

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional Ingeniería de Ambiental

Trabajo de Investigación

**Propuesta de equipación y evaluación económica de un
sistema solar fotovoltaico conectado a red para el
Centro Educativo "Hellen Keller", Arequipa**

Piero Martín Cuadros Curie

Para optar el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Ambiental

Arequipa, 2020

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de investigación



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos al Sr. Juan Solís Escobedo, director del CEBE “Helen Keller” por permitirme realizar mi investigación en su centro educativo; a mis asesores de investigación, la Ing. Leydi Manrique Tejada y el Ing. Anieval Peña Rojas, por apoyarme durante la investigación y finalmente a la Universidad, por ayudarme en mi formación académica.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia y en especial a mis padres, por su paciencia y su apoyo incondicional.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUCCIÓN.....	ix
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.1.1. Problema general.....	4
1.1.2. Problemas específicos	4
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo general.....	5
1.2.2. Objetivos específicos	5
1.3. Justificación e importancia	5
1.3.1. Ambiental.....	5
1.3.2. Social.....	6
1.3.3. Económica	6
1.4. Hipótesis y descripción de variables.....	7
1.4.1. Hipótesis general	7
1.4.2. Hipótesis específicas	7
1.4.3. Operacionalización de las variables	8
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes del problema.....	9
2.1.1. Antecedentes nacionales	9
2.1.2. Antecedentes internacionales	13
2.2. Bases teóricas.....	16
2.2.1. Marco legal	16
2.3. Definición de términos básicos.....	17
2.3.1. Radiación solar	17
2.3.2. Energía eléctrica.....	17
2.3.3. Sistema fotovoltaico	17
2.3.4. Sistema fotovoltaico conectado a red.....	17

2.3.5.	Paneles solares	17
2.3.6.	Inversores	18
2.3.7.	Convertidor	18
CAPÍTULO III METODOLOGÍA		19
3.1.	Método y alcance de la investigación	19
3.1.1.	Método de investigación.....	19
3.1.2.	Alcance o nivel de investigación.....	19
3.2.	Diseño de la investigación.....	19
3.2.1.	Diseño experimental	19
3.3.	Población y muestra.....	19
3.3.1.	Población	19
3.3.2.	Muestra	20
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	21
3.4.1.	Técnica	21
3.4.2.	Instrumento	21
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		22
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información	22
4.1.1.	Radiación Solar.....	22
4.1.2.	Potencia Instalada.....	26
4.1.3.	Hora solar pico.....	29
4.1.4.	Calculo de paneles solares	30
4.1.5.	Inclinación de paneles solares	30
4.1.6.	Cálculo del inversor.....	31
4.1.7.	Presupuesto.....	32
4.1.8.	Consumo y abono actual de la institución	32
4.1.9.	Consumo y abono con el sistema fotovoltaico.....	33
4.1.10.	Consumo y abono actual vs con sistema fotovoltaico	34
4.2.	Prueba de hipótesis	35
4.2.1.	Hipótesis específica #1	35
4.2.2.	Hipótesis específica #2	37
4.2.3.	Hipótesis específica #3	38
4.2.4.	Hipótesis específica #4	38
4.3.	Discusión de resultados	42
CONCLUSIONES		44
REFERENCIAS		45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	8
Tabla 2. Coordenadas geográficas	20
Tabla 3. Índice de radiación solar según la NASA	22
Tabla 4. Índice de radiación solar según el Atlas Solar del Perú.....	23
Tabla 5. Índice de radiación solar tomado In-Situ	24
Tabla 6. Comparación de Índices de radiación solar de tres distintas fuentes	25
Tabla 7. Inventario y potencia del área SAANEE	27
Tabla 8. Inventario y potencia de las aulas	27
Tabla 9. Inventario y potencia del área de dirección	28
Tabla 10. Potencia instalada en los pasadizos.....	28
Tabla 11. Potencia instalada total de la Institución.....	29
Tabla 12. Presupuesto del sistema fotovoltaico	32
Tabla 13. Consumo y abono actual de la Institución	32
Tabla 14. Consumo y abono con el sistema fotovoltaico.....	33
Tabla 15. Consumo y abono actual vs consumo y abono con el SF	35
Tabla 16. Prueba de normalidad - Radiación Solar.....	36
Tabla 17. Prueba ANOVA - Radiación solar	37
Tabla 18. Datos para la prueba T-student.....	39
Tabla 19. Prueba de normalidad - Abono eléctrico	40
Tabla 20. Prueba T-student - Abono eléctrico I.....	41
Tabla 21. Prueba T-student - Abono eléctrico II.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto invernadero.....	2
Figura 2. Índice de Radiación UV - Departamento de Arequipa.....	3
Figura 3. Curva de Radiación UV diaria - Ciudad de Arequipa.....	3
Figura 4. CEBE "Helen Keller"	20
Figura 5. Índice de radiación solar según la NASA	23
Figura 6. Índice de radiación solar según el Atlas Solar del Perú.....	24
Figura 7. Índice de radiación solar tomado In-Situ	25
Figura 8. Comparación de Índices de radiación solar de tres distintas fuentes	26
Figura 9. Potencia instalada por áreas.....	29
Figura 10. Comportamiento del costo eléctrico	40

RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo describir una propuesta de equipación y evaluación económica de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el Centro de Educación Básica Especial “Helen Keller”, Arequipa. Por lo tanto, mediante una metodología científica descriptiva y un diseño cuasiexperimental, se comenzó a detallar las especificaciones necesarias para el sistema fotovoltaico. Primero se determinó la población y muestra la cual consta de datos de radiación solar en Arequipa de fuentes como la NASA, el Atlas Solar del Perú y una medición In Situ y las boletas de pago de la institución. Posteriormente se realizó una prueba de hipótesis ANOVA para comprobar que los datos de radiación solar son significativamente similares, los cuales resultaron de dicha manera. Después, mediante la elaboración de tablas con respecto a los artefactos eléctricos de la institución se halló la demanda máxima de ésta, siendo este valor de 13.6805 kWh. Posteriormente, mediante cálculos matemáticos se calculó que el sistema requiere de 6 paneles solares de 340 Wp con una inclinación de 26° y un inversor de corriente de 2kW. Finalmente, mediante una prueba estadística T-student con un nivel de significancia del 5% se comprobó que la equipación del presente sistema fotovoltaico reduce significativamente la liquidación por gasto eléctrico ya que el p(valor) es mucho menor a la significancia (0.05).

PALABRAS CLAVE: Sistema fotovoltaico conectado a red – energía eléctrica – energía renovable

ABSTRACT

The present research aims to describe a proposal for equipping and economic evaluation of a grid-connected solar photovoltaic system for the "Helen Keller" Special Basic Education Center, Arequipa. Therefore, through a descriptive scientific methodology and a quasi-experimental design, the necessary specifications for the photovoltaic system began to be detailed. First, the population was determined, and the sample consists of data on solar radiation in Arequipa from sources such as NASA, the Solar Atlas of Peru and an In-Situ measurement and the institution's payment slips. Subsequently, an ANOVA hypothesis test was carried out to verify that the solar radiation data are significantly similar, which resulted in this way. Later, by means of the elaboration of tables with respect to the electrical devices of the institution, the maximum demand of this was found, being this value of 13,6805 kWh. Subsequently, through mathematical calculations it was calculated that the system requires 6 solar panels of 340 Wp with an inclination of 26 ° and a 2kW current inverter. Finally, by means of a T-student statistical test with a significance of 5%, it was found that the equipping of the present photovoltaic system significantly reduces the liquidation for electricity costs since the p (value) is much less than the significance (0.05).

KEY WORDS: Grid connected photovoltaic system - electric energy - renewable energy

INTRODUCCIÓN

Antiguamente, el sol era venerado por las ancestrales tribus, colonias, incluso por imperios que existían debido a su esplendor, magnificencia y por sobre todo a su utilidad ya que permitía la vida cotidiana de las personas brindando luz. Al pasar los años, el sol servía de diferentes maneras y era usado de distintas formas, como guía para saber los puntos cardinales, se usaba en relojes solares, etc.

El sol es una fuente de energía altamente potencial que ha sido usado durante muchos siglos por nuestros ancestros a través del tiempo, sin embargo, con el descubrimiento del oro negro, es decir, el petróleo y los combustibles fósiles su uso ha sido relegado y sustituido.

En nuestro país existen diversas fuentes de generación de energía eléctrica entre las cuales están las hidroeléctricas, las termoeléctricas, entre otras, Las cuales emplean los combustibles fósiles y derivados como por ejemplo el diésel o el carbón como materia prima y por ende tienen un impacto negativo en el ambiente ya que generan gases nocivos en sus distintos procesos como el dióxido de carbono (CO_2), los óxidos nitrosos (NO_x) y los óxidos sulfurosos (SO_x), los cuales son liberados al medio ambiente provocando localmente las famosas lluvias ácidas y a su vez contribuyendo al calentamiento global y al efecto invernadero.

Adicionalmente, la alta creación de artefactos eléctricos para distintos usos, la gran demanda eléctrica en las ciudades, la innovación y el crecimiento industrial y en conjunto con la reciente preocupación hacia el medio ambiente, las energías renovables crecen en gran medida como solución a este tipo de problemática y en especial los sistemas fotovoltaicos los cuales generan la energía eléctrica con un porcentaje de contaminación mínima. Arequipa posee un alto índice de radiación solar según SENAMHI, debido a este factor, es una gran oportunidad para implementar un sistema fotovoltaico.

La institución educativa escogida cumple con excelentes características que favorecen la equipación de este sistema como los techos amplios y horizontales sin ningún tipo de sombra y la posesión de pocos artefactos eléctricos. Por lo tanto, equipar un sistema fotovoltaico en el centro educativo “Helen Keller” ayudará a fomentar el uso de energías renovables en los niños y jóvenes, además de reducir los costos de los centros educativos.

Para el desarrollo de la investigación primero en el Capítulo I, se revisarán generalidades, se planteará el problema y caso de estudio, así como los objetivos y las hipótesis correspondientes para su comprobación, se describirán las variables y se justificará la investigación en ámbitos económicos, sociales y ambientales.

En el Capítulo II, se revisará la literatura para describir antecedentes internacionales, nacionales y locales de la investigación, además de algunas bases teóricas y ciertas definiciones breves de términos básicos necesarios de conocer para un mejor entendimiento de la investigación.

En el Capítulo III, se desarrollará la metodología de la investigación, se evaluará el método, el alcance y el diseño, así como se determinará la población a investigar y las técnicas e instrumentos necesarios para el correcto desarrollo de la investigación.

Por último, en el Capítulo IV se presentarán los resultados del tratamiento y el análisis de la información mediante cuadros y figuras para su posterior prueba de hipótesis según lo requiera, para finalmente discutir los resultados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento y formulación del problema

Actualmente se suele escuchar por diversos medios, la creciente preocupación global acerca de problemas ambientales como el calentamiento global o el efecto invernadero, sin embargo, no muchas personas conocen la causa de este problema.

Este problema es causado por los famosos 6 gases de efecto invernadero según el protocolo de Kioto, siendo el más conocido el dióxido de carbono (CO_2), sin embargo no es el único responsable de esta problemática, también se encuentran el metano (CH_4) el cual es conocido por el tema del biogás o la contaminación de las vacas; otro gas es el óxido nitroso (N_2O) que comúnmente se encuentra en la combustión incompleta de combustibles fósiles como el petróleo; otros gases son los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC), los cuales son gases usados para el funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado y en el área médica respectivamente; y por último el hexafluoruro de azufre (SF_6) el cual es empleado en sistemas eléctricos. (1)

Los gases mencionados anteriormente suelen elevarse a la atmósfera debido a la diferencia de la densidad con el aire y se van acumulando cada vez más haciendo que la radiación del sol que ingresó a nuestro planeta y que deba salir por el efecto albedo, no pueda atravesar esa cortina de gases y por lo tanto reingrese a nuestro planeta nuevamente provocando que la energía se concentre en el planeta y por consecuencia la temperatura global se eleve, este fenómeno es llamado calentamiento global y es el causante principal del calentamiento global.

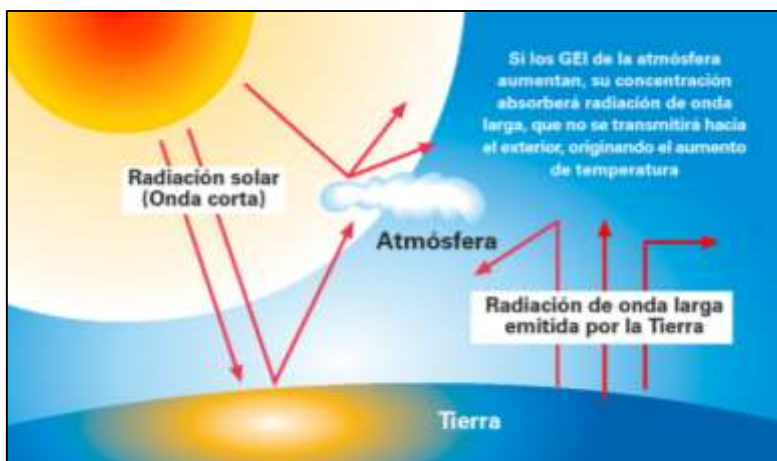


Figura 1. Efecto invernadero

Fuente: (2)

Según el Ministerio del Ambiente con datos de la Organización de las Naciones Unidas, en el año 2000 más de la mitad de todas las emisiones de gases de efecto invernadero del planeta provenían de la combustión completa e incompleta de combustibles fósiles y aproximadamente un cuarto del total de emisiones eran provenientes de la generación de energía eléctrica siendo aproximadamente 10 GT (10 giga toneladas) de dióxido de carbono (CO₂). Además de que actualmente más de 0,5 GT son generadas únicamente por el sistema de iluminación del planeta (1).

Esta cantidad es sumamente alarmante y es debido a eso que es necesario buscar alternativas energéticas sostenibles y ecológicas como los sistemas fotovoltaicos.

Arequipa, como región, es una de las zonas que posee un índice de radiación UV muy alto en todo el Perú. Según el SENAMI, toda la zona de Arequipa se ubica en una zona de radiación extremadamente alta a medio día con un cielo despejado, según la escala de radiación, la cual se puede observar en las imágenes 2 y 3 a continuación.



Figura 2. Índice de Radiación UV - Departamento de Arequipa

Fuente: (3)

Para una mejor visualización, a continuación, se presenta la curva de radiación UV que posee la misma ciudad de Arequipa, en un día que presente nubosidad nula y cielo despejado.

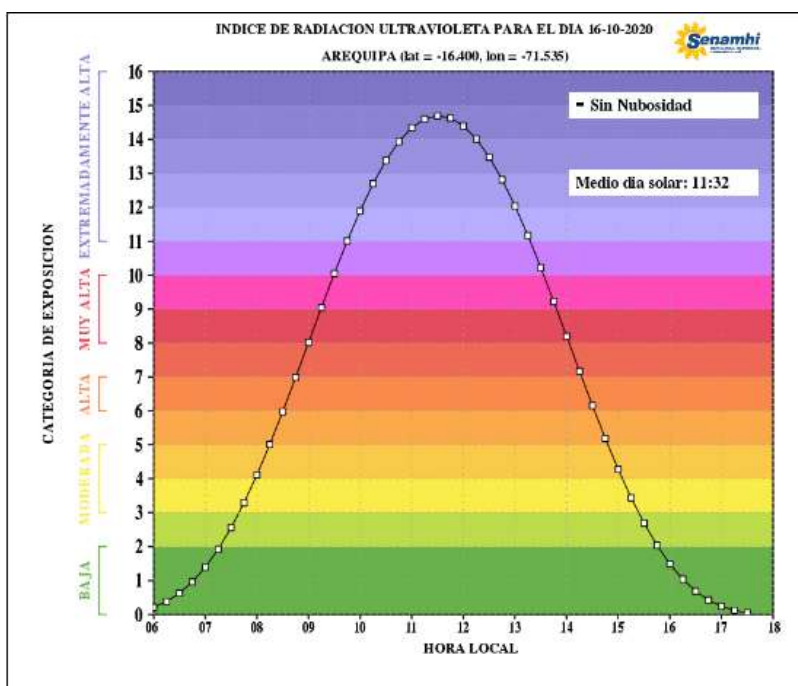


Figura 3. Curva de Radiación UV diaria - Ciudad de Arequipa

Fuente: (3)

Como se logra observar en la imagen, Arequipa en un día despejado llega a recibir una radiación extremadamente alta a medio día, además de llegar a una radiación alta

desde aproximadamente las 08:30 horas hasta las 14:30 horas, recibiendo unas 6 horas continuas de intensas radiaciones altas y extremadamente altas por día. Cabe recalcar que Arequipa suele poseer un cielo despejado la mayor parte del año y radiación solar en todas las temporadas.

A su vez, el CEBE “Helen Keller” de la ciudad de Arequipa posee una infraestructura adecuada para la instalación de un sistema fotovoltaico, ya que los techos de los ambientes educativos son planos y espaciosos, perfectos para la respectiva instalación.

Es debido a estos motivos que se decidió proponer una implementación y equipación de un sistema fotovoltaico conectado a red en el CEBE “Helen Keller” de la ciudad de Arequipa.

1.1.1. Problema general

¿Cómo sería la propuesta de equipación y evaluación económica de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Son los datos de la radiación solar obtenidos de la NASA, del Atlas Solar del Perú y de manera empírica significativamente iguales, para la equipación y evaluación económica de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa?
- ¿Cuánto es el consumo energético de la institución y cuál es su demanda máxima para la equipación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa?
- ¿Cuántos paneles fotovoltaicos y a cuántos grados de inclinación se necesita para la equipación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa?
- ¿La equipación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red reduce significativamente el costo de liquidación por energía eléctrica al CEBE “Helen Keller”, Arequipa?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Describir la propuesta de equipación y evaluación económica de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa.

1.2.2. Objetivos específicos

- Precisar los datos de la radiación solar obtenidos de la NASA, del Atlas Solar del Perú y de manera empírica y determinar si estos son significativamente iguales, para la equipación y evaluación económica de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa.
- Determinar el consumo energético de la institución, así como la demanda máxima para la equipación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa.
- Determinar el número de paneles y la inclinación necesaria para la equipación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa.
- Determinar si la equipación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red reduce significativamente el costo de liquidación por energía eléctrica al CEBE “Helen Keller”, Arequipa.

1.3. Justificación e importancia

El trabajo de investigación es de suma importancia debido a las siguientes razones:

1.3.1. Ambiental

La calidad del medio ambiente ha sido degradada de manera exponencial con el transcurso de los años, debido a factores sociales, industriales y económicos y la propuesta de solución planteada mediante la siguiente investigación beneficia al ecosistema ya que al ser una un sistema fotovoltaico con uso de la energía solar la cual es de carácter renovable no contamina al medio ambiente.

La generación de energía eléctrica producto de los procesos de combustión de combustibles fósiles como el petróleo y el carbón en plantas termoeléctricas, genera un grave impacto en el ecosistema, especialmente el medio atmosférico ya que genera gases nocivos como el dióxido de carbono (CO₂), los óxidos nitrosos (NO_x) y los óxidos

sulfurosos (SO_x) los cuales provocan efectos como la lluvia ácida y contribuyen al aumento del calentamiento global y el efecto invernadero. La presente investigación al emplear las energías renovables evita el consumo de energía proveniente de estas plantas y aporta una pequeña reducción en cuanto a la generación de estos gases.

Un sistema fotovoltaico no genera residuos sólidos ni peligrosos, no emana gases perjudiciales o de efecto invernadero, por ende, no contamina el aire, no genera ruido ni contaminación sonora, no hace uso de los recursos hídricos y por ende no malgasta ni contamina el agua, no produce radiaciones ionizantes y por último no genera contaminación del suelo. Es decir, que un sistema fotovoltaico es un sistema ecológico y de carácter ambiental.

Implementar un sistema solar fotovoltaico en una Institución Educativa contribuiría al mejoramiento de los indicadores de ecoeficiencia de la misma institución, los cuales son impulsados por el Estado para mejorar el desarrollo público del país.

1.3.2. Social

Comúnmente se suele escuchar a la gente comentar que el smog les causa problemas de salud y toda la culpa le es atribuida a las emisiones de los vehículos de transporte, sin embargo, la mayoría de las personas no tiene el conocimiento que parte del smog que les causa problemas es emitido por las plantas termoeléctricas que trabajan para generar la electricidad que consumen. Es por ese motivo que el uso de energías renovables como los sistemas fotovoltaicos tendrá un impacto social positivo en las personas.

Además, lograr implementar un sistema fotovoltaico en una Institución Educativa fomentará un ambiente ecológico entre los estudiantes y el personal educativo debido al uso de energías renovables, generando así un impacto positivo en las personas promoviendo e impulsando a que estas adquieran un pensamiento ecológico y posean una consciencia ambiental.

1.3.3. Económica

Los costos de facturación de energía eléctrica cada vez son mayores, además de los cortes repentinos de luz que ocasionalmente suelen haber, provocan insatisfacción en la población e incentivan la búsqueda de tecnologías de reemplazo.

Un sistema fotovoltaico brinda beneficios económicos a largo plazo ya que al principio suele haber una fuerte inversión económica para posteriormente tener un periodo de aproximadamente 10-15 años en los cuales no se hace ningún pago, además de que existe un retorno de la inversión y un tiempo en el cual se tiene energía eléctrica gratuita.

Sin embargo, un sistema fotovoltaico conectado a red tiene contacto con la red eléctrica por lo tanto no es independiente. Esto hace que no exista un periodo de energía gratuita, sino una reducción considerable en el pago de los recibos.

Arequipa es conocida porque existe la presencia de la radiación solar durante los doce meses del año, por lo tanto, tampoco sería afectada por la escasez del recurso solar. Es por eso por lo que la implementación de un sistema fotovoltaico en una Institución Educativa traerá beneficios económicos a la misma institución ya que reducirá sus costos por abono eléctrico.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis general

- La propuesta de equipación y evaluación económica de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa; genera al menos el 70% de energía eléctrica demandada por la institución.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Los datos de la radiación solar obtenidos de la NASA, del Atlas Solar del Perú y de manera empírica son significativamente iguales, para la equipación y evaluación económica de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa
- El consumo energético de la institución educativa “Helen Keller” es bajo y presenta una demanda eléctrica máxima no mayor a 20 KWh.
- La propuesta de equipación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa; presenta 05 paneles fotovoltaicos con una inclinación de 15°.
- La equipación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red reduce significativamente el costo de liquidación por energía eléctrica al CEBE “Helen Keller”, Arequipa.

1.4.3. Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable Nominal	Definición de la variable	Dimensiones	Indicadores
Equipación de un Sistema Solar Fotovoltaico	Un sistema solar fotovoltaico es una estructura que aprovecha la energía de las radiaciones solares para transformarla en energía eléctrica.	Radiación solar	kWh/m ² Kilowatts hora por metro cuadrado
		Potencia	kW Kilowatts
Evaluación de un Sistema Solar Fotovoltaico	La evaluación de un sistema solar sirve para medir cuantitativa y cualitativamente los factores ambientales y económicos de la investigación.	Evaluación económica	S/. Soles

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

En el siguiente capítulo se hará una intensa revisión a la literatura para describir antecedentes de la investigación y su aporte a la presente investigación. Además, se detallará algunas bases teóricas y breves definiciones de términos básicos para el mejor entendimiento de la investigación.

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes nacionales

Escobedo León en su investigación de tesis tiene por objetivo la implementación de un sistema fotovoltaico en un laboratorio de cómputo en el Colegio Nacional Coloso y Emblemático Jaén de Broccamoros en Lambayeque bajo un diseño de investigación aplicada y no experimental logrando dicho objetivo con la implementación de 24 paneles de 150 Wp, 12 baterías, 1 regulador de carga y un inversor requiriendo una inversión de S/. 63 747,63 y generando un VAN de S/. 2 058,81 lo cual concluye que el cumplimiento del objetivo es económicamente viable (4) La presente investigación aporta valiosa información al trabajo como el funcionamiento de un sistema fotovoltaico en ambientes pequeños y sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

Avalos Vallejos en su investigación de tesis tiene por objetivo diseñar un sistema fotovoltaico debido los problemas en el servicio de energía eléctrica en un servicio habitacional en Jaén, por lo tanto, bajo una investigación no experimental e implementando 92 paneles de 270 Wp genera un VAN positivo de S/. 175 116,07 e indica una rentabilidad positiva, concluyendo que el objetivo de su investigación ha sido

cumplido de manera satisfactoria (5) La presente investigación aporta muy buena información al trabajo como el funcionamiento de un sistema fotovoltaico en hoteles de mediano tamaño, además de servir como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

Juan de Dios Ortiz en su investigación de tesis tiene por objetivo realizar una propuesta de diseño de un sistema solar fotovoltaico en un anexo de Tinco en la provincia de Yauyos, Lima debido a las deficiencias en el suministro eléctrico de dicho anexo y bajo una investigación básica-aplicada tomó como muestra 20 viviendas de una población de 25 viviendas y obtuvo resultados económicamente positivos obteniendo una recuperación de la inversión en 6 años y concluyendo que la investigación puede ser replicada y que la energía generada mediante este medio es de suma importancia y contribuye al desarrollo sostenible en el país (6) La presente investigación brinda información al trabajo como el funcionamiento de un sistema fotovoltaico para complejos habitacionales pequeños y de escasos recursos, adicionalmente sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

León Llanos en su investigación de tesis tiene por objetivo diseñar un sistema fotovoltaico conectado a red y lograr reducir el consumo eléctrico de red y los costos del Instituto ISA en Chiclayo, y bajo una investigación evaluativa y descriptiva y empleando un análisis de datos matemático implementó 20 paneles de 315 Wp los cuales generaron un beneficio inicial de S/ 5 791,15 al primer año y un retorno de inversión de 6 años aproximadamente (7) La presente investigación concede información al presente trabajo como el funcionamiento y la rentabilidad de un sistema fotovoltaico en Institutos de mediano tamaño con tecnología media, y sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

Lulo Niño en su trabajo de investigación tiene por objetivo determinar en cómo la implementación de un sistema fotovoltaico minimiza los costos de luz en la Municipalidad Distrital de Morococha, Yauli-Junín y con el uso de contrastación de hipótesis por T-student obtuvo que la ejecución del trabajo reduce el pago por gasto de electricidad en un 24, 88% (8) La presente investigación aporta valiosa información al trabajo como el funcionamiento de un sistema fotovoltaico en infraestructuras del Estado como lo son las Municipalidades, además de la posibilidad de la utilización de

pruebas estadísticas como la T-student para la demostración de resultados. Por otro lado, también sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

Ramos Jiménez en su investigación tiene por objetivo precisar si la ejecución de un sistema fotovoltaico en el Pabellón “L” de la Universidad Continental sede Huancayo disminuye el nivel de abono por gasto eléctrico convencional mediante la prueba T-student con un nivel de significancia del 5% y bajo un método aplicado del tipo deductivo consiguió un resultado positivo, logrando minimizar los pagos por gasto energético con financiamiento y sin financiamiento de 42,25% y 50,87% respectivamente (9) La presente investigación brinda información a la investigación como el funcionamiento y la rentabilidad de un sistema fotovoltaico en infraestructuras de gran tamaño y con tecnología avanzada como lo es todo un pabellón de una Universidad privada. Adicionalmente también apoya el uso de pruebas estadísticas para la demostración de datos y sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

Fernández Barreda en su investigación de tesis, tiene por objetivo precisar la viabilidad de la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a red en el colegio Max Uhle, Arequipa desde una perspectiva técnica, además de resaltar las ventajas que obtendría la institución. Empleando la metodología de revisión bibliográfica, cálculos tradicionales y por software y evaluando la rentabilidad propuso la implementación de un sistema fotovoltaico con la capacidad del 80% de la demanda energética de la institución usando un inversor de 15kW y 54 paneles de 280 Wp. Además, en su investigación evalúa que el retorno de su inversión sería en 9 años, logrando demostrar la viabilidad de dicha implementación, pero con cambios significativos en la infraestructura de la institución (10) La presente investigación concede valiosa información al trabajo como el funcionamiento y la rentabilidad de un sistema fotovoltaico en grandes colegios privados con un nivel de tecnología alto como lo es el colegio “Max Uhle”. En adición, aporta la posibilidad de uso de software para el cálculo matemático y estadístico y para la corroboración de resultados; también sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

Portugal Chalco en su tesis de investigación tiene por objetivo diseñar un sistema fotovoltaico de generación eléctrica que sea rentable para las viviendas de Arequipa y bajo un método deductivo tomó como muestra una vivienda común con equipos

electrónicos bajo media estadística en la cual concluyó que el modelo propuesto es viable económicamente con un punto de equilibrio de 5,4 años y su diseño es replicable y realizable viviendas con similitud a la media estadística (11) La presente investigación concede información al trabajo como el funcionamiento y la rentabilidad de un sistema fotovoltaico en los hogares de Arequipa. Adicionalmente aporta la posibilidad del uso de medias estadísticas como muestra para el análisis de datos y el procesamiento de información. También sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

Valdiviezo Salas en su investigación tiene por objetivo diseñar un sistema fotovoltaico para brindar energía a 15 computadoras portátiles dentro de la Pontificia Universidad Católica de Perú para incentivar la utilidad de las energías renovables, por lo tanto, mediante cálculos matemáticos y estadísticos selecciona los componentes ideales para su sistema como 12 baterías, 24 paneles, 3 controladores y 1 inversor. Finalmente concluye que el sistema no es económicamente rentable, sin embargo, demuestra que dicho sistema evita que se emita 4,35 T de CO₂ anuales (12) La presente investigación de Valdiviezo Salas aporta valiosa información al trabajo ya que demuestra que no todos los sistemas fotovoltaicos aplicados son rentables económicamente, sin embargo, también brinda datos numéricos de reducción de emisión de CO₂ por la implementación del sistema. Por otro lado, también sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

Banda Toma en su investigación tiene por objetivo evaluar la viabilidad técnica y económica de un sistema fotovoltaico aislado para un cierto espacio de la Universidad Católica San Pablo, Arequipa; el cual posee aparatos eléctricos de uso diario como celulares y laptops. En la investigación concluyó que se necesitan 28 paneles, 24 baterías, 2 controladores y 2 inversores para cubrir la expectativa energética y con una fuerte inversión inicial de USD 26,3444.8 es rentable técnicamente pero no económicamente (13) La presente investigación concede valiosa información a la investigación, ya que al igual que la investigación de Valdiviezo Salas, demuestra que los sistemas fotovoltaicos no son siempre rentables económicamente, sobre todo en áreas con alto gasto energético como lo es una Universidad. Sin embargo, también demuestra que el sistema es rentable técnicamente al demostrar que el sistema satisface la demanda energética. Al igual que todas las investigaciones, también sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Sánchez R. en su investigación tiene por objetivo estudiar la factibilidad de la implementación de un sistema fotovoltaico en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela mediante 4 fases de estudio, diseño, desarrollo y culminación respectivamente, la cuales concluyeron que el proyecto no es factible económicamente debido a que la luminaria es de fluorescentes, sin embargo si dicha iluminaria es reemplazada por LED el proyecto se vuelve factible, además de reducir costos, aprovechar espacios y ahorro de energía (14) La presente investigación aporta muy buena información a la investigación, como la necesidad de iluminaria LED en reemplazo de las viejas iluminarias fluorescentes para la factibilidad y rentabilidad del sistema fotovoltaico, sobre todo en áreas de alta demanda eléctrica como lo es una Universidad. La investigación también sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

Teón Vega en su tesis de maestría tiene por objetivo la reducción del consumo energético de las aulas ligeras en la Universidad Tecnológica de Tijuana, México implementando un sistema fotovoltaico debido al alto consumo eléctrico de dicha Universidad usando una metodología que consta de 5 fases las cuales son: diagnóstico energético, determinación de las características del SFV, adquisición e implementación, monitoreo de datos y análisis de resultados, los cuales demostraron una disminución del 19,63% implicando un ahorro anual de \$ 4 639,16 pesos mexicanos lo que vendría a ser S/. 671,48 y un retorno de inversión de 11 a 12 años (15) La presente investigación aporta información al trabajo como el funcionamiento y la rentabilidad de un sistema fotovoltaico en aulas ligeras de una Universidad para reducir el consumo energético y no reemplazar el sistema eléctrico por uno fotovoltaico como en otras investigaciones. Además, demuestra la posibilidad de uso de software para el análisis de datos y al igual que los demás trabajos, sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

Chicaiza Catupamba en su investigación pretende diseñar un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica al Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Curaray, en Ecuador y mediante cálculos matemáticos, estadísticos y mediante el uso del software PvSyst 6.39 concluyó que el proyecto es factible pues la demanda energética no es muy alta y las condiciones ambientales favorecen el trabajo (16) La presente investigación brinda información al trabajo como el funcionamiento y la

rentabilidad de un sistema fotovoltaico en infraestructuras del Estado de mediano tamaño con tecnología media de un país extranjero. Adicionalmente apoya la influencia del factor ambiental en el rendimiento del sistema fotovoltaico y sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

Ortiz Quintero en su investigación estudia la factibilidad de implementar un sistema fotovoltaico para cubrir la carencia del servicio eléctrico en viviendas de la vereda El Blanquecino, La Argentina, Colombia; mediante análisis estadísticos y matemáticos y uso de software concluyó que el sistema presenta buenos resultados con el uso de 7 paneles, 1 regulador y 1 inversor, además de ser factible económicamente y evitar 1072 Kg de CO₂ anuales (17) La presente investigación de Ortiz Quintero sirve como apoyo a la información de otros trabajos presentados al demostrar el funcionamiento y la rentabilidad de un sistema fotovoltaico en complejos habitacionales de mediano tamaño con tecnología media. Adicionalmente apoya el uso de software para el análisis de datos y demuestra cuantitativamente la reducción de CO₂ con la implementación de su investigación y sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

Lasluisa Morocho y Tobar Jami en su proyecto de titulación tienen por objetivo la implementación de un sistema fotovoltaico aislado en un hogar alejado que carece de suministro eléctrico debido a la gran distancia que tiene con el sistema de red eléctrico. Por lo tanto, con una metodología experimental pura logra implementar el sistema fotovoltaico con 2 paneles de 175 Wp y concluye que el proyecto es económicamente viable y logra una tasa de retorno de 14 años, el cual es un tiempo prudente para los sistemas fotovoltaicos (18) La presente investigación apoya firmemente la información de otros trabajos presentados al demostrar el funcionamiento y la rentabilidad de un sistema fotovoltaico en hogares de mediano tamaño con tecnología media. Adicionalmente el sistema fotovoltaico también cubría la demanda energética del cerco eléctrico del ganado del hogar, cuya demanda es relativamente alta a comparación de los artefactos de casa. Por otro lado, también sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

Alarcón Solórzano y Cevallos Reyes en su investigación de tesis tienen por objetivo implementar un sistema fotovoltaico aislado para alimentar un sistema de iluminación en un área común de la facultad de Ingeniería Ambiental de su centro de estudios. Por lo tanto, con una metodología analítica y experimental desarrollan su investigación y logran desarrollar el sistema de alumbrado con medidas cuantitativas suficientes para

su respectiva alimentación fotovoltaica, cumpliendo satisfactoriamente su objetivo principal (19) La presente investigación de Alarcón Solórzano y Cevallos Reyes concede información al trabajo como el funcionamiento de un sistema fotovoltaico aislado como fuente de alimentación para sistemas de alumbrado en centros de estudios con grandes áreas.

García Garnica, Sepúlveda Mora y Ferreira Jaimes, en su artículo científico tienen por objetivo determinar la viabilidad técnica y económica de la implementación de un sistema fotovoltaico para cubrir la demanda eléctrica del sistema de iluminación de una planta de tratamiento de agua en Colombia. Por lo tanto, mediante el uso del software PVsyst y el cálculo de la equivalencia de la iluminaria actual a LED, determinaron si resulta mejor un sistema aislado o uno conectado a red. Su investigación concluyó que el sistema aislado es inviable económicamente por la alta inversión inicial y el sistema conectado a red podría ser factible si se analiza factores externos como los incentivos tributarios u otras normativas adicionales (20) La presente investigación aporta a la investigación la posibilidad de considerar el equivalente a iluminaria LED antes de iniciar el dimensionamiento y los cálculos del sistema para disminuir la demanda energética del centro de investigación. Además, apoya el funcionamiento de un sistema fotovoltaico en plantas de gran tamaño como lo es una planta de tratamiento de aguas. Por otro lado, también sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

Bravo Pacheco en su tesis tiene por objetivo minimizar el abono por gasto eléctrico implementando un sistema fotovoltaico para alimentar el sistema de alumbrado de un taller automotriz en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. Por lo tanto, mediante un método de investigación mixto (cuantitativo y cualitativo) y el uso de cálculos, determinó la necesidad de 6 paneles de 270 Wp y concluyó que debido a que la tasa de retorno es de 20 años y el tiempo de vida del sistema es de aproximadamente 25 años, es inviable económicamente. Adicionalmente, demostró que la cantidad de CO₂ por año que se evita emitir al ambiente con la implementación de su investigación es de 2,06 T (21) La presente investigación aporta valiosa información al trabajo como el funcionamiento de un sistema fotovoltaico en talleres automotrices, además aporta la idea de que si el valor de la tasa de retorno es mayor o igual 20 años, no es económicamente factible debido a la corta diferencia de años con el promedio de vida del sistema. Adicionalmente, sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

Cardozo Sarmiento y Sánchez Mojica en su artículo académico tienen por objetivo diseñar y evaluar económicamente de un sistema fotovoltaico aislado para escuelas rurales al norte de Santander en Colombia. Por lo tanto, mediante una secuencia de procesos que incluyen la revisión de la literatura, desarrollo, dimensionamiento y evaluación, llegaron a la conclusión que un sistema de menor inversión es viable debido a las condiciones ambientales de la zona y brinda independencia energética a las escuelas (22) La presente investigación concede información al trabajo como el funcionamiento y la rentabilidad de un sistema fotovoltaico en escuelas rurales alejadas de mediano tamaño con tecnología media. Además, aporta la idea de evaluar los tipos de sistemas de acuerdo con el monto de inversión y sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

Reyes Vera en su tesis tiene por objetivo estudiar la factibilidad de implementar un sistema fotovoltaico para cubrir la demanda energética del sector El Tablazo en la ciudad de Santa Elena, Ecuador. Por lo tanto, con una secuencia metodológica de la siguiente manera: una revisión de la literatura, un estudio de mercado, un estudio técnico, un estudio económico y financiero y un análisis administrativo y económico; llega a la conclusión que el sistema es viable técnica y económicamente con una tasa de retorno de 5 años (23) La presente investigación aporta valiosa información al trabajo como el funcionamiento y rentabilidad de un sistema fotovoltaico en complejos habitacionales y hogares domésticos de mediano tamaño con tecnología media. Además, aporta la posibilidad del empleo de la metodología de secuencia implementada por el autor. Por otro lado, también sirve como guía y modelo para el cálculo del sistema fotovoltaico.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Marco legal

La presente investigación posee el siguiente marco legal:

- **DECRETO LEGISLATIVO N° 1002:** Decreto Legislativo de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.
- **DECRETO SUPREMO N° 012-2011-EM:** Reglamento de la Ley de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Radiación solar

La radiación solar es la energía que emite el sol al planeta Tierra en forma de ondas electromagnéticas la cual se puede aprovechar de 2 formas generalmente: captarla para generar energía térmica (calor) o captarla para generar energía eléctrica (sistema fotovoltaico). La unidad de medida para la radiación solar es el KWh/m^2 . (24)

2.3.2. Energía eléctrica

La energía eléctrica es el tipo de energía más común y útil en estos tiempos, puesto que es la utilizada actualmente para el funcionamiento de la mayoría de los artefactos en todo mundo. Ésta se resume básicamente en la interacción física entre polos, es decir, la atracción y repulsión de cargas positivas y negativas.(24)

2.3.3. Sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de componentes encargados de transformar la energía del sol en energía eléctrica para distintos usos como: Viviendas, bombeo de agua, aplicaciones espaciales, alumbrado privado y público, señalización, entre otros. Pueden ser de 2 tipos: sistema fotovoltaico aislado o autónomo y sistema fotovoltaico conectado a red eléctrica. Generalmente está compuesto por los paneles solares, reguladores e inversores.(24)

2.3.4. Sistema fotovoltaico conectado a red

Un sistema fotovoltaico conectado a red es un sistema que, a diferencia del sistema aislado o autónomo, no posee baterías, y su funcionamiento no es autónomo e independiente de la red eléctrica convencional, por lo tanto no puede ser usado en zonas alejadas o rurales. (24)

2.3.5. Paneles solares

Es un módulo conformado por células generalmente de silicio, las cuales están unidas eléctricamente y dispuestas en una estructura especial. Es el componente más importante en un sistema fotovoltaico, pues es el encargado de transformar la energía irradiada por el sol en energía eléctrica, sin embargo la transforma a corriente continua.(25)

2.3.6. Inversores

Es un componente indispensable en la instalación de un sistema fotovoltaico, ya que es el encargado de transformar la energía eléctrica generada en los paneles solares de corriente continua a corriente alterna para el uso común. (25)

2.3.7. Convertidor

Es un componente no tan usual en sistemas fotovoltaicos, sin embargo es necesario si se desea utilizar artefactos eléctricos que requieran voltajes menores, puesto que el convertidor reduce el voltaje a aproximadamente 12V. (24)

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método de investigación

La investigación presenta una metodología científica mixta, ya que posee variables cuantitativas y cualitativas.(26)

3.1.2. Alcance o nivel de investigación

La presente investigación posee el siguiente nivel de investigación. (26).

Descriptiva: Durante la etapa de equipación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller, Arequipa; se describirán cada una de las características del sistema fotovoltaico mediante cálculos.

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Diseño experimental

Diseño experimental: La presente investigación presenta un diseño experimental (26) debido a que en el estudio además de analizar todos los componentes del sistema fotovoltaico, manipulará variables de estudio para estudiar su comportamiento, como la radiación solar en el área de estudio y la reducción económica en la liquidación eléctrica.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población de la investigación como unidad de estudio comprende a todo el Centro Educativo Básico Especial “Helen Keller”, en el departamento de Arequipa. Así mismo

la población también es comprendida por los datos de radiación solar de Arequipa y las boletas de pago eléctrico de la Institución en 24 meses.



Figura 4. CEBE "Helen Keller"

Fuente: (27)

Tabla 2. Coordenadas geográficas

	<hr/>
	16° 26' 09" S
Coordenadas	<hr/>
	71° 31' 26" W
	<hr/>

Fuente: (28)

3.3.2. Muestra

La muestra para la radiación solar está comprendida por la radiación solar de Arequipa promedio de un año.

La muestra para la evaluación económica está comprendida por las 24 boletas de pago eléctrico de la institución.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnica

Observación: Como técnica se empleará la observación, la cual es requerida de manera indispensable para la recolección de datos en campo.

3.4.2. Instrumento

Ficha de registro de datos: Como instrumento se empleará una ficha de registro de datos, para la toma de datos de los equipos eléctricos de la institución, así como de sus características.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

A continuación, se presentan los datos recopilados de fuentes confiables y de manera empírica.

4.1.1. Radiación Solar

Los datos de radiación solar del área de estudio se han obtenido de 3 maneras y fuentes diferentes:

NASA

Tabla 3. Índice de radiación solar según la NASA

NASA	
Latitud: -16.4365	Longitud: -71.5243
Mes	Valor (kWh/m ² /día)
Enero	6.09
Febrero	5.80
Marzo	6.13
Abril	6.22
Mayo	6.22
Junio	6.05
Julio	6.07
Agosto	6.09
Septiembre	6.42
Octubre	6.86
Noviembre	7.10
Diciembre	7.01
Anual	6.34

Fuente: (29)

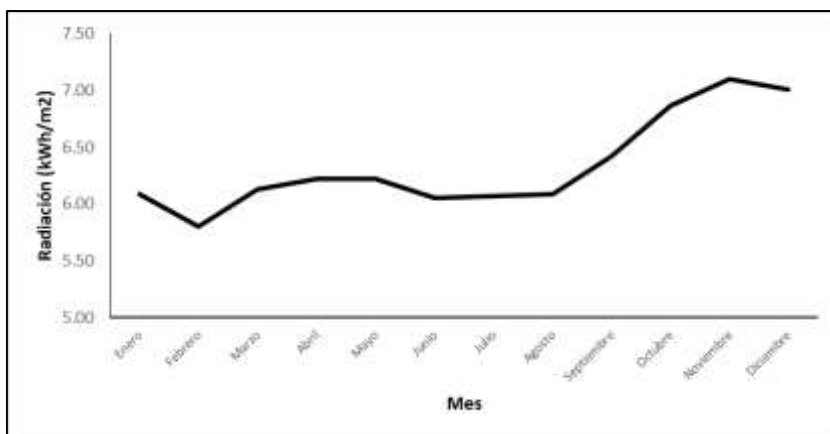


Figura 5. Índice de radiación solar según la NASA

Fuente: (29)

Como se logra observar en la Tabla N° 3 y en la Figura N° 5, los valores de la radiación solar según la base de datos de la NASA oscilan en un rango de valores entre 5.8 y 7.1 kWh/m²/día, con un incremento en temporada de primavera y verano y un descenso en temporada de invierno y otoño.

ATLAS SOLAR DEL PERÚ

Tabla 4. Índice de radiación solar según el Atlas Solar del Perú

Atlas Solar Perú		
Latitud: -16.4365		Longitud: -71.5243
Mes	Rango (kWh/m ² /día)	Valor promedio (kWh/m ² /día)
Enero	7 - 7.5	7.25
Febrero	7 - 7.5	7.25
Marzo	6.5 - 7	6.75
Abril	5.5 - 6	5.75
Mayo	5 - 5.5	5.25
Junio	4.5 - 5	4.75
Julio	4.5 - 5	4.75
Agosto	5 - 5.5	5.25
Septiembre	6 - 6.5	6.25
Octubre	6.5 - 7	6.75
Noviembre	7.5 - 8	7.75
Diciembre	7 - 7.5	7.25
Anual	6.5 - 7	6.75

Fuente: (30)

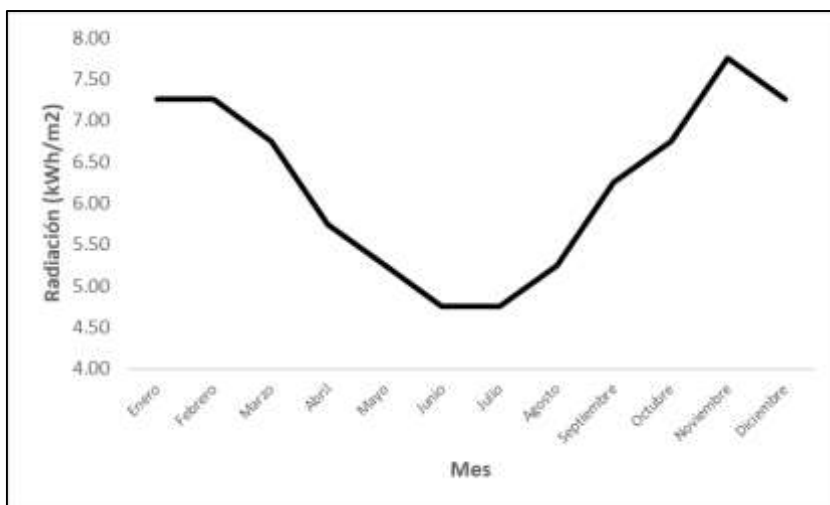


Figura 6. Índice de radiación solar según el Atlas Solar del Perú

Fuente: (30)

Como se logra observar en la Tabla N° 4 y en la Figura N° 6, los valores de la radiación solar según la base de datos del Atlas Solar del Perú que dispone el SENAMHI en su portal GeoIDEP, oscilan en un rango de valores entre 4.75 y 7.75 kWh/m2/día debido a que se tomaron promedios en los rangos brindados por SENAMHI, con un incremento en temporada de primavera y verano y un descenso en temporada de invierno y otoño, al igual que los valores de la NASA.

MEDICIÓN EMPÍRICA

Tabla 5. Índice de radiación solar tomado In-Situ

Medición In-Situ	
Latitud: -16.4365	Longitud: -71.5243
Mes	Valor (kWh/m2/día)
Enero	6.55
Febrero	6.86
Marzo	6.65
Abril	6.12
Mayo	5.87
Junio	5.58
Julio	5.85
Agosto	5.90
Septiembre	6.32

Octubre	6.80
Noviembre	7.38
Diciembre	7.20
Anual	6.42

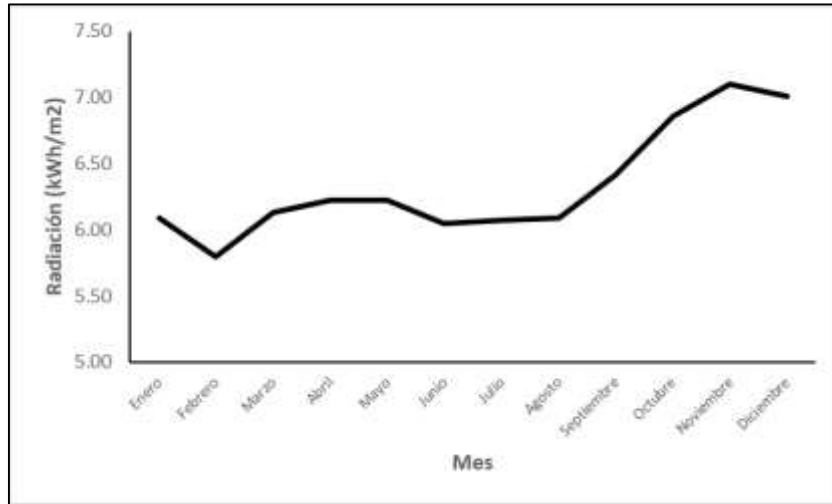


Figura 7. Índice de radiación solar tomado In-Situ

Como se logra observar en la Tabla N° 5 y en la Figura N° 7, los valores de la radiación solar según las mediciones empíricas tomadas con un pirómetro oscilan en un rango de valores entre 5.58 y 7.38 kWh/m2/día, con un incremento en temporada de primavera y verano y un descenso en temporada de invierno y otoño al igual que as dos fuentes anteriores.

COMPARACIÓN

Tabla 6. Comparación de Índices de radiación solar de tres distintas fuentes

Comparación			
Latitud: -16.4365		Longitud: -71.5243	
Mes	NASA (kWh/m2/día)	Atlas Solar (kWh/m2/día)	Medición (kWh/m2/día)
Enero	6.09	7.25	6.55
Febrero	5.80	7.25	6.86
Marzo	6.13	6.75	6.65
Abril	6.22	5.75	6.12
Mayo	6.22	5.25	5.87
Junio	6.05	4.75	5.58
Julio	6.07	4.75	5.85
Agosto	6.09	5.25	5.90

Septiembre	6.42	6.25	6.32
Octubre	6.86	6.75	6.80
Noviembre	7.10	7.75	7.38
Diciembre	7.01	7.25	7.20
Anual	6.34	6.75	6.42

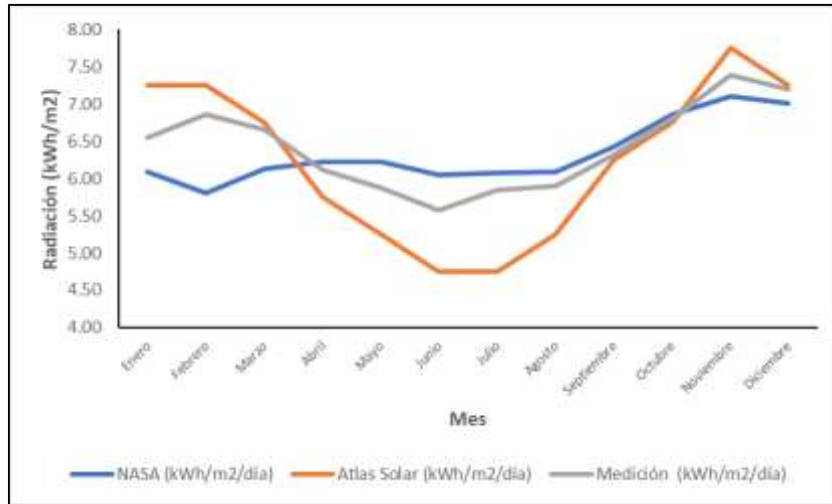


Figura 8. Comparación de Índices de radiación solar de tres distintas fuentes

Como se logra observar en la Tabla N° 6 y en la Figura N° 8, los valores de la radiación solar en las tres fuentes tomadas oscilan en un rango de valores entre 4.75 y 7.75 kWh/m2/día, con diferencias pequeñas, pero siguiendo un mismo patrón: un incremento en temporada de primavera y verano y un descenso en temporada de invierno y otoño.

Para el futuro dimensionamiento del sistema fotovoltaico tomaremos el valor más bajo de radiación, el cual es de 4.75 kWh/m2/día ubicado en los meses de junio y julio para un sistema confiable y eficiente en todo el año.

4.1.2. Potencia Instalada

La potencia instalada fue calculada mediante la ficha de registro de los artefactos e instrumentos eléctricos presentes en la Institución, los cuales se presentan de la siguiente manera:

ÁREA SAANEE

Tabla 7. Inventario y potencia del área SAANEE

N°	Bien	Marca	Modelo	Cantidad	Potencia (kw)	Potencia instalada (kw)	Frecuencia de uso (h)	Potencia instalada (kw/h)
1	Computadora de escritorio completa	Cibertel	52xmax	1	0.45	0.45	2	0.9
2	Impresora a inyección de tinta	Hp	D1560	1	0.015	0.015	0.5	0.0075
3	Minicomponente	Philips	Mcm166 /55	1	0.015	0.015	3	0.045
4	Laptop	No tiene	No tiene	3	0.2	0.6	2	1.2
5	Celular	No tiene	No tiene	4	0.005	0.02	0.5	0.01
Total								2.1625

Como se logra observar en la tabla 7, la potencia instalada total es de 2.1625 kW/h/día de acuerdo a los artefactos eléctricos que se tienen en el área de SAANEE.

ÁREA AULAS

Tabla 8. Inventario y potencia de las aulas

N°	Bien	Marca	Modelo	Cantidad	Potencia (kw)	Potencia instalada (kw)	Frecuencia de uso (h)	Potencia instalada (kw/h)
1	Minicomponente	Philips	Mcm166/55	5	0.015	0.075	3	0.225
2	Televisor a colores	Lg	21fc2rl-ld	5	0.15	0.75	2	1.5
3	Reproductor de video	Philips	ldvd-202	5	0.01	0.05	1	0.05
4	Fluorescentes		No tiene	40	0.018	0.72	4	2.88
5	Celular	No tiene	No tiene	5	0.005	0.025	0.5	0.0125
Total						1.62		4.6675

Como se logra observar en la tabla 8, la potencia instalada total es de 4.6675 kW/h/día de acuerdo a los artefactos eléctricos que se tienen en cada una de las 5 aulas de la institución.

ÁREA DIRECCIÓN

Tabla 9. Inventario y potencia del área de dirección

N°	Bien	Marca	Modelo	Cantidad	Potencia (kw)	Potencia instalada (kw)	Frecuencia de uso (h)	Potencia instalada (kw/h)
1	Computadora de escritorio completa	Power	No tiene	1	0.5	0.5	7	3.5
2	Camara fotografica digital	Canon	Eos1100	1	0.045	0.045	0.1	0.0045
3	Equipo multifuncional	Xerox	Da1110	1	0.5	0.5	1.5	0.75
7	Sistema de proyeccion multimedia	Epson	H384a	1	0.5	0.5	0.2	0.1
8	Impresora (otras)	Canon	Mg3510	1	0.25	0.25	2	0.5
9	Equipo de sonido	Sony	Mhc-esx9	1	0.2	0.2	3	0.6
10	Plancha electrica	Inox	Ypf-2001	1	2	2	0.01	0.02
11	Parlante	Megabass	No tiene	1	0.6	0.6	0.3	0.18
12	Amplificador de audio	Vozzex	No tiene	1	0.07	0.07	0.3	0.021
13	Consola para control de audio	Dexun	No tiene	1	1	1	0.3	0.3
14	Televisor led	Samsung	40036xe	1	0.05	0.05	0.2	0.01
15	Fluorescente		No tiene	1	0.018	0.018	8	0.144
17	Celular	No tiene	No tiene	1	0.005	0.005	0.2	0.001
Total								6.1305

Como se logra observar en la tabla 9, la potencia instalada total es de 6.1305 kW/h/día de acuerdo a los artefactos eléctricos que se tienen en el área de dirección de la institución.

PASADIZOS

Tabla 10. Potencia instalada en los pasadizos

N°	Bien	Marca	Modelo	Cantidad	Potencia (kw)	Potencia instalada (kw)	Frecuencia de uso (h)	Potencia instalada (kw/h)
1	Fluorescente	No tiene	No tiene	5	0.018	0.09	8	0.72
Total								0.72

Como se logra observar en la tabla 10, la potencia instalada total es de 0.72 kW/h/día de acuerdo a los 5 fluorescentes que poseen los pasadizos de la institución.

RESUMEN

Tabla 11. Potencia instalada total de la Institución

Área	Potencia Instalada (kWh/día)	%	Potencia a utilizar
SAANEE	2.1625	15.80717	70%
Aulas	4.6675	34.11791	
Dirección	6.1305	44.81196	
Pasadizos	0.72	5.262966	
TOTAL	13.6805	100	9.5763

Como se logra observar en la tabla 11, la potencia instalada total de toda la institución es de 13.6805 kWh/h/día de acuerdo con los artefactos eléctricos que se tienen en toda la institución, incluyendo el alumbrado, sin embargo, se utilizará el dato del 70%, el cual es 9.5763 kWh/día para los cálculos de dimensionamiento.

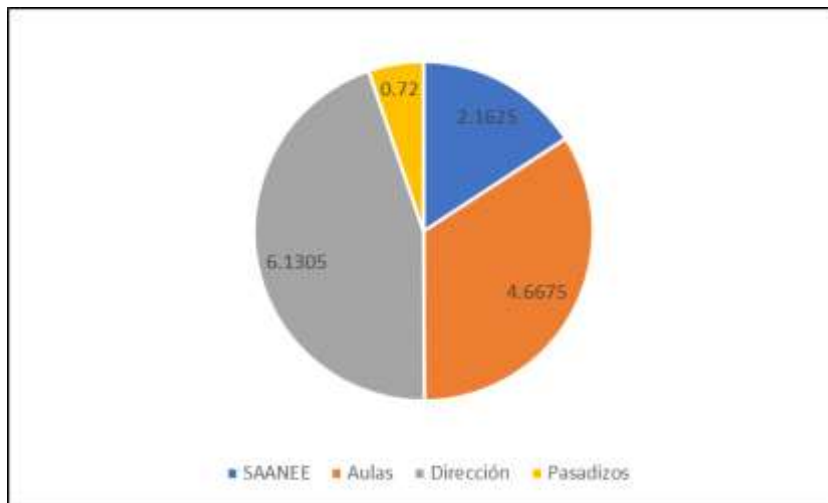


Figura 9. Potencia instalada por áreas

Como se logra observar en la figura 9, el área que consume mayor energía eléctrica es la dirección con casi el 45%, debido a que posee la mayor cantidad de instrumentos eléctricos, seguido de las 5 aulas en conjunto con un 34%, posteriormente el área de SAANEE con un 16% y por último los pasadizos de la institución con un 5%.

4.1.3. Hora solar pico

La hora solar se halla dividiendo la irradiación solar hallada anteriormente sobre la irradiancia estándar (1000W/m^2). (22)

$$HSP = \frac{I}{G}$$

Donde:

I = Irradiancia del lugar (W/m²)

G = Irradiancia estándar (1000W/m²)

$$HSP = \frac{4750}{1000}$$

$$HSP = 4.75$$

Este dato indica el número de horas que la radiación solar se encuentra perpendicular al módulo solar, dato que será útil a la hora de calcular el número de paneles solares.

4.1.4. Cálculo de paneles solares

El cálculo del número de módulos solares se halla de la siguiente manera (8) :

$$N_p = \frac{E}{W_p \times HSP}$$

Donde:

N_p = Número de paneles solares

E = Demanda energética (W/m²)

W_p = Potencia del panel escogido (340 W/m²)

HSP = Hora solar pico

$$N_p = \frac{9\ 576.3\ Wh}{340\ W_p \times 4.75\ horas}$$

$$N_p = 5.9295\ paneles$$

$$N_p \approx 6\ paneles$$

Se determinó 5.9295 paneles solares de 340 W/m² de potencia, sin embargo, este dato se redondea a 6 paneles obligatoriamente.

4.1.5. Inclinación de paneles solares

La inclinación de los paneles solares empleados en nuestro sistema fotovoltaico será hallado mediante la siguiente fórmula, la cual está basada en la Norma Técnica EM-080 (9) (10) :

$$\beta = L + 10^\circ$$

Donde:

β = Inclinación del panel solar

L = Latitud de la zona (-16.39889)

$$\beta = 16.39889 + 10^\circ$$

$$\beta = 26.39889^\circ$$

$$\beta \approx 26^\circ$$

Debido a que la latitud de Arequipa es de -16.39889, la inclinación de los módulos será de 26° según la Norma Técnica EM-080.

4.1.6. Cálculo del inversor

El cálculo del inversor a implementar en el sistema fotovoltaico es determinado pensando que todos los artefactos eléctricos estarán conectados al mismo tiempo con un porcentaje de seguridad, por lo tanto (4) (11) (18) (21):

$$P_{INV} = \%Seg \times Wh$$

Donde:

P_{INV} = Potencia del Inversor (W)

$\%Seg = 1.25\%$

$Wh = 9\ 576.3\ Wh$

$$P_{INV} = 1.25\% \times 9\ 576.3\ Wh$$

$$P_{INV} = 11\ 970.375\ W$$

$$P_{INV} \approx 12\ kW$$

La potencia requerida del inversor es de 12kW, sin embargo, nunca se llega a ese límite y la mayor parte de casos los inversores suelen estar por la mitad de la demanda máxima, por lo tanto, se contará con 1 inversores de 12 V, el cual trabajará a 2kW.

4.1.7. Presupuesto

El presupuesto es la inversión inicial del sistema fotovoltaico, el cual se elaboró con costos tentativos del mercado los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 12. Presupuesto del sistema fotovoltaico

N°	Descripción	Cantidad	Costo Unitario S/.	Costo parcial S/.
1	Panel Solar 340W 24V Policristalino ERA	6	635.38	3812.28
2	Inversor de interconexión Huawei SUN2000L-2KTL	1	3174.93	3174.93
3	Medidor bidireccional	1	965.95	965.95
4	Otros (estructuras y cableado)		2000	2000
TOTAL				9953.16

Fuente: (31)

Se puede observar que la inversión inicial del sistema fotovoltaico es de S/. 9 953.16.

4.1.8. Consumo y abono actual de la institución

El abono eléctrico actual de la institución se obtiene de las boletas de pago que brinda SEAL, datos que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 13. Consumo y abono actual de la Institución

Mes	Año	Consumo (kWh/día)	Consumo mensual (kW)	Abono mensual (S/.)
Enero	2018	13.13	393.84	225.95
Febrero	2018	13.31	399.27	229.06
Marzo	2018	13.51	405.3	232.52
Abril	2018	13.27	398.13	228.41
Mayo	2018	13.20	395.91	227.13
Junio	2018	13.35	400.62	229.84
Julio	2018	12.92	387.48	222.30
Agosto	2018	13.61	408.42	234.31
Setiembre	2018	13.12	393.69	225.86
Octubre	2018	13.31	399.15	228.99
Noviembre	2018	13.78	413.52	237.24
Diciembre	2018	13.59	407.7	233.90
Enero	2019	13.56	406.86	233.42
Febrero	2019	13.34	400.32	229.66
Marzo	2019	12.92	387.63	222.38
Abril	2019	13.49	404.67	232.16
Mayo	2019	13.37	400.98	230.04

Junio	2019	12.91	387.3	222.19
Julio	2019	13.16	394.68	226.43
Agosto	2019	13.41	402.42	230.87
Setiembre	2019	13.12	393.45	225.72
Octubre	2019	12.92	387.63	222.38
Noviembre	2019	13.31	399.33	229.10
Diciembre	2019	13.47	403.95	231.75
TOTAL		319.08	9572.25	5491.60

Estos datos se pueden corroborar mediante el siguiente cálculo simple:

$$Facturación = P \times Mes \times Costo \text{ del kWh en Perú}$$

Donde:

P = Potencia (kWh/día)

Mes = 30 días

Costo del kWh en Perú = S/. 0.5737

$$Facturación = 13.6805 \times 30 \times 0.5737$$

$$Facturación = S/.235.455 \text{ al mes}$$

Por lo tanto, la facturación promedio al mes sería de S/. 235.455, valor que está dentro del rango de datos brindados en la tabla anterior.

4.1.9. Consumo y abono con el sistema fotovoltaico

El consumo con el sistema fotovoltaico se ha elaborado con reglas de tres simple y los resultados están en el siguiente cuadro.

Tabla 14. Consumo y abono con el sistema fotovoltaico

Mes	Año	Consumo con SF (kWh/día)	Consumo mensual con SF (kW)	Abono mensual con SF (S/.)
Enero	2018	9.12	273.45	156.88
Febrero	2018	9.51	285.15	163.59
Marzo	2018	9.63	288.9	165.74
Abril	2018	9.69	290.76	166.81
Mayo	2018	9.70	290.91	166.90
Junio	2018	9.35	280.35	160.84
Julio	2018	9.72	291.54	167.26
Agosto	2018	9.10	272.91	156.57
Setiembre	2018	9.29	278.82	159.96

Octubre	2018	9.47	284.22	163.06
Noviembre	2018	9.18	275.46	158.03
Diciembre	2018	9.67	290.1	166.43
Enero	2019	9.72	291.54	167.26
Febrero	2019	9.60	288.03	165.24
Marzo	2019	9.33	279.75	160.49
Abril	2019	9.58	287.46	164.92
Mayo	2019	9.68	290.52	166.67
Junio	2019	9.21	276.24	158.48
Julio	2019	9.13	273.81	157.08
Agosto	2019	9.66	289.92	166.33
Setiembre	2019	9.64	289.23	165.93
Octubre	2019	9.59	287.82	165.12
Noviembre	2019	9.75	292.59	167.86
Diciembre	2019	9.24	277.17	159.01
TOTAL		227.56	6826.65	3916.45

Estos datos se pueden corroborar mediante el siguiente cálculo simple:

$$Facturación = P \times Mes \times Costo \text{ del kWh en Perú}$$

Donde:

P = Potencia (kWh/día)

Mes = 30 días

Costo del kWh en Perú = S/. 0.5737

$$Facturación = 9.5763 \times 30 \times 0.5737$$

$$Facturación = S/.164.817 \text{ al mes}$$

Por lo tanto, la facturación promedio al mes sería de S/. 164.817, valor que está dentro del rango de datos brindados en la tabla anterior.

4.1.10. Consumo y abono actual vs con sistema fotovoltaico

Para la prueba de hipótesis se requiere la siguiente tabla con datos del consumo y abono eléctrico actual y el consumo y abono con el sistema fotovoltaico.

Tabla 15. Consumo y abono actual vs consumo y abono con el SF

Mes	Año	Consumo mensual (kW)	Abono mensual (S/.)	Consumo mensual con SF (kW)	Abono mensual con SF (S/.)	Diferencia del abono mensual (S/.)
Enero	2018	393.84	225.95	273.45	156.88	69.07
Febrero	2018	399.27	229.06	285.15	163.59	65.47
Marzo	2018	405.3	232.52	288.9	165.74	66.78
Abril	2018	398.13	228.41	290.76	166.81	61.60
Mayo	2018	395.91	227.13	290.91	166.90	60.24
Junio	2018	400.62	229.84	280.35	160.84	69.00
Julio	2018	387.48	222.30	291.54	167.26	55.04
Agosto	2018	408.42	234.31	272.91	156.57	77.74
Setiembre	2018	393.69	225.86	278.82	159.96	65.90
Octubre	2018	399.15	228.99	284.22	163.06	65.94
Noviembre	2018	413.52	237.24	275.46	158.03	79.21
Diciembre	2018	407.7	233.90	290.1	166.43	67.47
Enero	2019	406.86	233.42	291.54	167.26	66.16
Febrero	2019	400.32	229.66	288.03	165.24	64.42
Marzo	2019	387.63	222.38	279.75	160.49	61.89
Abril	2019	404.67	232.16	287.46	164.92	67.24
Mayo	2019	400.98	230.04	290.52	166.67	63.37
Junio	2019	387.3	222.19	276.24	158.48	63.72
Julio	2019	394.68	226.43	273.81	157.08	69.34
Agosto	2019	402.42	230.87	289.92	166.33	64.54
Setiembre	2019	393.45	225.72	289.23	165.93	59.79
Octubre	2019	387.63	222.38	287.82	165.12	57.26
Noviembre	2019	399.33	229.10	292.59	167.86	61.24
Diciembre	2019	403.95	231.75	277.17	159.01	72.73
TOTAL		9572.25	5491.60	6826.65	3916.45	1575.15

Como se logra observar en la tabla 15, el abono eléctrico actual en el periodo de 2 años es de S/. 5 491.6 mientras que con el sistema fotovoltaico es de S/. 1 575.15.

4.2. Prueba de hipótesis

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos en base a los cálculos y pruebas de hipótesis para cada hipótesis planteada en la investigación.

4.2.1. Hipótesis específica #1

A. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

H₁: Los datos de la radiación solar obtenidos de la NASA, del Atlas Solar del Perú y de manera empírica **NO** son significativamente iguales, para la equipación y evaluación

económica de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa.

H₀: Los datos de la radiación solar obtenidos de la NASA, del Atlas Solar del Perú y de manera empírica son significativamente iguales, para la equipación y evaluación económica de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa.

B. HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

H₁: Los datos presentan diferencias significativas.

H₀: No existen diferencias significativas en los datos.

C. SIGNIFICANCIA

El nivel de significancia de la prueba estadística es de 99%

$\alpha = 0.01$

D. PRUEBA DE NORMALIDAD

Antes de proceder con la prueba estadística se requiere verificar si los datos son normales.

Tabla 16. Prueba de normalidad - Radiación Solar

	Fuente de data de radiación solar	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Valor de Radiación Solar	Atlas Solar Perú	,180	12	,200*	,908	12	,198
	NASA	,277	12	,011	,845	12	,032
	Medición empírica	,152	12	,200*	,956	12	,722

a. Corrección de la significación de Lilliefors

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

Como se logra observar en la tabla 16, el valor “Sig” es mayor a la significancia (0.01), por lo tanto, cada uno de los grupos posee una distribución normal.

Debido a esto, la prueba estadística a usar es ANOVA, caso contrario se hubiera aplicado Kruskal Walis.

E. ESTADÍSTICO DE PRUEBA

Gracias a los valores obtenidos en la prueba de normalidad, el estadístico de prueba es el ANOVA, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 17. Prueba ANOVA - Radiación solar

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	,180	2	,090	,164	,849
Intra-grupos	18,091	33	,548		
Total	18,271	35			

Como se logra observar en la tabla 17, el valor “Sig” es mayor a la significancia (0.01), por lo tanto, se procede a realizar la decisión estadística.

F. DECISIÓN ESTADÍSTICA

Al ser el valor “Sig” mayor a la significancia (0.01), por lo tanto:

ACEPTA: Hipótesis nula (H_0)

RECHAZA: Hipótesis alterna (H_1)

G. CONCLUSIÓN

Existen evidencias que demuestran que los datos de la radiación solar obtenidos de la NASA, del Atlas Solar del Perú y de manera empírica son **significativamente iguales**, para la equipación y evaluación económica de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa. Con un nivel de confianza de 0.01%.

4.2.2. Hipótesis específica #2

A. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

H₁: El consumo energético de la institución educativa “Helen Keller” es bajo y presenta una demanda eléctrica máxima no mayor a 20 KWh.

H₀: El consumo energético de la institución educativa “Helen Keller” es bajo y presenta una demanda eléctrica máxima mayor o igual a 20 KWh.

B. HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

$H_1: \mu < 20 \text{ kWh}$

$H_0: \mu \geq 20 \text{ kWh}$

C. CONCLUSIÓN

De acuerdo con la tabla 11 se puede concluir que la Institución Educativa “Helen Keller” presenta una demanda eléctrica máxima de 13.6805 kWh, valor el cual es menor a 20. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna de la investigación.

4.2.3. Hipótesis específica #3

A. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La propuesta de equipación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa; presenta 05 paneles fotovoltaicos con una inclinación de 15°.

B. CONCLUSIÓN

De acuerdo con los puntos 4.1.4 y 4.1.5, se calculó que el sistema fotovoltaico presenta 06 paneles fotovoltaicos con una inclinación de 26°. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis presentada.

4.2.4. Hipótesis específica #4

A. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

H_1 : La equipación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red reduce significativamente el costo de liquidación por energía eléctrica al CEBE “Helen Keller”, Arequipa.

H_0 : La equipación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red **NO** reduce significativamente el costo de liquidación por energía eléctrica al CEBE “Helen Keller”, Arequipa.

B. HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

$H_1: \mu_{\text{ANTES}} > \mu_{\text{DESPUÉS}} \rightarrow \mu_{\text{ANTES}} - \mu_{\text{DESPUÉS}} > 0$

$H_0: \mu_{\text{ANTES}} \leq \mu_{\text{DESPUÉS}} \rightarrow \mu_{\text{ANTES}} - \mu_{\text{DESPUÉS}} \leq 0$

C. SIGNIFICANCIA

D. El nivel de significancia de la prueba estadística es de 95%

E. $\alpha = 0.05$

F. DATOS

Los datos a emplear en la prueba de hipótesis son los sombreados en la tabla 15, los cuales son presentados en la siguiente tabla.

Tabla 18. Datos para la prueba T-student

Mes	Año	Abono mensual (S/.)	Diferencia del abono mensual (S/.)
Enero	2018	225.95	69.07
Febrero	2018	229.06	65.47
Marzo	2018	232.52	66.78
Abril	2018	228.41	61.60
Mayo	2018	227.13	60.24
Junio	2018	229.84	69.00
Julio	2018	222.30	55.04
Agosto	2018	234.31	77.74
Setiembre	2018	225.86	65.90
Octubre	2018	228.99	65.94
Noviembre	2018	237.24	79.21
Diciembre	2018	233.90	67.47
Enero	2019	233.42	66.16
Febrero	2019	229.66	64.42
Marzo	2019	222.38	61.89
Abril	2019	232.16	67.24
Mayo	2019	230.04	63.37
Junio	2019	222.19	63.72
Julio	2019	226.43	69.34
Agosto	2019	230.87	64.54
Setiembre	2019	225.72	59.79
Octubre	2019	222.38	57.26
Noviembre	2019	229.10	61.24
Diciembre	2019	231.75	72.73
TOTAL		5491.60	1575.15



Figura 10. Comportamiento del costo eléctrico

La figura 10 muestra el comportamiento que tiene en los 2 años de prueba el abono eléctrico actual vs el abono con el sistema fotovoltaico.

G. PRUEBA DE NORMALIDAD

Antes de iniciar la prueba estadística, se requiere conocer si los datos poseen una distribución normal, para lo cual se realiza la siguiente tabla.

Tabla 19. Prueba de normalidad - Abono eléctrico

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Abono actual de la Institución	,107	24	,200*	,962	24	,482
Abono con el sistema fotovoltaico	,131	24	,200*	,956	24	,369

a. Corrección de la significación de Lilliefors

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

Como se logra observar en la tabla 19, el valor "Sig" es mayor a la significancia (0.05), por lo tanto, ambos grupos poseen una distribución normal.

H. ESTADÍSTICO DE PRUEBA

El estadístico de prueba utilizado es la prueba T-student para pruebas emparejadas, cuyos resultados se encuentran en las siguientes tablas.

Tabla 20. Prueba T-student - Abono eléctrico I

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
				Diferencias relacionadas				
Abono actual de la Institución - Abono con el sistema fotovoltaico	163,18500	3,89882	,79584	161,53867	164,83133	205,047	23	,000

Con la tabla 20 se puede observar el que t(valor) es de 205.047.

Tabla 21. Prueba T-student - Abono eléctrico II

0.0000000	hypothesized value
228.8166594	mean Abono mensual (S/.)
65.6312800	mean Diferencia del abono mensual (S/.)
163.1853794	mean difference (Abono mensual (S/.) - Diferencia del abono mensual (S/.))
3.8995801	std. dev.
0.7959985	std. error
24	n
23	df
205.01	t
2.52E-39	p-value (one-tailed, upper)

Con la table 21 se puede observar que el p(valor) es de 2.52×10^{-39} , valor que es considerado demasiado bajo.

I. DECISIÓN ESTADÍSTICA

Como p(valor) es mucho menor a la significancia (0.05), se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

J. CONCLUSIÓN

La prueba muestra evidencia para afirmar que la equipación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red **reduce significativamente** el costo de liquidación por energía eléctrica al CEBE “Helen Keller”, Arequipa. Con un nivel de confianza del 95%.

4.3. **Discusión de resultados**

En la propuesta de equipación y evaluación económica de un sistema fotovoltaico conectado a red para el CEBE "Helen Keller", Arequipa; se ha probado de manera satisfactoria las hipótesis planteadas mediante pruebas estadísticas y cálculos matemáticos. Dicha propuesta genera al menos el 70% de energía eléctrica demandada por la institución, ya que se calculo teniendo en cuenta este porcentaje mínimo requerido. Por otro lado, a través de una prueba ANOVA en la tabla 17, se pudo comparar y afirmar que los datos de radiación solar brindados por el Atlas Solar del Perú, la NASA y la medición empírica son significativamente iguales. Además, a través de las tablas 7, 8, 9, 10 y 11 se pudo determinar la demanda eléctrica de la Institución educativa, la cual concuerda con la hipótesis planteada siendo de 13.6805 kWh, valor especificado como menor a 20 kWh. Por otra parte, a través de los cálculos especificados en los puntos 4.1.4 y 4.1.5 se pudo determinar que el sistema fotovoltaico requiere de 06 paneles solares con una inclinación de 26°, datos que no concuerdan con los planteados en la hipótesis (05 paneles con una inclinación de 15°). Y, por último, se pudo comprobar que dicha propuesta, como fue planteada en la hipótesis, reduce significativamente el costo de liquidación por energía eléctrica a la Institución mediante una prueba T-student especificadas en las tablas 20 y 21.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a red suelen ser económicamente rentables debido a que la inversión inicial es considerablemente inferior a los sistemas fotovoltaicos autónomos, esto es debido a que estos últimos requieren de más equipos para su independencia y autonomía como las baterías, reguladores y controladores de carga. Además, que no necesita cubrir toda la demanda eléctrica ya que dispone de la red convencional para el suministro faltante de energía.

Cabe recalcar que los paneles solares actualmente poseen eficiencias de generación eléctrica muy bajas con rangos entre 16-30% dependiendo del material de las celdas solares. Si con las tasas de eficiencia bajas presentes actualmente muchos sistemas fotovoltaicos son rentables, cuando se logren eficiencias muy altas los sistemas fotovoltaicos serán aún más rentables y tentativos para domicilios, establecimientos, entre otros.

La energía solar es considerada por algunos autores como energía renovable, mientras que por otros no, basándose en que el sol es un cuerpo celeste con un tiempo de vida finito y limitado y que por lo tanto no es renovable; sin embargo, dado que los años de

vida del sol son cifras demasiado altas se consideran infinitas ya que no influye en la vida de la humanidad. Por lo tanto, sumado a las zonas como Latinoamérica en las cuales la irradiancia solar es alta o extremadamente alta, el aprovechamiento de este recurso debería ser alto.

A diferencia de los trabajos de Sanches R. y Bravo Pachecho, y al igual que el resto de trabajos mencionados en los antecedentes, el presente sistema fotovoltaico es factible y conveniente para la institución al demostrar la reducción del pago eléctrico que posee la institución.

Este tipo de investigaciones son complicadas de comparar con otros debido a que cada sistema es dependiente de la demanda eléctrica del lugar a aplicar, del tipo de sistema que sea, de los componentes que posea y los diversos modelos y marcas de cada uno de éstos.

CONCLUSIONES

- Se logró describir la propuesta de equipación y evaluación económica de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa.
- Se logró precisar los datos de la radiación solar obtenidos de la NASA, del Atlas Solar del Perú y de manera empírica y, además, se pudo comprobar que estos son significativamente iguales, para la equipación y evaluación económica de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa.
- Se logró determinar el consumo energético de la institución, así como la demanda máxima cuyo valor es de 13.6805 kWh/día, para la equipación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa.
- Se logró determinar el número de paneles (el sistema requiere de 6 paneles solares) y la inclinación necesaria (los paneles requieren de una inclinación de 26°) para la equipación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el CEBE “Helen Keller”, Arequipa.
- Se logró determinar que la equipación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red reduce significativamente el costo de liquidación por energía eléctrica al CEBE “Helen Keller”, Arequipa.

RECOMENDACIONES

- Para la correcta implementación del sistema fotovoltaico en la Institución Educativa u otros centros de investigación, se recomienda considerar en los cálculos otros equipos necesarios e indispensables los cuales no fueron tocados en esta investigación, tales como el sistema de cableado, las estructuras para los módulos solares, los medidores bidireccionales, y los sistemas de seguro de corriente.
- Para la correcta implementación del sistema fotovoltaico en la Institución Educativa u otros centros de investigación, se recomienda considerar factores externos en los cálculos tales como sombras, clima y pendientes, los cuales no fueron tocados en la presente investigación.
- Para un análisis más profundo, se recomienda añadir el cálculo de CO₂ equivalente a energía eléctrica, cuya emisión fue evitada al implementar el sistema fotovoltaico.
- Se recomienda añadir una matriz de impactos ambientales post implementación, para el análisis de los impactos ambientales de la equipación de un sistema fotovoltaico, además de proponer estrategias de mitigación para los posibles impactos encontrados.

REFERENCIAS

1. MINISTERIO DEL AMBIENTE, MINAM. *Guía de ecoeficiencia para empresas* [online]. 2009. [Accessed 24 September 2020]. Available from: http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/guia_de_ecoeficiencia_para_empresas.pdf
2. GALLARDO LANCHO, J. and MERINO, A. El ciclo del carbono y la dinámica de los sistemas forestales. In : *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático* [online]. 1era. Barcelona, España : Gas Natural Fundación, 2007. p. 43–64. [Accessed 24 September 2020]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/285732513_El_ciclo_del_carbono_y_la_dinamica_de_los_sistemas_forestales
3. SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ, SENAMHI. Pronóstico de radiación UV máximo (cielo despejado y mediodía solar) en Arequipa. *Tiempo / Radiación UV* [online]. 15 October 2020. [Accessed 15 October 2020]. Available from: <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=arequipa&p=radiacion-uv>
4. ESCOBEDO LEÓN, Romel Ashanty. *Implementación de un sistema fotovoltaico para un laboratorio de cómputo en el colegio nacional “Coloso y Emblemático Jaén de Bracamoros” - Jaén - Cajamarca* [online]. Lambayeque, Perú : Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2018. [Accessed 11 October 2020]. Available from: <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/2980>Accepted: 2018-12-05T20:25:15Zpublisher: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo
5. AVALOS VALLEJOS, Héctor Raul. *Diseño de un sistema fotovoltaico para abastecer la demanda de energía eléctrica del servicio habitacional Gran Hotel, San Ignacio 2016* [online]. Jaén, Perú : Universidad César Vallejo, 2016. [Accessed 10 October 2020]. Available from: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/9395>Accepted: 2018-01-10T23:01:25Zpublisher: Universidad César Vallejo
6. JUAN DE DIOS ORTIZ, Percy Javier. *Propuesta de diseño del sistema solar fotovoltaico para el sistema eléctrico en el anexo de Tinco, distrito de Alis, provincia de Yauyos y departamento de Lima, 2017* [online]. Huancayo, Perú : Universidad Continental, 2018. [Accessed 11 October 2020]. Available from:

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4927>Accepted: 2018-10-12T23:18:20Zpublisher: Universidad Continental

7. LEÓN LLANOS, Jorge Augusto. *Generación distribuida mediante el diseño de un sistema fotovoltaico conectado a red de distribución en el Instituto ISA-Chiclayo* [online]. Lambayeque, Perú : Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2020. Available from: <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/80722020-10-11> 06:58:10Accepted: 2020-01-09T18:25:18Zpublisher: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

8. LULO NIÑO, Jesus Manuel. *Implementación del sistema de energía solar fotovoltaico y facturación por consumo de energía en la Municipalidad Distrital de Morococha, Yauli-Junín* [online]. Huancayo, Perú : Universidad Continental, 2017. [Accessed 11 October 2020]. Available from: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/3841>Accepted: 2017-11-21T16:19:18Zpublisher: Universidad Continental

9. RAMOS JIMÉNEZ, Alessandro Paul. *Estudio de implementación de un sistema eléctrico fotovoltaico para el abastecimiento de energía eléctrica del Pabellon "L" de la Universidad Continental - Huancayo, 2018* [online]. Huancayo, Perú : Universidad Continental, 2019. [Accessed 11 October 2020]. Available from: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5592>Accepted: 2019-06-07T22:14:56Zpublisher: Universidad Continental

10. FERNÁNDEZ BARREDA, Rafael Juan. *Electrificación parcial del colegio Max Uhle por medio de un sistema fotovoltaico conectado a red.* [online]. Arequipa, Perú : Universidad Católica de Santa María, 2019. [Accessed 10 October 2020]. Available from: <https://tesis.ucsm.edu.pe:80/repositorio/handle/UCSM/8998>Accepted: 2019-06-26T23:18:06Zpublisher: Universidad Católica de Santa María

11. PORTUGAL CHALCO, Isaac Zacarías. *Propuesta de sistema fotovoltaico de energía eléctrica para viviendas domiciliarias en la ciudad de Arequipa* [online]. Arequipa, Perú : Universidad Continental, 2018. [Accessed 11 October 2020]. Available from: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5184>Accepted: 2019-03-04T19:12:30Zpublisher: Universidad Continental

12. VALDIVIEZO SALAS, Paulo Daniel. *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP* [online]. Lima, Perú :

Pontificia Universidad Católica del Perú, 2014. Available from:
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/54472020-10-10> 21:31:36Accepted:
2014-07-23T15:50:52Zpublisher: Pontificia Universidad Católica del Perú

13. BANDA TOMA, Armando Raphael. *Estudio de viabilidad técnica y económica de un sistema fotovoltaico autónomo en las instalaciones de la UCSP* [online]. Arequipa, Perú : Universidad Católica San Pablo, 2017. [Accessed 24 September 2020]. Available from:
http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/15457/2/BANDA_TOMA_ARM_EST.pdf

14. SÁNCHEZ R., Bernie J. *Estudio de factibilidad en la implementación de un sistema basado en paneles fotovoltaicos para reducir el consumo de energía eléctrica en la facultad de ingeniería U.C.V.* Caracas, Venezuela : Universidad Central de Venezuela, 2012.

15. TEÓN VEGA, Argelia. *Implementación de Sistema Fotovoltaico interconectado a la red de las aulas ligeras en la UTT.* [online]. Chihuahua, México : Centro de Investigación en Materiales Avanzados, 2013. Available from:
<http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/667>Accepted: 2017-07-05T22:02:07Z

16. CHICAIZA CATUPAMBA, John David. *Sistema Fotovoltaico para proveer energía eléctrica al GAD Parroquial de Curaray en la Provincia de Pastaza* [online]. Ambato, Ecuador : Universidad Técnica de Ambato, 2016. [Accessed 24 September 2020]. Available from:
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/19362>Accepted: 2016-02-03T20:27:13Zpublisher: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones

17. ORTIZ QUINTERO, Tatiana Andrea. *Factibilidad de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la vereda de El Blanquecino, La Argentina (Huila)* [online]. Neiva, Colombia : Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2019. [Accessed 24 September 2020]. Available from: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/25381>Accepted: 2019-05-03T21:00:14Zpublisher: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

18. LASLUIA MOROCHO, Diego Hernán and TOBAR JAMI, Carlos David. *Sistema fotovoltaico para suministro de energía eléctrica en vivienda aislada* [online]. Latacunga, Ecuador : Universidad Técnica de Cotopaxi, 2019. [Accessed 10 October 2020]. Available

from: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5588>Accepted: 2020-07-29T22:38:39Zpublisher: Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).

19. ALARCÓN SOLÓRZANO, Ronald Yanez and CEVALLOS REYES, Andrés Alberto. *Implementación de un sistema de iluminación a nivel fotovoltaico para el área recreacional de la carrera de Ingeniería Ambiental, ESPAM MFL* [online]. Calceta, Ecuador : Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, 2019. [Accessed 10 October 2020]. Available from: <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1205>Accepted: 2020-01-08T19:32:58Zpublisher: Calceta: ESPAM MFL

20. GARCÍA GARNICA, Jesús Enrique, SEPÚLVEDA MORA, Sergio Basilio and FERREIRA JAIMES, Julian. Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico en una planta de tratamiento de agua. *INGE CUC*. 1 January 2018. P. 11. DOI 10.17981/ingecuc.14.1.2018.04. Accepted: 2019-02-12T01:44:29Z

21. BRAVO PACHECO, José Manuel. *Estudio de factibilidad técnica y económica para la implementación de la red eléctrica en iluminación en el tecnicentro Fransan 3 por medio de un sistema fotovoltaico de paneles solares* [online]. Guayaquil, Ecuador : Universidad Internacional del Ecuador, 2018. [Accessed 10 October 2020]. Available from: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2731>Accepted: 2018-09-12T22:04:31Zpublisher: GUAYAQUIL/UIDE/2018

22. CARDOZO SARMIENTO, Darwin Orlando and SÁNCHEZ MOJICA, Karla Yohana. Diseño de un sistema fotovoltaico aislado para la generación de energía eléctrica en escuelas rurales de Norte de Santander. *Gestión Ingenio y Sociedad*. 30 June 2017. Vol. 2, no. 1, p. 50–66.

23. REYES VERA, Álvaro Freddy. *Estudio de Factibilidad para la Implementación de un Sistema Fotovoltaico como energía alternativa, que permitirá satisfacer la necesidad de energía eléctrica estable en el sector el tablazo del Cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena*. [online]. La Libertad, Ecuador : Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2015. [Accessed 10 October 2020]. Available from: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/1962>Accepted: 2015-12-10T06:15:12Zpublisher: La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2015.

24. PROYECTO ENDEV/GIZ. *Instalación de sistemas fotovoltaicos* [online]. March 2013. Cooperación Alemana al Desarrollo. [Accessed 11 October 2020]. Available from: https://energypedia.info/images/0/0b/Gu%C3%ADa_de_instalaci%C3%B3n_de_SFD_-_2013.pdf
25. DÍAZ CORCOBADO, Tomás and CARMONA RUBIO, Guadalupe. Componentes de una instalación solar fotovoltaica. In : *Instalaciones solares fotovoltaicas* [online]. 1.ª Edición. España : McGraw-Hill, 2018. [Accessed 11 October 2020]. ISBN 84-486-1448-8. Available from: <https://www.mheducation.es/la-instalaciones-solares-fotovoltaicas-libro-alumno-9788448614485-spain-group>
26. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos and BAPTISTA LUCIO, María del Pilar. *Metodología de la investigación* [online]. 6ta Edición. México, D.F. : McGraw-Hill Education, 2014. [Accessed 11 October 2020]. ISBN 978-1-4562-2396-0. Available from: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
27. SUMI, Juan. Centro Educativo Básico Especial “Helen Keller.” *Google Maps* [online]. April 2018. [Accessed 8 October 2020]. Available from: <https://www.google.com/maps/place/Centro+Educativo+de+Basica+Especial+Paucarpata/@-16.4365007,-71.5243623,3a,75y,90t/data=!3m8!1e2!3m6!1sAF1QipNR2v2LD3MZegln1p2XUjK0ZQYXWVC14e5dbXtg!2e10!3e12!6shttps:%2F%2Fih5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipNR2v2LD3MZegln1p2XUjK0ZQYXWVC14e5dbXtg%3Dw203-h270-k-no!7i3024!8i4032!4m5!3m4!1s0x91424b27fa6297a3:0x183b33ea9a98ec04!8m2!3d-16.4365007!4d-71.5243623>
28. GOOGLE EARTH. Google Earth. *Google Earth* [online]. 8 October 2020. [Accessed 8 October 2020]. Available from: <https://earth.google.com/web/search/la+nochera+arequipa/@-16.4363931,-71.52405373,2348.25015026a,275.85909225d,35y,-56.46703523h,41.05022443t,0r/data=CpUBGmsSZQoIMHg5MTQyNGIyN2ZhNjI5N2EzOjB4MTgzYjMzWE5YTk4ZWMwNCo8Q2VudHJvIEVkdWNhdGI2bWpkZSBCYXNpY2EgRXNwZWNPYWwigKYKQ2VycmFkbyB0ZW1wb3JhbG1lbnRlGAImCiQJLfXc-OdgMMAR0hwWYb6EMMAZ390mfhngUcAhJPulliHpUcA>

29. ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE AERONÁUTICA Y EL ESPACIO, NASA. Prediction Of Worldwide Energy Resources. *POWER Data Access Viewer* [online]. 11 November 2020. [Accessed 11 November 2020]. Available from: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
30. SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ, SENAMHI. Energía Solar. *IDESSEP* [online]. 11 November 2020. [Accessed 11 November 2020]. Available from: <https://idesep.senamhi.gob.pe/geovisoridesep/go?accion=INICIO>
31. AUTOSOLAR. La Tienda de la Energía Solar. *Energía Solar* [online]. [Accessed 24 November 2020]. Available from: <https://autosolar.pe/>