentro del diseño del sistema fotovoltaico, y la demanda de energía va a depender del tipo de cargas eléctricas de la instalación.

Para el dimensionamiento de los componentes del sistema fotovoltaico aislado, primeramente se determinó el rendimiento total de la instalación ( $R_T$ ) que resultó  $64.48 \%$ . Para la generación se determinó 20 paneles Panel JA Solar, modelo JAM72S20-450/MR,  $450 \text{ Wp}$ ; dividido en dos grupos de generación,  $4500 \text{ Wp}$  para el MPPT1, y  $4500 \text{ Wp}$  para el otro MPPT2 del inversor. Para el subsistema de potencia se seleccionó 01 inversor híbrido ATESS HPS7500TLS, número de MPPT: 2, de  $7.5 \text{ KW}$ ,  $220\text{-}230 \text{ V CA (L-N)}$ . Para el almacenamiento se seleccionó 02 baterías LG Chem RESU10H,  $63 \text{ Ah}$ , voltaje  $350\text{-}450 \text{ V}$ . Metodología de cálculo muy cercana a la utilizada por Florián (2022), que también utiliza un inversor híbrido



de 02 MPPT, a diferencia que seleccionó un inversor trifásico 380/220 V, y baterías de las mismas características. Así mismo Reyes (2019) que dimensionó un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica de tres pisos del edificio D de la Universidad ESAN, ubicada en el distrito de Santiago de Surco – Lima. En el dimensionamiento obtuvo una cantidad de 155 paneles solares, 374 baterías, 2 reguladores y 79 inversores, que cubren el 18.6 % de la energía eléctrica demandada por los 3 pisos elegidos. La cantidad de equipos dimensionados y seleccionados va depender de la demanda de energía que se quiere cubrir en el campus universitario.

Para la evaluación económicamente del proyecto, primeramente se determinó el Costo Nivelado de Energía (LCOE) resultando 1.134 S/./kWh para una tasa de descuento del 7 %. La energía producida del sistema fotovoltaico resultó 9986.56 kWh/año. El proyecto resultó no rentable para una tasa de interés para el VAN del 10 %, VAN -27337.96, TIR 7.35%, y B/C 0.79. Se analizó para otro escenario donde se hace un poco rentable al largo plazo (año 21) tomando un interés para el VAN de 6 %, VAN 12017.30, TIR 7.35%, y B/C 1.09. La vida útil del proyecto se evaluó para 25 años. Al-Najideen y Alrwashdeh (2017) en su análisis reveló que la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Mu'tah consumía 96 MWh anualmente y al instalar un sistema fotovoltaico en red con una capacidad de 56.7 KW, la producción de electricidad a la red será de 97.02 MWh por año, que cubre la demanda de electricidad de Facultad de Ingeniería de la Universidad de Mu'tah con un costo de capital de \$ 117 000 y un período de recuperación de aproximadamente 5.5 años. Se puede analizar que un sistema fotovoltaico con conexión a red mejora la rentabilidad. Por lo tanto, la fuente de energía fotovoltaica es una solución energética viable desde el punto de vista ambiental.

## Conclusiones

- Se evaluó el recurso solar en la zona del proyecto, para diferentes ángulos de inclinación. La radiación para el ángulo óptimo calculado de  $7.67^\circ$  se interpoló entre los ángulos de  $5.75^\circ$  que corresponde a la latitud de la zona, y  $9.25^\circ$  obtenidos del aplicativo de la NASA. Para el diseño del sub sistema de generación fotovoltaica se tomó el mes más desfavorable del ángulo de inclinación óptima que resultó  $3.65 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ , para el periodo de evaluación 2018 -2021.
- Se determinó que la demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas del pabellón H es de  $20.72 \text{ kWh/día}$ , para lo cual se consideró un factor de utilización de 0.8, con la finalidad de minimizar costos. La potencia eléctrica instalada es de 6.08 kW.
- Se dimensionó los componentes del sistema fotovoltaico aislado, para lo cual se determinó que el rendimiento total de la instalación ( $R_T$ ) es de 64.48 %. Para la generación se determinó 20 paneles Panel JA Solar, modelo JAM72S20-450/MR, 450 Wp; dividido en dos grupos de generación, 4500 Wp para el MPPT1, y 4500Wp para el otro MPPT2 del inversor. Para el subsistema de potencia se seleccionó 01 inversor híbrido ATESS HPS7500TLS, numero de MPPT: 2, de 7.5 KW, 220-230 V CA (L-N). Para el almacenamiento se seleccionó 02 baterías LG Chem RESU10H, 63 Ah, rango de voltaje 350-450 V.
- Se evaluó económicamente el proyecto para una vida útil de 25 años, primeramente se determinó el Costo Nivelado de Energía (LCOE) de  $1.134 \text{ S/./kWh}$  para una tasa de descuento del 7 %. El proyecto resultó no rentable para una tasa de interés para el VAN del 10 %, VAN  $-27337.96$ , TIR  $7.35\%$ , y B/C 0.79. Se analizó para otro escenario donde se hace un poco rentable al largo plazo (año 21) tomando un interés para el VAN de 6 %, VAN  $12017.30$ , TIR  $7.35\%$ , y B/C 1.09. Por lo tanto, la fuente de energía fotovoltaica es una solución energética viable desde el punto de vista ambiental, y económica al largo plazo.

## **Recomendaciones**

- La Universidad Politécnica Amazónica, debe buscar el financiamiento para su respectiva implementación del proyecto, y propagar esta solución energética; ya que desde el punto de vista ambiental es sostenible, y también resultó viable con un retorno de inversión de largo plazo.
- Realizar mediciones a través de un analizador de redes eléctricas para obtener un diagrama de carga real por día, semana o mes.
- Evaluar económicamente el proyecto comparado con un sistema de conexión a red.

## Referencias bibliográficas

- Al-Najideen, M. I., y Alrwashdeh, S. S. (2017). Design of a solar photovoltaic system to cover the electricity demand for the faculty of Engineering- Mu'tah University in Jordan. *Resource-Efficient Technologies*, 3(4), 440-445.  
<https://doi.org/10.1016/j.reffit.2017.04.005>
- Al-Qahdan, A. S. S., Mansur, T. M. N. T., Baharudin, N. H., Ali, R., y Abdullah, A. M. (2021). Optimal Design of Solar Photovoltaic Power System with Battery Storage for Sustainable Campus Buildings. *Journal of Physics: Conference Series*, 1878(1).  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1878/1/012046>
- Al-shamani, A. N., Yusof, M., Othman, H., Mat, S., Ruslan, M. H., Abed, A. M., y Sopian, K. (2013). Design & Sizing of Stand-alone Solar Power Systems A house Iraq. *Recent Advances in Renewable Energy Sources*, January, 145-150.  
<https://pdfs.semanticscholar.org/ac10/c05f8a9e233407132e0e86161f47c4840e98.pdf>
- 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., y Gont, S. D. (2019). Design of a Standalone Photovoltaic System for a Typical Household around Dessie City-Ethiopia ASSESSMENT OF POWER RELIABILITY AND IMPROVEMENT POTENTIAL BY USING SMART RECLOSERS View project Design of a Standalone Photovoltaic System for a Typical Househo. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 7(1), 1-7. <https://doi.org/10.12691/ajeee-7-1-1>
- Fernández-Infantes, A., Contreras, J., y Bernal-Agustín, J. L. (2006). Design of grid connected PV systems considering electrical, economical and environmental aspects: A practical case. *Renewable Energy*, 31(13), 2042-2062.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.09.028>
- Florián, H. (2022). Dimensionamiento de un sistema eléctrico fotovoltaico para la demanda eléctrica del Taller de Procesos de Manufactura de la Universidad Politécnica Amazónica [Universidad Politecnica Amazonica]. En *Universidad Politecnica Amazonica*.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12897/92>
- García, A., y Peñuela, L. (2019). *Diseño e implementación de un sistema de paneles solares como prueba piloto para suministro energético de dispositivos móviles, en la Universidad Santo Tomás, Sede Villavicencio Campus Loma Linda* [UNiversidad Santo Tomas].  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/17565/2019alexandragarcia?sequence=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.).
- Hayter, S., Torcellini, P., y Deru, M. (2002). Photovoltaics for Buildings : New Applications and Lessons Learned. *National Renewable Energy Laboratory, July*, 1-14.
- Khamisani, A. A. ., Liu, P. P., Cloward, J., y Bai, R. (s. f.). *Design Methodology of Off-Grid PV Solar Powered System ( A Case Study of Solar Powered Bus Shelter )*.
- Kifle, Y., Singh, J., y Khan, B. (2018). Designing and modelling of grid connected photovoltaic system (case study: EEU Building at Hawassa City). *International Journal of Convergence Computing*, 3(1), 20. <https://doi.org/10.1504/ijconvc.2018.10012227>
- 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>
- Lázaro, E., y Panduro, H. (2020). *Manual de Metodología de la Investigación Científica* (Editorial Universitaria UPA (ed.); Cuarta Edi).
- Lee, J., Chang, B., Aktas, C., y Gorthala, R. (2016). Economic feasibility of campus-wide photovoltaic systems in New England. *Renewable Energy*, 99, 452-464.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.009>
- López, P. (2004). Población Muestra y Muestreo. *Punto Cero*, 09(08), 69-74.  
<http://www.scielo.org.bo/pdf/rpc/v09n08/v09n08a12.pdf>
- López Seguel, J., Seleme Junior, S. I., Donoso-García, P. F., Ferreira Morais, L. M., Cabaleiro Cortizo, P., y Severo Mendes, M. A. (2013). Methodology for the design of a stand-alone photovoltaic power supply. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 21(3), 380-393.  
<https://doi.org/10.4067/s0718-33052013000300008>
- Maya, E. (2014). Métodos y técnicas de investigación. En *Universidad Nacional Autónoma de México* (1a ed. Ele). Universidad Nacional Autónoma de Mexico.  
[http://www.librosoa.unam.mx/bitstream/handle/123456789/2418/metodos\\_y\\_tecnicas.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://www.librosoa.unam.mx/bitstream/handle/123456789/2418/metodos_y_tecnicas.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

- 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 Politecnica 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>
- Oko, C. O. C., Diemuodeke, E. O., Omunakwe, N. F., y Nnamdi, E. (2012). Design and economic analysis of a photovoltaic system: A case study. *International Journal of Renewable Energy Development*, 1(3), 65-73. <https://doi.org/10.14710/ijred.1.3.65-73>
- Omar, M. A., y Mahmoud, M. M. (2019). Design and simulation of a PV system operating in grid-connected and stand-alone modes for areas of daily grid blackouts. *International Journal of Photoenergy*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5216583>
- Pareja, M. (2016). *Energía Solar Fotovoltaica. Cálculo de una Instalación Aislada*. (Marcombo (ed.); 3era Ed.).
- Reyes, E. C. (2019). *Propuesta de uso de energía solar para el suministro de energía eléctrica y mejora de la eficiencia energética en la Universidad ESAN* [Universidad ESAN]. [https://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12640/1668/2019\\_IGA\\_19-1\\_01\\_TI.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12640/1668/2019_IGA_19-1_01_TI.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Roos, C. (2009). Solar Electric System Design , Operation and Installation. *Washington State University Extension Energy Program, October*. <http://www.energy.wsu.edu/documents/solarpvforbuildersoct2009.pdf>
- Rufasto, J. (2019). *Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica a la sala de cómputo de la Universidad Nacional de Jaén* [Universidad Nacional de Jaén]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/70>
- Shakya, D. K. S., y Raj, E. S. (2016). Training Manual for Engineers on Solar PV System. *Minsitry of Environment, Science and Technology, Nepal, July 2011*, 1-244. <https://doi.org/10.13140/2.1.3156.9607>

## **Anexos**

## Anexo 01

### Instrumento

#### Cargas eléctricas y horas de operación diaria

| N°         | Cargas eléctricas por ambiente | Unidad | Cantidad | Potencia unitaria (W) | Potencia instalada (W) | F.U | Operación diaria (horas) | Consumo diario de energía (kWh) |
|------------|--------------------------------|--------|----------|-----------------------|------------------------|-----|--------------------------|---------------------------------|
| <b>I</b>   |                                |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
|            | 1.1                            |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
|            | 1.2                            |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
| <b>II</b>  |                                |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
|            | 2.1                            |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
|            | 2.2                            |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
| <b>III</b> |                                |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
|            | 3.1                            |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
|            | 3.2                            |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
| <b>IV</b>  |                                |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
|            | 4.1                            |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
|            | 4.2                            |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
| <b>V</b>   |                                |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
|            | 5.1                            |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
|            | 5.2                            |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
| <b>VI</b>  |                                |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
|            | 6.1                            |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
|            | 6.2                            |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
| <b>VII</b> |                                |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
|            | 7.1                            |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |
|            | 7.2                            |        |          |                       |                        |     |                          |                                 |

*Nota.* FU es el factor de utilización.



**Instrumento**  
**Radiación diaria promedio mensual**

| <b>Mes</b> | <b>Idm<br/>(0°)</b> | <b>Idm<br/>(Latitud)</b> | <b>Idm<br/>(Latitud - 15°)</b> | <b>Idm<br/>(Latitud +15°)</b> | <b>Idm<br/>(90°)</b> |
|------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| Ene        |                     |                          |                                |                               |                      |
| Feb        |                     |                          |                                |                               |                      |
| Mar        |                     |                          |                                |                               |                      |
| Abr        |                     |                          |                                |                               |                      |
| May        |                     |                          |                                |                               |                      |
| Jun        |                     |                          |                                |                               |                      |
| Jul        |                     |                          |                                |                               |                      |
| Ago        |                     |                          |                                |                               |                      |
| Sep        |                     |                          |                                |                               |                      |
| Oct        |                     |                          |                                |                               |                      |
| Nov        |                     |                          |                                |                               |                      |
| Dic        |                     |                          |                                |                               |                      |

## Anexo 02

### Validez y confiabilidad de instrumentos

#### Constancia de evaluación

Yo, Eduar Jamis Mejía Vásquez, 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: “Cargas eléctricas y horas de operación diaria” y “Radiación diaria promedio mensual”, de la tesis del Bachiller Manuel Gabriel Melendez Rojas, titulada **“Diseño de un Sistema Fotovoltaico Aislado para la Demanda de Energía Eléctrica de las Oficinas Académicas del Pabellón H 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: Adecuado

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

En señal de conformidad firmo la presente, en la ciudad de Bagua Grande a los 08 días del mes de noviembre del 2022.

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

### Constancia de evaluación

Yo, Emilio Periche Chunga, con DNI 02767132, de profesión Ingeniero Mecánico Eléctrico, con Registro CIP 47492; desempeñándome como Jefe de la Oficina de Planeamiento Eléctrico en la Empresa de Servicio Público de Electricidad del Nor Oeste del Perú S.A - ENOSA, hago constar:

Por medio de la presente he revisado con fines de validación los Instrumentos: “Cargas eléctricas y horas de operación diaria” y “Radiación diaria promedio mensual”, de la tesis del Bachiller Manuel Gabriel Melendez Rojas, titulada **“Diseño de un Sistema Fotovoltaico Aislado para la Demanda de Energía Eléctrica de las Oficinas Académicas del Pabellón H 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 08 días del mes de noviembre del 2022.



**Mg. Ing. Emilio Periche Chunga**  
Jefe de la Oficina de  
Planeamiento Eléctrico -ENOSA

### Anexo 03

#### Matriz de consistencia

| 1. TITULO  | 4. VARIABLE DE ESTUDIO   | 8. INSTRUMENTOS  |
|--|--|--|
| <p>Diseño de un Sistema Fotovoltaico Aislado para la Demanda de Energía Eléctrica de las Oficinas Académicas del Pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica</p>                      | <p><b>a) Variable independiente (VI)</b><br/>Diseño de un sistema fotovoltaico aislado.</p> <p><b>b) Variable dependiente (VD)</b><br/>Demanda energía eléctrica</p>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Instrumento guías de observación (tipos de cargas eléctricas, potencias eléctricas nominales de equipos.</li> <li>- Instrumento como guías de análisis de documentos (tesis, artículos, datos radiación solar NASA).</li> </ul> |
| 2. FORMULACION DEL PROBLEMA  | 5. HIPOTESIS GENERAL   |  |
| <p>¿Se podrá diseñar un sistema fotovoltaico aislado para satisfacer la demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica?.</p> | <p>Se puede diseñar un sistema fotovoltaico aislado para satisfacer la demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica.</p> |  |

| 3. OBJETIVOS   | 6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN  | 9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO   |
|--|--|---|
| <p><b>3.1. Objetivo General</b></p>  | <p>El diseño de la investigación fue descriptivo con propuesta.</p>  | <p>Para el análisis estadístico y procesamiento de tablas, se ha utilizado el Excel. Dentro de las etapas del análisis de datos cuantitativo primeramente se ha reconocido las variables de las hipótesis planteadas, armar bases de datos, procesar los datos mediante las operaciones de tabulación, lectura y análisis de datos, interpretación de los datos. Finalmente la interpretación sobre los resultados de la investigación.</p> |
| <p>Diseñar un sistema fotovoltaico aislado para la demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica.</p>   |  |   |
| <p><b>3.2. Objetivos Específicos</b></p>   | <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p>M: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">O</span> → <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">P</span></p> <p>M: Oficinas académicas del pabellón H</p> <p>O: Observación cargas eléctricas</p> <p>P: Propuesta de diseño sistema fotovoltaico aislado</p> </div>         |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluar el recurso solar en la zona del proyecto.</li> <li>- Determinar la demanda de energía eléctrica de las oficinas académicas del pabellón H.</li> <li>- Dimensionar los componentes sistema fotovoltaico aislado.</li> <li>- Evaluar económicamente el proyecto.</li> </ul> |  |   |
|  | <p><b>7. POBLACION Y MUESTRA</b></p>   |   |
|  | <p>La población y muestra son las oficinas académicas del pabellón H de la Universidad Politécnica Amazónica, y como observación las cargas eléctricas. También se tomó la radiación solar en resolución mensual para los últimos 03 años (2018-2021). La muestra es igual que la población. Se consideró un muestreo no probabilístico a conveniencia del investigador.</p> |   |

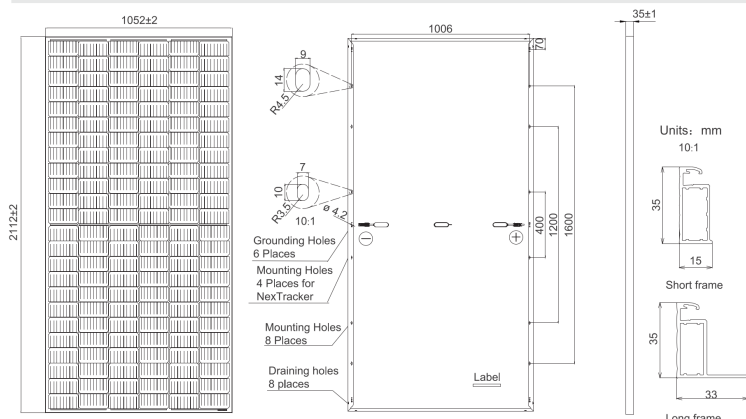
## Anexo 04

### Ficha técnica de paneles fotovoltaicos

**JA SOLAR**

**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 <sup>2</sup> (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(-);<br>Landscape: 1200mm(+)/1200mm(-) |
| Packaging Configuration            | 31pcs/pallet<br>682pcs/40ft Container                          |

#### ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

| TYPE  | JAM72S20<br>-445/MR   | JAM72S20<br>-450/MR | JAM72S20<br>-455/MR | JAM72S20<br>-460/MR | JAM72S20<br>-465/MR | JAM72S20<br>-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( $\alpha_{Isc}$ )  | +0.044%/°C  |                     |                     |                     |                     |                     |
| Temperature Coefficient of Voc( $\beta_{Voc}$ )   | -0.272%/°C  |                     |                     |                     |                     |                     |
| Temperature Coefficient of Pmax( $\gamma_{Pmp}$ ) | -0.350%/°C  |                     |                     |                     |                     |                     |
| STC   | Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , cell temperature 25°C, AM1.5G |                     |                     |                     |                     |                     |

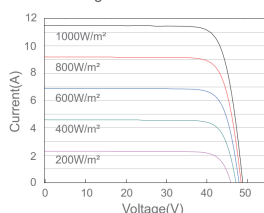
Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

#### ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

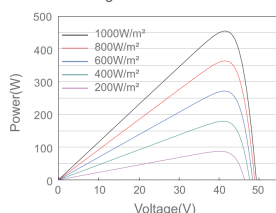
| TYPE                           | JAM72S20<br>-445/MR  | JAM72S20<br>-450/MR | JAM72S20<br>-455/MR | JAM72S20<br>-460/MR | JAM72S20<br>-465/MR | JAM72S20<br>-470/MR | OPERATING CONDITIONS        |                                 |
|--------------------------------|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 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 <sup>2</sup> ) |
| Max Power Current(Imp) [A]     | 8.64   | 8.68                | 8.72                | 8.76                | 8.81                | 8.86                | Maximum Static Load, Back*  | 2400Pa(50 lb/ft <sup>2</sup> )  |
| NOCT                           | Irradiance 800W/m <sup>2</sup> , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G                             |                     |                     |                     |                     |                     | NOCT                        | 45±2°C                          |
|                                | *For NexTracker installations, Maximum Static Load, Front is 1800Pa while Maximum Static Load, Back is 1800Pa. |                     |                     |                     |                     |                     | Safety Class                | Class II                        |
|                                |  |                     |                     |                     |                     |                     | Fire Performance            | UL Type 1                       |

#### CHARACTERISTICS

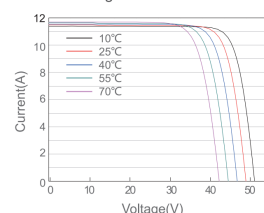
Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Power-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Premium Cells, Premium Modules

Version No. : Global\_EN\_20220511A

## Anexo 05







### Ficha técnica de inversores



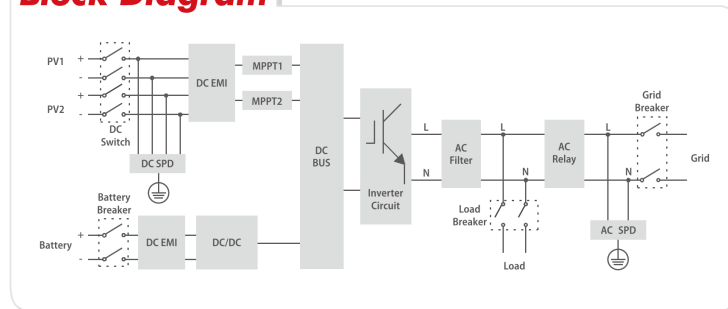
#### Overview

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     |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>AC (Grid-connected)</b> |                       |                       |                       |
| 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                |

|                     |                         |                         |                         |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>AC(Off-grid)</b> |                         |                         |                         |
| 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 |

|                                   |           |           |           |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| <b>DC (Battery and PV)</b>        |           |           |           |
| 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       |

|                              |   |                           |                           |
|------------------------------|---|---------------------------|---------------------------|
| <b>General Information</b>   |   |                           |                           |
| 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                      |

|                      |              |              |              |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Communication</b> |              |              |              |
| 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



## Anexo 06

### Ficha técnica de baterías

400V



| Models                                 | 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)

**Anexo 07**  
**Fotografías**



*Nota.* Tesista tomando datos de cargas eléctricas de alumbrado interior y ventiladores



*Nota.* Tesista tomando datos técnicos de computadoras.



*Nota.* Tesista tomando datos de dimensiones de la oficina de Coordinación de Escuelas Profesionales de Ingeniería -Pabellón H.



*Nota.* Tesista tomando datos de dimensiones exteriores de las oficinas académicas -Pabellón H

# Anexo 08

## Reporte de similitud

26/11/22, 20:33

Resultado del análisis

### Resultado del análisis

Archivo: INFORME FINAL DE TESIS-Manuel Gabriel Melendez Rojas..docx

#### Estadísticas

Sospechosas en Internet: **17,64%**

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

Sospechas confirmadas: **0%**

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

Texto analizado: **81,87%**

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:

| Endereço (URL)  | Ocorrências | Semelhança |
|---|-------------|------------|
| <a href="https://repositorio.upa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12897/92/Tesis%20de%20Humberto%20Luis%20Flori%C3%A1n%20Cercado.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">https://repositorio.upa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12897/92/Tesis%20de%20Humberto%20Luis%20Flori%C3%A1n%20Cercado.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a> | 48          | -          |
| <a href="https://repositorio.upa.edu.pe/handle/20.500.12897/92">https://repositorio.upa.edu.pe/handle/20.500.12897/92</a>   | 32          | -          |
| <a href="https://repositorio.esan.edu.pe/handle/20.500.12640/1668">https://repositorio.esan.edu.pe/handle/20.500.12640/1668</a>   | 15          | -          |

#### Texto analizado:

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

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

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

AUTOR:

Bach. Manuel Gabriel Melendez Rojas ORCID: 0000-0001-8917-643X

ASESOR:

Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez ORCID: 0000-0002-9018-9569  
Registro: UPA-PITIM0020

Bagua Grande Perú 2022

Dedicatoria

A mis padres Manuel Meléndez y Madeleine Rojas por ser las personas más importantes en mi vida, soporte material y emocional para cumplir con mis metas trazadas y convertirme en una persona de bien al servicio de la sociedad. A mi hermano Marx Hildebrando por ser la persona en quien me inspiró para convertirme en ejemplo de hermano mayor.

Manuel Gabriel

Agradecimiento

Al Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez, Coordinador de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica y asesor del trabajo de investigación por sus acertadas orientaciones durante el desarrollo del informe de investigación; por sus sabias orientaciones brindadas durante el desarrollo del proyecto de investigación, permitiendo cumplir a tiempo con los requerimientos propios del estudio.

Al Gerente de la Universidad Politécnica Amazónica, por facilitarme las dimensiones, la capacidad, y demás datos del área administrativa de irme la realización de la presente investigación.

El autor

Autoridades universitarias

Rector : Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán

Coordinador de Escuela : Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/INFORME FINAL DE TESIS-Manuel Gabriel Melendez Rojas..docx\_analyzed.html