

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**“INSTALACIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EFICIENTE PARA
GENERACIÓN Y SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
DE INSTITUCIONES EDUCATIVAS DE AREQUIPA”**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
INGENIERÍA ELÉCTRICA CON MENCIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS
DE INGENIERÍA

GUTIÉRREZ LOPEZ ALEX
VÁSQUEZ PUNTILLO CARLOS EFIDEL

Callao 2019

PERÚ

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO

MIEMBROS DEL JURADO

Dr.	: CÉSAR AUGUSTO SANTOS MEJÍA	PRESIDENTE
Mg.	: HUGO FLORENCIO LLACZA ROBLES	SECRETARIO
Mg.	: JORGE ELÍAS MOSCOSO SÁNCHEZ	MIEMBRO
Dr.	: ADÁN ALMIRCAR TEJADA CABANILLAS	MIEMBRO
Dr.	: SANTIAGO LINDER RUBIÑOS JIMENEZ	ASESOR

Nº DE LIBRO	: 01
FOLIO	: 088
FECHA DE APROBACIÓN	: 25 octubre 2019
RESOLUCIÓN DIRECTORAL	: 053-2019-DUPFIEE

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestras familias por comprendernos y apoyarnos en esta nueva etapa de nuestras vidas profesionales. Lo dedicamos también a Dios por ser el guía y por la fuerza que nos da para emprender este nuevo reto.

Alex Gutierrez Lopez.

Carlos Vásquez Puntillo.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por darnos la salud y fuerza para emprender este reto en nuestro desarrollo profesional, a nuestras familias por apoyarnos en todo momento y comprender el esfuerzo que tenemos que realizar para llegar a la meta que nos hemos trazado.

Alex Gutiérrez López.

Carlos Vásquez Puntillo.

ÍNDICE

TABLAS DE CONTENIDO	3
RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.1 Identificación del problema.....	9
1.2 Formulación de problemas.....	10
1.3 Objetivos (general y específicos)	13
1.4 Justificación	14
II. MARCO TEÓRICO	19
2.1 Antecedentes.....	19
2.2 Bases Teóricas.....	21
III. VARIABLES E HIPÓTESIS	36
3.1 Definición de las variables.....	36
3.2 Hipótesis general y específicas.....	38
IV. METODOLOGÍA	39
4.1 Tipo de investigación.....	39
4.2 Diseño de la Investigación.....	42
4.3 Población y Muestra	43
4.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	48
V. RESULTADOS	57

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	101
6.1 Contrastación de hipótesis con los resultados	101
6.2 Contrastación de resultados con otros estudios similares.	106
VII. CONCLUSIONES	110
VIII. RECOMENDACIONES	112
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
ANEXOS	115
Matriz de consistencia	115

TABLAS DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Programa de mantenimiento	41
Tabla 2. Cuadro de cargas y cálculo de la demanda máxima	60
Tabla 3. Tabla de consumo	76
Tabla 4. Irradiación global y difusa en KWh/m ² día	79
Tabla 5. Irradiación global y difusa en KWh/m ² mensual.....	80
Tabla 6. Irradiación global y difusa en KWh/m ²	80
Tabla 7. Coeficientes de rendimientos.....	81
Tabla 8. Cuadro comparativo de paneles fotovoltaicos	89
Tabla 9. Parámetros fundamentales del inversor INGECON	
SUN 25	90
Tabla 9. INDICE de PRECIOS.....	102
Tabla 10. Costos según el listado de trabajos.....	103
Tabla 11. Análisis de sensibilidad Variable-Precio KWh.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de las fuentes energéticas	16
Figura 2. Emisiones evitadas con la implementación del proyecto	33
Figura 3. Vista de la planta de la institución educativa	44
Figura 4. Vista principal de la institución educativa.....	45
Figura 5. Vista de elevación lateral este	45
Figura 6. Vista de elevación lateral oeste	46
Figura 7. Sección de un panel fotovoltaico	50
Figura 8. Partes de un módulo fotovoltaico	51
Figura 9. Panel fotovoltaico monocristalino	52
Figura 10. Curvas de rendimiento	52
Figura 11. Inversor Ingeteam	56
Figura 12. Vista de planta.....	59
Figura 13. Recibo de facturación mes – julio 2015.....	61
Figura 14. Modulación de los paneles CHI 200 Wp.....	64
Figura 15. Dimensionamiento entre paneles.....	64
Figura 16. Ángulo de inclinación del panel	66
Figura 17. Ángulo propio de inclinación del techo	67
Figura 18. Gráfico de la proyección gnomónica – Arequipa latitud sur 16°23'	68

Figura 19. Gráfico de la proyección gnomónica – Ángulo de proyección de la sombra 21 de diciembre – 9 horas	69
Figura 20. Plano en – ángulo de proyección de la sombra 21 de diciembre – 9 horas.....	69
Figura 21. Software Sketch up, geolocalización	70
Figura 22. Software Sketch up, volúmenes.....	71
Figura 23. Software Sketch up, UTC, horas, días y meses.	71
Figura 24. Sombras en el solsticio de verano (21 de diciembre)...	72
Figura 25. Sombras en el solsticio de invierno (21 de junio)	72
Figura 26. Sombras en el equinoccio de otoño (21 de marzo)	72
Figura 27. Sombras en el equinoccio de primavera (23 de setiembre)	73
Figura 28. Indicador gnomónico 09:00 hrs.....	73
Figura 29. Indicador gnomónico 12:00 hrs.....	74
Figura 30. Indicador gnomónico 15:00 hrs.....	74
Figura 31. Localización de la institución educativa Aspersud	79
Figura 32. Pérdidas del sistema fotovoltaico	81
Figura 33. Diagrama de flujo de pérdidas del sistema	82
Figura 34. Esquema unifilar de un sistema fotovoltaico a red	84
Figura 35. Esquema unifilar del proyecto de Arequipa	85
Figura 36. Parámetros fundamentales de los paneles.	87
Figura 37. Panel monocristalino CHI 200 Wp – 24V.....	88
Figura 38. Imagen del inversor	90

Figura 39. Diagrama unifilar del proyecto de Arequipa.....	92
Figura 40. Especificaciones de conductores	93
Figura 41. Inversores.....	97
Figura 42. Llaves.....	99
Figura 43. .INDICE de PRECIOS	102
Figura 44. Ahorro de energía.....	107

RESUMEN

Este trabajo de tesis, trata sobre una solución con paneles fotovoltaicos en la ciudad de Arequipa; dichos paneles estarán ubicados sobre el techo correspondiente al edificio principal del Instituto Educativo donde toda la energía generada será reinyectada a la red eléctrica; este trabajo considera el dimensionamiento del generador fotovoltaico, ubicación geográfica de paneles, diseño y estudio energético, cálculo y diagrama unifilar, inclinación de los mismos y propuesta de mantenimiento de todo el sistema fotovoltaico para alimentar la gran parte de la demanda eléctrica del instituto educativo en Arequipa.

El objetivo principal es producir energía eléctrica limpia para cubrir gran parte de la demanda de la institución educativa y minimizar el consumo elevado de energía que a la fecha se tiene básicamente por un tema de iluminación ya que si bien tienen un proyecto aprobado de cambio de tecnología de sistema de fluorescencia por tecnología Led que les va a significar un gran ahorro de energía, todavía mantienen un diferencial en consumo que no lo pueden resolver y es allí donde entra la alternativa de solución con el generador fotovoltaico.

Esta solución planteada se sustenta en que la radiación en Arequipa todo el año es alta y por lo tanto, empleando tecnología solar con un generador fotovoltaico de una potencia de 25Kw conectado a la red del suministro eléctrico existente en media tensión (10.5kV) es la mejor solución al problema actual.

ABSTRAC

This thesis work is about a solution with photovoltaic panels in the city of Arequipa; said panels will be located on the roof corresponding to the main building of the Educational Institute where all the energy generated will be reinjected into the power grid; This work considers the sizing of the photovoltaic generator, geographical location of panels, design and energy study, calculation and single-line diagram, their inclination and maintenance proposal of the entire photovoltaic system to feed the large part of the electrical demand of the educational institute in Arequipa.

The main objective is to produce clean electric power to cover a large part of the demand of the educational institution and minimize the high energy consumption that to date is basically due to a lighting issue since although they have an approved technology change project of fluorescence system by Led technology that will mean a great saving of energy, still maintain a differential in consumption that can not be solved and that is where the solution alternative comes with the photovoltaic generator.

This solution is based on the fact that the radiation in Arequipa all year round is high and therefore, using solar technology with a photovoltaic generator with a power of 25Kw connected to the existing medium voltage power supply network (10.5kV) is the best solution to the current problem

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Actualmente países como Francia tienen un plan para el 2050, donde París funcione solo con energías renovables, o Estados Unidos que se propone un plan de trabajo para que los 50 estados tengan también en el 2050 todo un desarrollo en energías renovables fotovoltaicas y eólicas con una reducción drástica de la demanda de energía y con el argumento que a mayor eficiencia, menor consumo. Esta gran cruzada no se podrá llevar a cabo si no se hacen paralelamente grandes inversiones en infraestructura, decisiones a nivel país y que cada gobierno se haga responsable de los cambios necesarios.

La Asociación Internacional de la Energía (AIE) afirma que hacia el 2030 casi el 50% de la generación energética en el mundo será de fuentes “verdes”, toda esta tendencia tiene que ir acompañado de decisiones políticas y de gobierno de cada país que se sientan responsables y tomen la decisión para comenzar con la gran transformación.

1.1 Descripción de la realidad problemática

Por nuestra parte, a raíz de la vigésima reunión de la Conferencia de las Partes (COP 20), realizado en diciembre del 2014 en Lima, se concluyó que es a partir del 2020 cuando se empezará a aplicar el Acuerdo Global de todos los países participantes para reemplazar el Protocolo de Kioto; uno de los puntos fundamentales es, no solo reducir las emisiones, sino como abordar la mitigación y adaptación al impacto

del cambio climático en los países más vulnerables y en vías de desarrollo.

En los últimos 10 años, el Perú ha desarrollado un interesante crecimiento a nivel energético debido básicamente al impulso de la demanda interna hacia productos y servicios de calidad en un mercado competitivo en actividades petroleras, gas natural y electricidad.

“En el periodo 2003-2013 el PBI se incrementó en 86%, la producción de electricidad aumento en 92% y la de hidrocarburos en 260% dando el mayor crecimiento de la actividad económica y demanda de energía de las últimas décadas gracias a la inversión privada en infraestructura como inversión por parte del estado”. En noviembre del 2014 se publicó el plan energético nacional 2014-2015 y donde está estipulado que solo el 5% de la producción nacional corresponderá a energías renovables no tradicionales.

1.2 Formulación de problema

A partir de los recursos solares y eólicos generar hidrogeno a través del electrolisis para resolver el problema de la energía intermitente.

Lima tiene una radiación promedio de 5,13 KWh/m² día, y en Arequipa 6,08 KWh/m². Las principales aplicaciones solares son los sistemas fotovoltaicos y los de calentamiento de agua; existen alrededor de 10 000 termas solares, instaladas principalmente en Arequipa, Ayacucho, Lima, Puno, Tacna y Áncash.

La solución fotovoltaica estará situada en la ciudad de Arequipa, sobre el techo del edificio principal de un Instituto Educativo localizado en la calle Paucarpata N° 326.

Podremos apreciar el diseño de la instalación fotovoltaica y su influencia sobre los diferentes resultados que se obtendrán, para ello se utilizara el software PVSYST V. 6.39 que es un programa de simulación bastante completo, dentro de las pestañas de su aplicación nos permite crear un proyecto personalizado que para nuestro caso son los datos de la ubicación del predio Calle Paucarpata # 326, Arequipa, una vez ingresado todos los parámetros arroja los resultados como son la producción de energía anual, la irradiación global y difusa tanto diaria como mensual, los coeficientes de rendimiento del sistema, las pérdidas totales por el generador, por el inversor, etc y con estos valores podremos evaluar la viabilidad del proyecto y facilitar la toma de decisiones.

Definitivamente lo que se busca con estos modelos de placa fina es la mayor eficiencia al menor costo, el problema radica en su durabilidad, ya que, las placas monocristalinas y policristalinas te aseguran el 80% de la energía que se produzca.

1.2.1 Problema General

¿Si no se implementa energía limpia a través de sistemas fotovoltaicos eficientes, tendremos que emplear energías fósiles para la generación y suministro de energía eléctrica en instituciones educativas de Arequipa?

1.2.2 Problema Específico

¿La implementación y suministro de energía eléctrica en instituciones educativas de Arequipa actualmente carecen de beneficios que ofrece la nueva alternativa del sistema fotovoltaico eficiente?

¿La generación y suministro de energía eléctrica en instituciones educativas de Arequipa no contribuyen a reducir la emisión de carbono debido a la no implementación del diseño y mantenimiento correcto de un sistema fotovoltaico eficiente?

1.3 Objetivos (general y específicos)

1.3.1 Objetivo General

Implementar energía limpia a través de sistemas fotovoltaicos eficientes para la generación y suministro de energía eléctrica en instituciones educativas de Arequipa.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar la rentabilidad del sistema fotovoltaico para la generación y suministro de energía eléctrica en instituciones educativas de Arequipa.

- ✓ Realizar el diseño y mantenimiento correcto del sistema fotovoltaico para la generación y suministro de energía eléctrica en instituciones educativas de Arequipa.

1.4 Justificación

Como consecuencia de la crisis del petróleo en la década del setenta, empezó a tomar interés el uso de energías renovables; si bien el ministerio de Energía y Minas explica que se ha incrementado en un 75% de la población peruana con acceso al servicio eléctrico, todavía existen más de 7 millones de habitantes sin electricidad. Para esta gran masa de ciudadanos su única alternativa a corto y mediano plazo es resolverla con soluciones hidráulicas, eólicas, solares y biomasa.

La energía solar se puede fácilmente transformar en calor, que puede ser usado para calentar ambientes, agua, cocinar, etc.

En el Perú a comparación con otros países tenemos pocos sistemas fotovoltaicos instalados; hasta el 2005 habían unos 10 000 sistemas fotovoltaicos con una potencia de 1,5 MWp; el primer proyecto con sistema solar fue instalado en Puno *“en 1986, se entregó 50 Sfd, como instalaciones de prueba a familias campesinas en diferentes provincias de Puno”* (Horn, 2001).

Si bien se sabe que con el uso de energía solar en el mediano plazo, se tendrá masificadamente la electrificación de regiones rurales, lo que no se sabe es cuándo ocurrirá ese gran cambio. Una de esas limitaciones es la capacitación y una política clara del gobierno en fomentar el uso de energías renovables.

A diferencia de otros países, en nuestro territorio por estar cerca de la línea Ecuatorial cuenta con la mayor parte del tiempo con Sol. Según el Atlas elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, el Perú tiene como radiación solar promedio: Sierra: 5,5 – 6,5 KWh/m², Costa: 5,0 – 6,0 KWh/m², Selva: 4,5 – 5,0 KWh/m²

En el Perú existen tres ámbitos donde se han desarrollado el uso de la energía solar:

- Ámbito más tradicional, fuentes térmicas a través de termas de agua, sobretodo en Arequipa y Puno.
- Provisión de electricidad en zonas rurales.
- Concesión de las cuatro grandes centrales solares que se enlazan al Sistema Interconectado de Energía (SIE).

Como vemos el sector de energía solar, van desde pequeñas instalaciones hasta grandes proyectos de centrales solares.

Lima tiene una radiación promedio de 5,13 KWh/m² día, y en Arequipa 6,08 KWh/m². Las principales aplicaciones solares son los sistemas fotovoltaicos y los de calentamiento de agua; existen alrededor de 10 000 termas solares, instaladas principalmente en Arequipa, Ayacucho, Lima, Puno, Tacna y Áncash.

Existen muchas razones por las cuales a pesar de la alta radiación que tenemos esta tecnología no ha tenido el despegue y es por la falta de una política energética gubernamental.

Es imposible imaginarnos la vida sin energía y gracias al desarrollo tecnológico podemos utilizar una serie de recursos naturales como fuentes de energía, llámense: sol, agua, viento, mar, tierra.

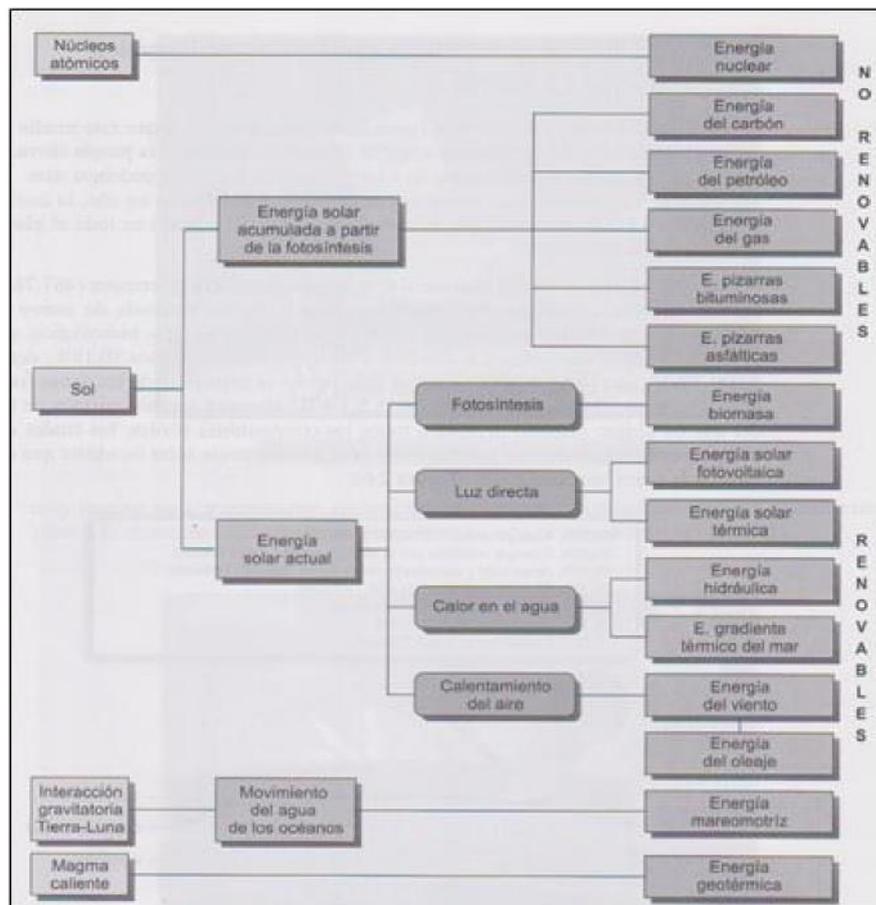


Figura 1. Clasificación de las fuentes energéticas

Fuente: (Collado, 2013, pág. 28)

También es clarísimo que las emisiones desproporcionadas de gases de efecto invernadero, causantes del aumento de la temperatura del planeta y otros daños, podrían reducirse a mayor velocidad pero, tenemos el problema de los grandes intereses de las transnacionales

del petróleo que se niegan a perder terreno y claro está que esa responsabilidad recae en las principales economías.

Se tiene más ventajas que desventajas, el utilizar energías renovables respetuosas con el medio ambiente, ya que, estas energías renovables no contaminan, además son inagotables.

El beneficio más obvio de las energías renovables desde un punto de vista exclusivamente ambiental es de ayudar a la reducción del CO₂, permitiendo con esto mejorar el cambio climático; el carácter inagotable de este tipo de energías es un factor decisivo frente a las convencionales para su utilización.

Por otro lado en esta última década nuestro auge económico trajo consigo asegurar el suministro de energía para la demanda solicitada y básicamente por la explotación del gas natural y que permitió atender la demanda interna sino poder exportar; también se ha podido trabajar más con el gas natural consiguiendo precios competitivos y bajo nivel de emisiones que es un punto importante con el lineamiento de la COP20 realizado en Lima fines del año pasado y reafirmando el compromiso del Perú con apoyar las tendencias del cambio climático de nuestro planeta.

Bajo este concepto el Plan Energético destaca los proyectos de inversión para lograr:

- Abastecimiento energético competitivo
- Acceso al suministro energético
- Desarrollo de proyectos energéticos con el mínimo impacto ambiental.
- Producir bajas emisiones en carbono, en un marco de desarrollo sostenible.

Cumpliendo con estos lineamientos mencionados y unas planificaciones energéticas podremos alcanzar las tres hipótesis planteadas para el 2014-2025:

El crecimiento de una economía alrededor del 4.5% anual, cifra que lamentablemente no se está cumpliendo.

Los precios energéticos en el mercado seguirán siendo los precios mundiales de la energía.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

La Energía Solar como una alternativa energética para un Desarrollo sostenible significa la protección el planeta. El sol es una fuente inagotable y limpia para la generación eléctrica. Plantas de generación aisladas (no conectadas a la red eléctrica) para autoconsumo o plantas conectadas a la red son el futuro para un desarrollo sostenible. El desarrollo de la energía solar Fotovoltaica en el siglo XXI está teniendo un acelerado avance tecnológico y económico. La energía es el motor de los avances económicos en este siglo.

El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez en 1839 por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel. Sus estudios sobre el espectro solar, magnetismo, electricidad y óptica son el pilar científico de la energía fotovoltaica. En 1883 el inventor norteamericano Charles Fritts construye la primera celda solar con una eficiencia del 1%. La primera celda solar fue construida utilizando como semiconductor el Selenio con una muy delgada capa de oro. Debido al alto costo de esta celda se utilizó para usos diferentes a la generación de electricidad. Las aplicaciones de la celda de Selenio fueron para sensores de luz en la exposición de cámaras fotográficas. La celda de Silicio que hoy día utilizan proviene de la patente del inventor norteamericano Russell Ohl. Fue construida en 1940 y patentada en 1946. La época moderna de la

celda de Silicio llega en 1954 en los laboratorios Bells. Accidentalmente experimentando con semiconductores se encontró que el Silicio con algunas impurezas era muy sensitivo a la luz.

Muñoz Anticona (2005), en su tesis titulada "*Aplicación de la energía solar para la electrificación rural en zonas marginales del país*", en la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú, establece que el Sol posee una elevada calidad energética no contaminante y renovable que permite usos variados y efectivos, es inagotable a escala humana y no necesita de mucho espacio para ser utilizada. La energía solar puede ser utilizada de una manera muy fácil para la generación de energía eléctrica; además, no requieren sofisticar las medidas de seguridad, y no produce residuos tóxicos de difícil o imposible tratamiento o eliminación.

Una de las aplicaciones más importantes de estos sistemas es la electrificación de zonas rurales, en las cuales no es posible hacer llegar la red de energía eléctrica convencional, por tanto, en estos lugares es mejor instalar sistemas fotovoltaicos donde uno o varios paneles solares carguen baterías para que posteriormente la energía almacenada en estas pueda ser utilizada por dispositivos convencionales (televisiones, radios, fluorescentes, etc). Además, plantea que los sistemas fotovoltaicos son confiables y duraderos, no ocasionan ningún desequilibrio al ambiente y son competitivos cuando

la cantidad de energía demanda es pequeña y los sitios son lejanos o es difícil llegar a ellos no teniendo acceso a la red eléctrica.

Bermudez B. y Gabriel L. (2008), en su tesis de grado titulada "*Especificación de un sistema de generación de energía eléctrica usando paneles fotovoltaicos y convertidores DC/AC*"; en la Universidad Central de Venezuela, presenta la determinación de la metodología de diseño para dimensionar un arreglo solar fotovoltaico, basadas en las recomendaciones hechas por la IEEE y UL en sus estándares relacionados con este tema, así como el Código Eléctrico Nacional y los escritos de los diversos autores especializados en esta materia, dicha metodología se puso en práctica para obtener un diseño adecuado a los requerimientos inicialmente planteados por la investigación.

2.2 Bases Teóricas

La luz, sea ésta de origen solar, o generada por un foco incandescente o fluorescente, está formada por un conjunto de radiaciones electromagnéticas de muy alta frecuencia, que están agrupadas dentro de un cierto rango, llamado espectro luminoso. Las ondas de baja frecuencia del espectro solar (infrarojo) proporcionan calor, las de alta frecuencia (ultravioleta) hacen posible el proceso de fotosíntesis o el bronceado de la piel. Entre esos dos extremos están las frecuencias

que forman la parte visible de la luz solar. La intensidad de la radiación luminosa varía con la frecuencia.

El “color” de la luz solar depende de la composición del espectro de frecuencias. Los fabricantes de focos luminosos, concientes de este fenómeno, tratan de dar a éstos un espectro de radiación luminosa similar al de la luz solar que llega a la Tierra cuando el sol alcanza la posición del zenith (luz blanca). La intensidad y frecuencias del espectro luminoso generado por el sol sufre alteraciones cuando la luz atraviesa la atmósfera. Ello se debe a la absorción, reflexión y dispersión que toma lugar dentro de ésta. Los gases presentes en la capa atmosférica actúan como filtros para ciertas frecuencias, las que ven disminuídas su intensidad o son absorbidas totalmente. El proceso fotovoltaico responde a un limitado rango de frecuencias dentro del espectro visible, de manera que es importante definir el espectro de radiación de la fuente luminosa que se utiliza para evaluar la celda fotovoltaica. Esto se hace especificando un parámetro denominado Masa de Aire. La posición relativa del sol respecto a la horizontal del lugar determina el valor de la masa de aire. Cuando los rayos solares caen formando un ángulo de 90° respecto a la horizontal, se dice que el sol ha alcanzado su zenit.

Para esta posición la radiación directa del sol atraviesa una distancia mínima a través de la atmósfera. Cuando el sol está más cercano al horizonte, esta distancia se incrementa, es decir, la “masa de aire” es mayor.

A la posición del zenit se le asigna una masa de aire igual a 1 (M1). Cualquier otra distancia tendrá una masa de aire que puede calcularse usando la expresión:

$$\text{Masa de Aire} = 1 / \cos \alpha$$

Donde α es el ángulo formado entre la posición de zenit y la posición del sol en ese momento, y $\cos \alpha$ es el valor del coseno de ese ángulo, el que varía entre 1 y 0 cuando el ángulo varía entre 0 y 90°. Para valores de α mayores que cero, el valor del $\cos \alpha$ es siempre menor que la unidad, de manera que el valor de la masa de aire se incrementa. Valores para la masa de aire mayores que la unidad indican que la radiación directa debe atravesar una distancia mayor dentro de la atmósfera. El ángulo de inclinación respecto a la posición del zenit (vertical) puede ser calculado de la expresión anterior. Se deduce así que una masa de aire de valor 1,5 corresponde a un ángulo α de unos 48°. Algunos autores asignan, arbitrariamente, el valor $M=0$ para el espectro luminoso fuera de la atmósfera. Este valor carece de sentido matemático.

Al incrementarse la distancia, la absorción, reflexión y dispersión de la luz solar también se incrementan, cambiando el rango de frecuencias que integran el espectro luminoso, así como la intensidad del mismo. Esto explica las variaciones de intensidad y color de la luz solar durante la salida y puesta del sol. La fuente luminosa usada para medir la potencia de salida de un panel FV tiene un espectro luminoso correspondiente a una masa de 1,5 (M1,5), el que ha sido adoptado como estándar. La intensidad es muy cercana a $1\text{KW}/\text{m}^2$.

La cantidad total de radiación solar (directa y reflejada) que se recibe en un punto determinado del planeta, sobre una superficie de 1m^2 , para un determinado ángulo de inclinación entre la superficie colectora y la horizontal del lugar, recibe el nombre de insolación. El término deriva de la palabra inglesa insolation, la que, a su vez, representa un acrónimo derivado de otras tres palabras del mismo idioma: incident solar radiation (radiación solar incidente).

Definición de Términos

- Acumulador: Elemento de instalación capaz de almacenar la energía eléctrica, transformándola en energía química. Se compone de diversas baterías conectadas entre sí en serie o en paralelo.

- Amperio-hora: Unidad usada para especificar la capacidad de una batería.
- Balance of System (BOS): Representa el resto de componentes del sistema, añadidos a los módulos fotovoltaicos.
- Baterías: Acumulan la energía que reciben de los paneles. Cuando hay consumo, la electricidad la proporciona directamente la batería y no los paneles.
- Diodo de bloqueo: Diodo que impide que se invierta la corriente en un circuito. Normalmente es usado para evitar la descarga de la batería.
- Caja de Conexiones: Elemento donde las series de módulos fotovoltaicos son conectados eléctricamente, y donde puede colocarse el dispositivo de protección, si es necesario.
- Célula Fotovoltaica: Unidad básica del sistema fotovoltaico donde se produce la transformación de la luz solar en energía eléctrica.
- Central Fotovoltaica: Conjunto de instalaciones destinadas al suministro de energía eléctrica a la red mediante el empleo de sistemas fotovoltaicos a gran escala.
- Concentrador: Dispositivo que mediante distintos sistemas, concentra la radiación solar sobre las células fotovoltaicas.
- Contador: Un contador principal mide la energía producida (kWh) y enviada a la red, que pueda ser facturada a la compañía a los precios autorizados. Un contador secundario mide los pequeños

consumos de los equipos fotovoltaicos (kWh) para descontarlos de la energía producida.

- Controlador de Carga: Componente del sistema fotovoltaico que controla el estado de carga de la batería.
- Convertidor Continua - Continua: elemento de la instalación encargado de adecuar la tensión que suministra el generador fotovoltaico a la tensión que requieran los equipos para su funcionamiento.
- Dimensionado: Proceso por el cual se estima el tamaño de una instalación de energía solar fotovoltaica para atender unas necesidades determinadas con unas condiciones meteorológicas dadas.
- Integración en edificios (BIPV): Término que se refiere al diseño e integración fotovoltaica en el desarrollo de edificios, normalmente reemplazando los materiales que convencionalmente se emplean en los edificios.
- Efecto Fotovoltaico: Conversión directa de la energía luminosa en energía eléctrica.
- Eficiencia: En lo que respecta a células solares es el porcentaje de energía solar que es transformada en energía eléctrica por la célula. En función de la tecnología y la producción técnica, éste varía entre un 5% y un 30%.

- **Electrolito:** En el caso de las baterías empleadas en sistemas fotovoltaicos, es una solución diluida de ácido sulfúrico en la que se verifican los distintos procesos que permiten la carga y descarga de la batería.
- **Fotón:** Cada una de las partículas que componen la luz.
- **Fotovoltaico (FV):** Relativo a la generación de fuerza electromotriz por la acción de la luz.
- **Generador:** Conjunto de todos los elementos que componen una instalación fotovoltaica, necesarios para suministrar energía a las distintas aplicaciones. Transforma la energía del Sol en energía eléctrica y carga las baterías.
- **Inclinación:** Ángulo que forma el panel fotovoltaico con una superficie perfectamente horizontal o a nivel.
- **Inversor:** Transforma la corriente continua que suministran las baterías o los paneles en corriente alterna para su uso en diferentes electrodomésticos o aplicaciones, tanto en sistemas aislados como en sistemas conectados a red.
- **Kilovatio (kW):** Unidad de potencia equivalente a 1000 vatios.
- **Módulo o Panel Fotovoltaico:** Es el conjunto formado por las distintas células fotovoltaicas interconectadas, encapsuladas y protegidas por un vidrio en su cara anterior y por un marco por los laterales. El módulo está provisto de terminales para su conexión a la instalación.

- Nominal Operating Cell Temperature (NOCT): Temperatura a la que trabaja una célula en un módulo bajo las Condiciones de Operación Estándar, que es de 20° Centígrados de temperatura ambiente, irradiación de 0.8 kW/m² y velocidad media del viento de 1 m/s, con el viento orientado en paralelo al plano de la estructura y todos los lados de la estructura totalmente expuestos al viento.
- Orientación: Ángulo de orientación respecto al Sur Solar de la superficie de un panel. El Sur geográfico (o real) no debe confundirse con el magnético, que es el que señala la brújula, aunque en el caso de España la diferencia no suponga grandes desviaciones.
- Punto de máxima potencia de un Panel: Potencia que suministra un panel fotovoltaico cuando el producto de la tensión por la intensidad es máximo.
- Radiación Solar: Cantidad de energía procedente del sol que se recibe en una superficie y tiempo determinados.
- Regulador: Véase Controlador de Carga.

Impacto ambiental por funcionamiento

Para cualquier tipo de instalación fotovoltaica de conexión a red se sabe que su impacto medioambiental es casi nulo.

Debido a su funcionamiento tenemos:

- **Por ruidos:** los que se pueden generar siempre y cuando existiese algún tipo de movimiento de piezas o equipos, que no es el caso nuestro, lo único que puede encontrarse es un pequeño zumbido en el inversor y al trabajar en alta frecuencia resulta casi inaudible. Además, el lugar donde estará instalado está en el ático que está encima del 2° Piso lugar donde solo accede personal de mantenimiento.

- **Por emisiones:** las emisiones que genera algún tipo de energía solar, fotovoltaica, o térmica, es nula al no generar combustible o gas contaminante a la atmósfera, ya que al tener un sistema fotovoltaico la emisión al medio ambiente es nula.

- **Por impacto visual:** cualquier instalación existente ya genera un impacto visual y lo que en este caso se pretende instalar es aprovechando la misma edificación. Tenemos por un lado que al no alterarse la edificación existente no estamos alterando el impacto visual, lo más importante es que se quiere brindar una percepción visual positiva.

- Desde cualquier ángulo se puede apreciar esta instalación que denota el aprovechamiento de la energía solar y a su vez es un

ejemplo para cualquiera, el motivar a utilizar sistemas con energías limpias.

Al ser una Institución Educativa se está motivando a los alumnos a consultar sobre las razones de utilizar esta tecnología y es virtud de los educadores transmitir todas las fortalezas, ventajas y beneficios que conlleva usar estos sistemas fotovoltaicos.

- **Por residuos tóxicos:** este tipo de instalaciones no genera ningún elemento tóxico por funcionamiento, por lo tanto, su impacto es nulo.
- Las características más importantes de los sistemas solares FV, es que no producen emisiones al medio ambiente durante su funcionamiento, a pesar de que se producen emisiones indirectas de CO₂ en otros momentos, son significativamente más pequeñas que las emisiones que se evitan.

Impacto ambiental

- En el proceso de fabricación de los módulos, componentes electrónicos, estructuras-soporte, cables, etc. Es donde puede haber un impacto sobre el medio ambiente y son los residuos tóxicos los que pueden originar este impacto; felizmente están regulados y reglamentados en materia de eliminación de residuos básicamente por un correcto etiquetado y almacenamiento.

- Aunque no hay emisiones de CO₂ durante el funcionamiento, sí se genera una pequeña cantidad durante la fase de producción y donde la energía fotovoltaica solo emite de 21 a 65 gr de CO₂ por kWh generado.
- Respecto a la energía consumida durante el proceso de fabricación, se sabe que entre 4 y 7 años los módulos devuelven esa energía consumida y es muy inferior a la vida de los mismos, estimada en 25 años aproximadamente.
- Los módulos fotovoltaicos son reciclables y las materias primas se pueden volver a utilizar, en consecuencia, se reducirían más aún el consumo de energía asociado a la tecnología fotovoltaica.

Si los gobiernos adoptan un mayor de la tecnología fotovoltaica para su generación nacional de energía, la energía solar puede realizar una contribución sustancial a los compromisos internacionales para la reducción de las emisiones de gases invernaderos y su influencia en el cambio climático. (Colmenar, 2013).

Impacto ambiental de la instalación

La evaluación de impacto ambiental que se realizara en el Proyecto del Instituto Educativo de Arequipa está destinado a identificar las consecuencias que derivan de las actividades a realizar todo proyecto tiene un impacto positivo o negativo en sus componentes físicos, biológicos y socioeconómicos y de acuerdo a los resultados se debe

adoptar las medidas necesarias para minimizar los impactos alrededor del ambiente donde está ubicado nuestro generador fotovoltaico.

En este proyecto se identificarán las fases de construcción de plataformas para los paneles, su instalación, operación, mantenimiento y finalmente el término y abandono del proyecto, con esta información se deberá evaluar el impacto ambiental derivado por la construcción de obras sobre el entorno, en este caso es mínimo ya que alrededor existe una actividad educativa permanente desde hace varios años y durante todo el año.

Cálculo de emisiones evitadas

Por lo general la energía solar es una de las energías que ayuda eficazmente a la reducción del CO₂; sabemos que el dióxido de carbono proviene por lo general de la quema de combustibles fósiles como el petróleo, carbón y gas natural que están acumuladas dentro de la tierra desde hace millones de años, al quemarlos inyectamos a la atmósfera un CO₂ que estaba atrapado.

Incluimos el balance de carbón realizado con el programa PVSYST:

Datos:

- ✓ Producción de energía anual: 50861 kW-h
- ✓ Emisión evitada de CO₂ x kWh (Caso Perú 0.261 kg de CO₂ /kWh)
- ✓ Horizonte del proyecto: 25 años

- ✓ Disminución del rendimiento anual del sistema: 1%
- ✓ Emisiones producidas por transporte e instalación (45.4 tn CO2)
- ✓ Total de Emisiones evitadas de CO2: 249.584 toneladas de CO2

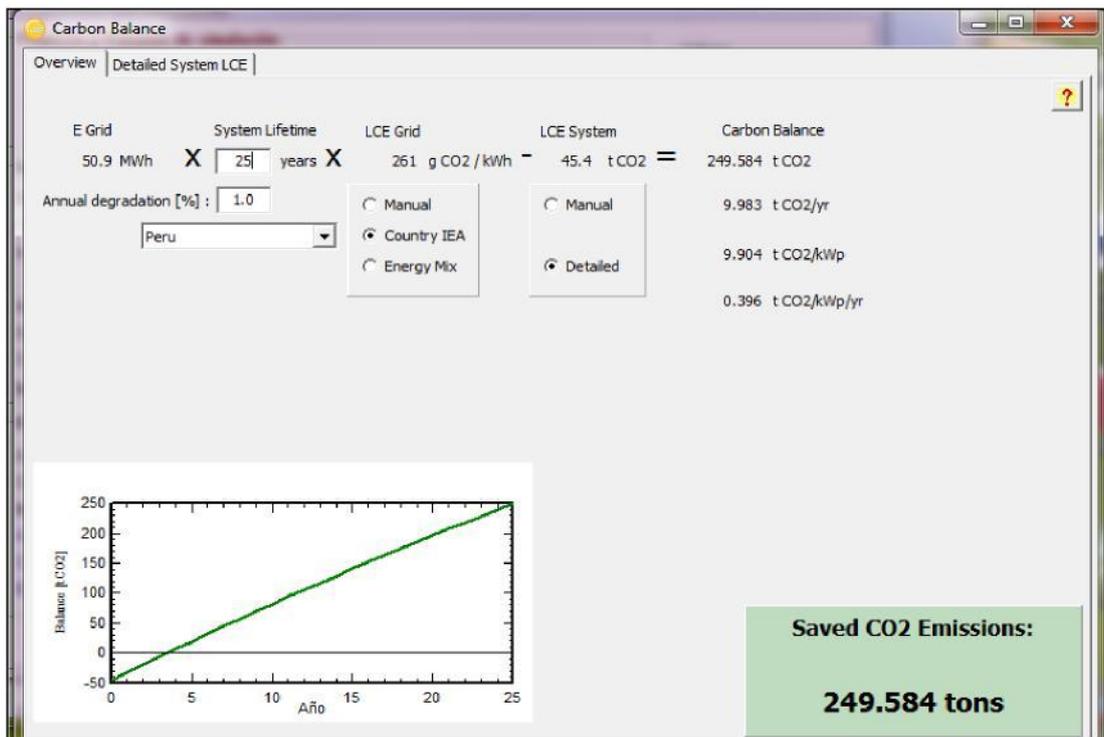


Figura 2 Emisiones evitadas con la implementación del proyecto

Fuente (PVSYST V 6.39, 2015)

MARCO LEGAL VIGENTE

Dentro del marco normativo de Perú, contamos con el Decreto Legislativo N° 1002, de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables pero, hasta la fecha no se ha estimado el potencial en términos de capacidad de proyectos solares para generación eléctrica.

Existen una serie de normativas sustentadas por un marco legal para beneficiar al que invierta en este tipo de instalaciones con inyección a la red y es lógico aquel que invierte en una instalación fotovoltaica quiera recuperar su inversión en el menor tiempo posible, por eso , para nuestro caso estamos planteando un sistema fotovoltaico conectado a la red de tal manera tener 25Kw nominales producidos a través del generador y verterla a la red pública de tal manera que minimice la inversión que se realice.

Por ello el gobierno peruano ha creado el marco legal e institucional de las energías renovables y del sector eléctrico de tal manera fomentar e impulsar las energías renovables tan importantes para nuestro país, ya que significa por un lado diversificar la matriz energética y también buscar la competencia de proyectos con energías renovables a través de la innovación tecnológica permitiendo a los usuarios utilizar este tipo de tecnología logrando reafirmar una política de seguridad energética y protección del medio ambiente.

Las Leyes y Reglamentos dentro del Marco Legal para incentivar la implementación de las energías renovables las enumeramos a continuación:

Indica que el MINEM establecerá cada 5 años un porcentaje objetivo en que debe participar en el consumo nacional de electricidad, esta electricidad generada a partir de Recursos Energéticos Renovables (RER), tal porcentaje objetivo será hasta 5% anual durante el primer quinquenio.

También le dan prioridad para el despacho de carga y acceso a las redes de Transmisión y Distribución, primas preferenciales en subastas (recargadas al peaje de transmisión), prioridad en conexión a redes, además de fondos para investigación y desarrollo.

Los criterios del marco regulatorio están basados en el porcentaje objetivo establecidos por el MINEM; así como los incentivos ofrecidos, garantías y tarifa base que son puntos importantes para una instalación conectada a la red pública, sabiendo que habrá una retribución económica.

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Definición de las variables

En este análisis debemos comprobar si el proyecto presentado es económicamente rentable para que sea viable y dentro de ello obtendremos resultados de las variables más importantes que las explicaremos brevemente como son el VAN y el TIR; también debemos verificar el payback que no es otro que el periodo medio de maduración y que nos da una idea aproximada del tiempo que tardaría en recuperar toda la inversión.

3.1.2 VAN

Una de las maneras más sencillas para evaluar la rentabilidad de una inversión teniendo en cuenta el valor temporal del dinero es calculando el **Valor Actual Neto** de los flujos de caja futuras que genera el proyecto descontados a un cierto tipo de interés y compararlos con el importe inicial de la inversión ; en términos generales si el VAN resultase negativo la inversión debe descartarse, si es positivo la inversión puede ser interesante, el VAN es esencialmente interesante para el análisis comparativo de diversas opciones de inversión o escenarios de negocio y como en este caso deberá elegirse la opción que genere el VAN más alto.

El VAN es un dato muy interesante y si está bien calculado será una valiosa referencia en el análisis de opciones de inversión y negocio, no obstante, es preciso recordar que la toma de decisiones deberá contemplar un contraste con otro tipo de análisis y ratios antes de llegar a conclusiones definitivas, en las finanzas y los negocios (como en la vida misma) no existen fórmulas mágicas que por sí mismas y de forma simple nos “hagan ver la luz”.

Para nuestro proyecto hemos visto conveniente por un tema de sensibilidad tener varios^o escenarios con diferentes tasas de descuento, todos los flujos del futuro los traemos a tiempo presente manteniendo un VAN para los diferentes escenarios positivo e interesante.

3.1.2 TIR

Este indicador corresponde a la **Tasa Interna de Retorno** y es un excelente termómetro para ver la rentabilidad de la inversión, no nos olvidemos que las inversiones más interesantes son aquellas que proporcionan mayor TIR, si el TIR es inferior a la tasa de descuento la inversión debe ser desestimada, si es superior la inversión es factible, siempre este análisis va como complemento al análisis del VAN.

3.2 Hipótesis

3.2.1 Hipótesis General

La Implementación de energía limpia a través de sistemas fotovoltaicos eficientes va a permitir ahorrar en la generación y suministro de energía eléctrica de las instituciones educativas de Arequipa.

3.2.2 Hipótesis Específicas

- ✓ La rentabilidad del sistema fotovoltaico eficiente es favorable en la generación y suministro de energía eléctrica en instituciones educativas de Arequipa.

- ✓ El diseño y mantenimiento correcto del sistema fotovoltaico es importante para el desarrollo sostenible en la generación y suministro de energía eléctrica en instituciones educativas de Arequipa.

IV. METODOLOGÍA

Sabemos que cualquier instalación fotovoltaica con conexión a red genera un impacto ambiental.

Vamos a analizar que tanto influye y cuál es el factor determinante que impacta sobre el entorno.

Por otro lado, existe un marco legal así como institucional para las energías renovables del sector eléctrico que lo tocaremos durante el desarrollo de este capítulo.

4.1. Tipo de Investigación

En todo proyecto se deben contemplar todos los posibles riesgos inherentes a la obra y que puedan dañar a personas (obreros, técnicos, etc.), estos posibles riesgos son:

- ❖ Sobre esfuerzos y lesiones musculares.
- ❖ Quemaduras por contactos térmicos.
- ❖ Exposición a descargas eléctricas.
- ❖ Caída de objetos sobre personas.
- ❖ Heridas y/o quemaduras por el manejo de materiales.

También tenemos los riesgos específicos que aparecen con alguna actividad propia con el trabajo de montaje de equipo, estos son:

- Transporte de materiales. - Montaje de equipos.
- Excavación.

Medidas de prevención

Deben preverse de acuerdo a la Norma Técnica Peruana y a las Normas Técnicas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), para este tipo de proyectos se generan dos tipos de medidas: de prevención y protección ante posibles riesgos laborales tanto ocasionado por la obra o por los operarios encargados de ejecutarla.

Recojo de material para evitar tropiezos o accidentes de los trabajadores.

- Almacenamiento de material eléctrico en lugares apropiados y manejado por personal calificado.
- Las conexiones provisionales deben tener enchufes macho-hembra.
- Las herramientas a utilizar por el personal deben ser con material aislante.
- Los andamios o escaleras utilizados en obra o en inspecciones deben ser antideslizantes y con barandas y redes de protección.
- Los cascos de seguridad homologados, botas de protección, guantes y herramientas aislantes, gafas de protección y de soldadura, mascarillas de seguridad, arnés de seguridad deberán estar normados de acuerdo al NTP y al RNE.

Tabla 1. Programa de mantenimiento

		PLAN DE MANTENIMIENTO											
ACTIVIDADES		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	LIMPIEZA DE PANELES		02 días							02 días			
2	VERIFICACION DE CONDUCTORES		01 día							01 día			
3	VERIFICACION DE TERMINALES Y BORNERAS		01 día							01 día			
4	VERIFICACION DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE		02 días							02 días			
5	DIRECCIONAMIENTO Y UBICACIÓN DE PANELES		01 día							01 día			
6	VERIFICACION DE CARACT. ELECTRICAS DE CONDUCTORES		02 días							02 días			
7	LIMPIEZA Y VERIFICACION DE ELEMENTOS DE PROTECCION		01 día							01 día			
8	REVISION DE PROTOCOLOS DE PUESTA DE TIERRA		01 día							01 día			
9	VERIFICACION DE FUNCIONAMIENTO DE MEDIDOR BIDIRECCIONAL		01 día							01 día			
10	REVISION Y FUNCIONAMIENTO DE INVERSOR		01 día							01 día			
11	VERIFICACION DE ONDA, FRECUENCIA Y TENSION DEL INVERSOR		01 día							01 día			
12	REAJUSTE DE LA SOPORTERIA Y ANCLAJE		02 días							02 días			
13	MEDICION DE TENSION E INTENSIDAD DEL GENERADOR		01 día							01 día			
14	MEDICIONES DE PUESTA A TIERRA		01 día							01 día			
15	VERIFICACIONES DEL CABLEADO EN CAJA DE CONEXIONES		01 día							01 día			

	USUARIO
	SERV. TECNICO

Marco Institucional del sector eléctrico, estos son:

- Ministerio de Energía y Minas**, que es la institución que otorga las concesiones y establece la reglamentación del mercado.
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería** (OSINERMIN), que es la que establece las tarifas y compensaciones y asegura que se cumplan todo lo establecido por el MINEM.

El **Comité de Operación Económica del Sistema** (COES), es la institución que coordina, filtra y determina los pagos de los participantes, estos procedimientos son aprobados por OSINERGMIN.

Indica que el MINEM establecerá cada 5 años un porcentaje objetivo en que debe participar en el consumo nacional de electricidad, esta electricidad generada a partir de Recursos Energéticos Renovables

(RER), tal porcentaje objetivo será hasta 5% anual durante el primer quinquenio.

También le dan prioridad para el despacho de carga y acceso a las redes de Transmisión y Distribución, primas preferenciales en subastas (recargadas al peaje de transmisión), prioridad en conexión a redes, además de fondos para investigación y desarrollo.

Los criterios del marco regulatorio están basados en el porcentaje objetivo establecidos por el MINEM; así como los incentivos ofrecidos, garantías y tarifa base que son puntos importantes para una instalación conectada a la red pública, sabiendo que habrá una retribución económica.

4.2 Diseño de la Investigación

Recordemos que un sistema fotovoltaico conectado a red no es sino el *“...conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que captan y transforman la energía solar disponible transformándola en utilizable como energía eléctrica...”* (Colmenar, 2013).

Un sistema conectado a la red se compone fundamentalmente de los módulos fotovoltaicos (generador eléctrico) y el inversor que convierte la corriente continua de los paneles en alterna y la inyecta a la red; dado que los módulos fotovoltaicos son dispositivos de alta fiabilidad, el elemento que requiere más atención técnica es el inversor y como la fuente solar no va a fallar, el riesgo se centra en un mal diseño para lo cual es fundamental contar con gente especializada del conjunto de aspectos que rodea esta tecnología fotovoltaica.

4.3 Población y muestra

La ubicación de la Institución Educativa ASPERSUD, objeto de estudio de este proyecto final, está ubicado en el distrito de Arequipa, uno de los 29 distritos de la provincia de Arequipa. Éste distrito está ubicado en el centro histórico de la misma ciudad de Arequipa, sus coordenadas geográficas son:

Latitud 16° 24'07" S. Longitud: 71°32'20" O. Altura: 2487 msnm.

Su clima es entre templado y frío, sus áreas verdes le dan una característica de microclima con ambientes frescos, en las noches el cambio de temperatura es brusco y descendente.

- Temperatura anual: 13,1 °C.
- Temperatura mínima (invierno): 2,4 °C.
- Temperatura máxima (verano): 23,4 °C.
- Humedad: La falta de humedad en el ambiente acrecienta el calor y el asoleamiento.
- Vientos: se desplazan en sentido Noreste en el día, a una velocidad de 13 km/h.

Localización de la instalación:

El predio está ubicado en la Calle Paucarpata 326, sus coordenadas geográficas son:

Latitud: 16°24'22.25" S

Longitud: 71°31'33.76" O

Altura: 2359msnm

La instalación se implementará sobre el techo del Edificio principal de la Institución. Las dimensiones del techo donde se instalarán los paneles son: 39m x 10.80m, por cada techo inclinado, lo que proporciona una superficie parcial de 421.20 m².



Figura 3. Vista de planta de la institución educativa
Fuente: Google Earth (2015)



Figura 4. Vista principal de la institución educativa
Fuente: elaborado por Gil Astete Amilcar (2014)



Figura 5. Vista de elevación lateral este
Fuente: elaborado por Gil Astete Amilcar (2014)



Figura 6. Vista de elevación lateral oeste
Fuente: elaborado por Gil Astete Amilcar (2014)

Irradiación solar

Para poder evaluar y calcular el generador fotovoltaico del proyecto en Arequipa debemos conocer la cantidad de energía disponible que recibimos en KWh/m^2 , esto se conoce como irradiación, término que se usa para determinar la cantidad de energía que se capta en un área y tiempo, la cantidad de radiación solar que cae en una superficie.

Tengamos en cuenta que la radiación del Sol es emitida en todas las longitudes de onda no existen valores únicos de irradiación, ya que la distancia entre la Tierra y el Sol no es constante por la trayectoria elíptica de la Tierra-Sol.

Si entendemos que un panel fotovoltaico (posición horizontal) puede recibir una irradiancia directa de aproximadamente 1000 w/m^2 , en condiciones de

un día claro, a nivel del mar, con sol radiante a medio día, por convención se considera como pico de irradiancia al valor de 1000 w/m^2 ; esta unidad es llamada hora solar pico, y es muy usada en el campo de la energía solar fotovoltaica y es muy importante su entendimiento, especialmente si hubieran aplicaciones en zonas rurales.

Ubicación privilegiada en América Latina, Perú y Arequipa

Gracias a nuestras coordenadas geográficas América Latina será uno de los grandes líderes en el desarrollo fotovoltaico para la próxima década según la Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica (EPIA), aunque para lograrlo tiene que:

- Mejorar el suministro de energía, sobre todo a la población donde no llegará la electricidad.
- Reducir el consumo necesario con sistemas más eficientes, con programas de ahorro de energía.

Perú, Uruguay, Chile, México, Brasil y Ecuador, se están convirtiendo líderes en América Latina y el Caribe, para el uso de energías limpias sobre todo fotovoltaicas.

Perú, en la zona de Tacna (Alto Alianza) donde se desarrolla el mayor parque fotovoltaico que inyectará energía a la red.

4.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Se pueden clasificar las aplicaciones en estos cuatro grupos:

❖ ***Conexión a la red de distribución o Sistema on- grid.***

Éste es el modelo que se busca actualmente en la generación y distribución de energía eléctrica. La idea básica es producir cerca de donde se va a consumir la energía de manera que se ahorren pérdidas por transporte. Esto supone la instalación de mini centrales (comparadas con las grandes nucleares o hidráulicas) como **la de este proyecto en Arequipa.**

La electricidad generada, generalmente cerca de núcleos urbanos, se vierte a la red de baja o media tensión de manera que se consume en los alrededores.

❖ ***Conexión a red centralizada***

En este caso se trata de grandes huertos solares que vierten su producción a la red de media o alta tensión, tal y como ocurre con las centrales productoras tradicionales.

❖ ***Domésticas sin acceso a red***

Partiendo de la base de que más de 1.900 millones de personas viven sin acceso a la red eléctrica en el mundo, no cabe duda de que ésta es una aplicación que hace de la fotovoltaica una tecnología muy a tener en cuenta; permite suministrar electricidad en zonas rurales o regiones subdesarrolladas.

❖ ***No domésticas sin acceso a red***

Ésta se refiere a aplicaciones puntuales que requieren de electricidad para funcionar un largo periodo de tiempo pero que no disponen de acceso a la red eléctrica. Un ejemplo de esta aplicación son las estaciones meteorológicas.

Una característica fundamental de los generadores fotovoltaicos que los diferencia de otras fuentes de energía renovable es que, como es lógico, sólo producen electricidad cuando reciben la luz del Sol (irradiación solar) y además la cantidad de energía que generan es directamente proporcional a la irradiación que incide sobre su superficie. Resulta evidente que en numerosas aplicaciones el consumo energético se produce independientemente de la radiación solar o incluso de forma inversamente proporcional, como es el caso de los sistemas de iluminación. En este tipo de aplicaciones podría ser necesario incluir un sistema de almacenamiento energético o de acumulación, normalmente baterías.

En otras aplicaciones, como el bombeo de agua o los sistemas conectados a red, éstas no son necesarias puesto que la energía se acumula en forma de energía hidráulica o se reparte por la red.

❖ **Componentes principales**

Dentro de una instalación de estas características se tienen equipos o dispositivos importantes para la transformación de radiación solar en energía eléctrica.

Todos los elementos y accesorios a utilizar en este tipo de sistema conectado a la red deben cumplir con lo que dicta el reglamento electrotécnico de baja tensión para la protección de instalaciones eléctricas frente a cortocircuitos y sobre tensiones.

❖ **Paneles *fotovoltaicos***

Son módulos (paneles) fotovoltaicos que están formados por células solares encapsuladas entre materiales que las protegen contra los efectos de la intemperie y son las encargadas de captar la energía procedente del Sol en forma de radiación solar y transformarla en energía eléctrica por el efecto fotovoltaico.



Figura 7. Sección de un panel fotovoltaico

Fuente: (Calero, 2013)

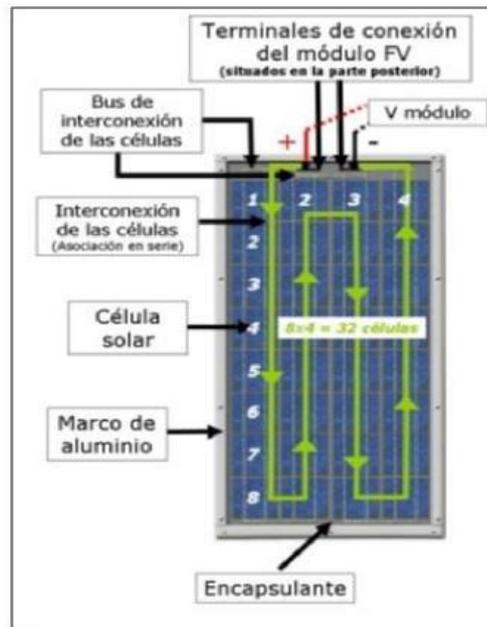


Figura 8. Partes de un módulo fotovoltaico
Fuente: (Luque, 1995)

Si bien existen diversos tipos de paneles solares en el mercado en función al tipo de célula solar hemos seleccionado el tipo silicio monocristalino que son un poco más caros pero son los más eficientes en cuanto a rendimiento; estos paneles fotovoltaicos seleccionados están agrupados en serie que hará que aumente la tensión de salida, en este caso será 24v. Por otro lado, se conectarán los grupos en paralelo, para aumentar la corriente eléctrica, la eficiencia de los paneles serán del orden de 16% y su vida nominal es de 20 años aproximadamente.

Los paneles en consideración estarán ubicados sobre el techo del edificio principal; **serán del tipo silicio monocristalino de 200Wp/24v modelo CHI – 200W**; cada panel fotovoltaico es de silicio integrado revestido por

un vidrio texturado y con una eficiencia del 16,2% en cuanto a captación de radiación solar.

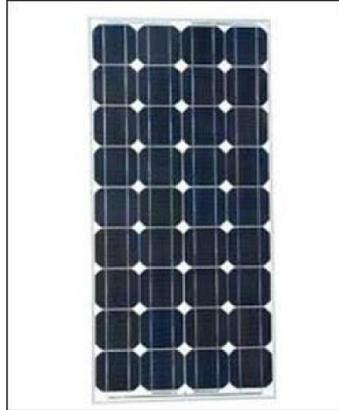


Figura 9. Panel fotovoltaico monocristalino

Fuente: (Alcor, 2008)

El rendimiento de los paneles está en función de la temperatura, vale decir que conforme aumente la temperatura, su rendimiento disminuye; las curvas de operación están calculadas para una irradiancia de 1000 W/m².

Adjuntamos curvas de rendimiento del panel CHI 200 Wp:

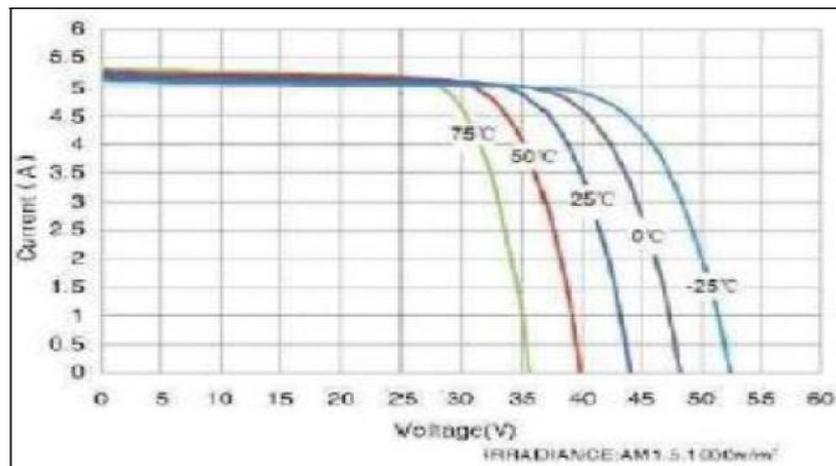


Figura 10. Curvas de rendimiento

Fuente: (LUMISOLAR)

❖ **Inversor**

El inversor es aquel elemento que convierte la energía de corriente continua que viene del panel fotovoltaico en corriente alterna establecida por la red (en nuestro proyecto 220v – 60 Hz). Si bien, todo inversor lleva una serie de partes internas como son el control principal, control de red, sistema de seguridad ante tensiones de red fuera de los márgenes, protecciones contra daño a personas, etc. Lo que se debe considerar como esencial son los parámetros de trabajo: tensión nominal, potencia nominal, potencia activa, factor de potencia, eficiencia, distorsión de armónicos, etc. Otra de las características que se deben tomar en cuenta para los inversores en una instalación conectada a la red es la potencia nominal, ya que se deben distinguir los inversores que tienen una potencia nominal no mayor a 5 Kw, en cuyo caso debe ser conexión monofásica. De ser mayores a 5kW, sería una conexión trifásica. Para nuestro caso estamos hablando de un **(01) inversor modelo INGECON SUN 25** trifásico para una potencia máxima del generador fotovoltaico (126 paneles) de 25.2 Kw; una acotación es que puede realizarse si fuese necesario una conexión trifásica con conexión en paralelo de inversores monofásicos.

Para no tener problemas con la conexión a la red eléctrica se debe buscar una onda senoidal pura del inversor que sea casi idéntica al de la red.

Son del tipo adecuado para la conexión a la red eléctrica, con una potencia de entrada variable para que sean capaces de extraer en todo momento, la máxima potencia que el generador fotovoltaico, con la radiación solar existente, puedan proporcionar. Los inversores que se utilizan en instalaciones conectadas a red, son específicos, puesto que deberán asegurar el seguimiento de los valores de tensión y frecuencia de la red de distribución a la que están conectados. (Méndez, 2012)

Las funciones principales de los inversores son: inversión DC/AC, modulación de la onda alterna de salida y regulación del valor eficaz de la tensión de salida. También se encargan de seguir el punto de máxima potencia de los módulos fotovoltaicos, optimizando la producción.

Los inversores más comunes pueden ser monofásicos o trifásicos a 50/60 Hz, para nuestro caso se suministraran en 50/60Hz, con diferentes voltajes nominales de entrada y con un amplio rango de potencias disponibles. Los más avanzados son los denominados de

onda senoidal, que tienen un cuidadoso filtrado de la señal generada, y son aptos para verter la energía en la red. Esto se debe a que el inversor ha de operar dentro de unos márgenes de tensión y frecuencia de salida determinados, así como no producir distorsión armónica de la onda de tensión de la red. En cuanto a la distorsión armónica de la onda de corriente inyectada a la red, ha de cumplir con la normativa vigente que requiere una distorsión armónica de la onda de corriente del 5% para una distorsión armónica de la onda de tensión del 2%. Esto se cumple fácilmente cuando se trabaja por encima del 20% de la potencia nominal del inversor. Otros requerimientos se refieren al aislamiento galvánico entre la red y la instalación fotovoltaica (conseguido generalmente mediante la utilización de transformadores de alta frecuencia) o a la necesidad de impedir que se inyecte corriente continua a la red, que causaría numerosos problemas.

Su facilidad de utilización, nulo mantenimiento y bajo nivel sonoro los hace muy adecuados tanto en entornos domésticos como industriales. Este inversor dispone de un sistema de control que le permite un funcionamiento completamente automatizado. Durante los periodos nocturnos el inversor permanece parado vigilando los valores de tensión de la red y del generador fotovoltaico. Al amanecer, la tensión del generador aumenta, lo que pone en

funcionamiento el inversor, que comienza a inyectar corriente en la red.

Están protegidos frente a situaciones como:

- Situaciones anómalas en la red eléctrica.
- Frecuencia de red fuera de los límites de trabajo.
- Temperatura del inversor elevada.
- Tensión del generador fotovoltaico baja.
- Intensidad del generador fotovoltaico insuficiente.
- Polarización inversa.
- Sobretensiones transitorias en la entrada y la salida.
- Cortocircuitos y sobrecargas en la salida.



Figura 11. Inversor Ingeteam
Fuente: (Ingeteam, 2015)

V. RESULTADOS

Este proyecto consiste en el diseño de un generador fotovoltaico de potencia: **25 Kw**, situada en la cubierta del techo principal de un centro educativo, ya existente. El cometido de dicha instalación es la de complementar el 33.67% del total de la demanda máxima actual y que es de **74.25Kw**; el suministro requerido a través de esta solución con energías renovables se determinará la viabilidad de esta instalación, con las presentes condiciones tecnológicas y económicas.

ALCANCE DEL PROYECTO

Se estudia el caso concreto del **Instituto Educativo en la ciudad de Arequipa**, con características constructivas que la hacen idónea para este tipo de instalación.

Se analizarán cada uno de los siguientes aspectos:

- Cuadro de cargas y cálculo de la demanda máxima.
- Diseño y dimensionamiento del Generador Fotovoltaico
- Cálculo del número de paneles solares.
- Estudio Energético :
 - Parámetros del lugar geográfico - Irradiación Solar
 - Pérdidas del Sistema fotovoltaico - Producción de Energía Anual
- Los componentes de la instalación.

- El cálculo eléctrico (memoria de cálculo, esquema eléctrico, cableado, etc.)
- La distribución física de los elementos.

Se trata, por tanto, de estudiar la realidad de los proyectos de energía fotovoltaica desde el caso concreto de esta solución sobre el techo del Edificio principal del Instituto Educativo en Arequipa.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN

La instalación del generador fotovoltaico estará ubicado en el techo del edificio principal, estará formado por 126 paneles de silicio monocristalino de 200Wp / 24 v, modelo **CHI-200W/24V** de LUMISOLAR (**YINGLI SOLAR**) con una potencia máxima de 25.20 KW.

Todos los módulos se instalarán sobre una estructura metálica, la instalación eléctrica tendrá 6 ramales conectados en paralelo y a su vez formado por 21 paneles conectados en serie cada uno.

El inversor escogido por sus características es de la marca **INGETEM** modelo **INGECON SUN 25** con una potencia nominal de 25KW encargado de convertir la corriente continua a alterna, este se instalará en el ático que es un ambiente situado debajo del generador fotovoltaico.

Todo el sistema llevará sus protecciones correspondientes hasta la conexión a la red donde finalmente se hará la conexión, esta se realizará a través del transformador existente en las instalaciones del instituto.

La solución fotovoltaica estará situada en la ciudad de Arequipa, sobre el techo del edificio principal de un Instituto Educativo localizado en la calle Paucarpata N° 326.

Las coordenadas exactas para la ubicación de los paneles son:

- Latitud $16^{\circ} 24' 22.25''$ S
- Longitud $71^{\circ} 31' 33.76''$ O - Altura: 2,359 msnm



Figura 12. Vista de planta

Tabla 2. Cuadro de cargas y cálculo de la demanda máxima

CUADRO DE CARGAS TOTAL				
INSTITUTO EDUCATIVO ASPERSUD AREQUIPA				
AREA TOTAL DE LA EDIFICACION		4623.00	m2	
AREA CONSTRUIDA 1° Y 2° NIVEL		2414.67	m2	
AREA LIBRE		3390.03	m2	
REGLA	DESCRIPCION	CARGA INSTALADA (W)	FACTOR DE DEMANDA	DEMANDA MAXIMA (W)
1.0 CARGA BASICA				
050-204	Carga Básica de Aulas 50w/m2	61600.00		
	Carga del Area Restante 10w/m2	45720.30		
	SUB TOTAL	107320.30		
2.0 CARGAS ESPECIALES Y DE FUERZA				
050-204 ©	Cargas de Alumbrado Especial	5000.00		
	Ventiladores	4800.00		
	Bomba de Drenaje	4500.00		
	Bomba de consumo	1500.00		
	Electrobombas de Agua 2(7.5 Hp)	1200.00		
	Central de Alarmas	500.00		
	Equipos de Computo	1000.00		
	Equipos de <u>Proyeccion</u>	2000.00		
	Equipos de sonido	2500.00		
	Reserva	5000.00		
	SUB TOTAL	28000.00		
	CARGA TOTAL	135320.30		
050-204-(b)	FACTORES DE DEMANDA			
	Carga Total menos cargas de calefacción	135320.30		
	Calculo de la carga por metro cuadrado (w/m2)	29.27		
	Carga Para los primeros 900 m2	19757.99	75%	
	Carga Para el <u>area</u> restante del Edificio	54488.15	50%	
	TOTAL	135320.30		74246.15

(*) CODIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD-UTILIZACION SECCION 050-204

Conforme lo hemos mencionado al generar este ahorro del 33.67% en la demanda máxima nos permitirá abastecer la demanda de las cargas de iluminación en la edificación, ya que el consumo en iluminación representa más del 40% de su facturación, este consumo constituye una carga permanente y continua durante el ciclo de 24 horas del día (adjuntamos recibo por consumo de energía)



Figura 13. Recibo de facturación mes – julio 2015
 Fuente (Seal, 2013)

DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO

De acuerdo con el área disponible de la cubierta solar y los datos técnicos del panel seleccionado, podemos determinar la potencia del generador solar.

- Área total de la cubierta solar : 421.20m²
- Área unitaria del panel fotovoltaico : 1,2764m²
- Potencia máxima por modulo : 200w
- Potencia nominal de la instalación : 25Kw.

CÁLCULO DEL NÚMERO DE PANELES SOLARES

No olvidarse que no es lo mismo encontrar la cantidad de paneles que se pueden considerar como máximo con un área determinada y otro es conocer la cantidad adecuada de paneles que conformarán el generador fotovoltaico y eso lo determina principalmente el consumo en Kw que se estima._

Si tenemos que la cubierta solar proyectada es de 421.20m² y el área de cada panel de 200 Wp es de 1.27 m² (1.58 x 0.808) m²

Para cubrir la potencia de 25Kw requerimos calcular el número de paneles fotovoltaicos necesarios:

Con el número de paneles que se conectaran al inversor necesitamos ahora saber su disposición, verificando las especificaciones técnicas del inversor seleccionado que detalla y limita el número de paneles que se pueden disponer en serie, de este modelo la tensión de cada ramal está dentro del rango de especificaciones del inversor.

El arreglo del generador fotovoltaico vendrá conformado por:

N° Paneles en Serie : 21 unid.

N° Ramales en paralelo : 06 unid.

N° total de paneles : 126 unid.

Del arreglo se conectaran al inversor 06 ramales en paralelo compuestos cada una de 21 módulos en serie; por lo tanto la instalación tendrá una potencia pico instalada de 25.20Kw y una potencia nominal de 25.00Kw.

INCLINACIÓN DE LOS PANELES

Para poder determinar la inclinación de los paneles debemos aplicar la ecuación óptima anual para buscar el ángulo ideal de tal manera que puedan recibir la mayor incidencia de los rayos solares sobre cada panel, para hallar ese ángulo debemos considerar:

- Ángulo óptimo = $3.7 + 0.69 \times \text{latitud del lugar}$
- La latitud corresponde a $16^\circ 24' 22.25''$

Se debe partir transformando a grados: $(22.25'') / 60'' = 0.3708'$

Entonces tenemos $24' + 0.3708' = 24.3708'$

Siguiendo con el mismo criterio: $(24.3708') / 60' = 0.40618^\circ$

Luego $16^\circ + 0.40618^\circ = 16.40618^\circ$

Reemplazando en la ecuación inicial:

Ángulo óptimo = $3.7 + 0.69 (16.4018^\circ)$

$$= 3.7 + 11.068$$

$$= 14.768^\circ \text{ que equivale a } 15^\circ$$



Figura 16. Ángulo de inclinación del panel

El ángulo de inclinación obtenido es el resultado tomando en cuenta la latitud, estos paneles estarán ubicados en el techo que tiene un ángulo propio de inclinación, de 18° . Por lo tanto, nuestra inclinación en el techo será de 12° adicionales ya que hemos considerado un azimut de 0° y una inclinación de 30° mejorando la captación de energía solar en los paneles. Adjuntamos la figura correspondiente:

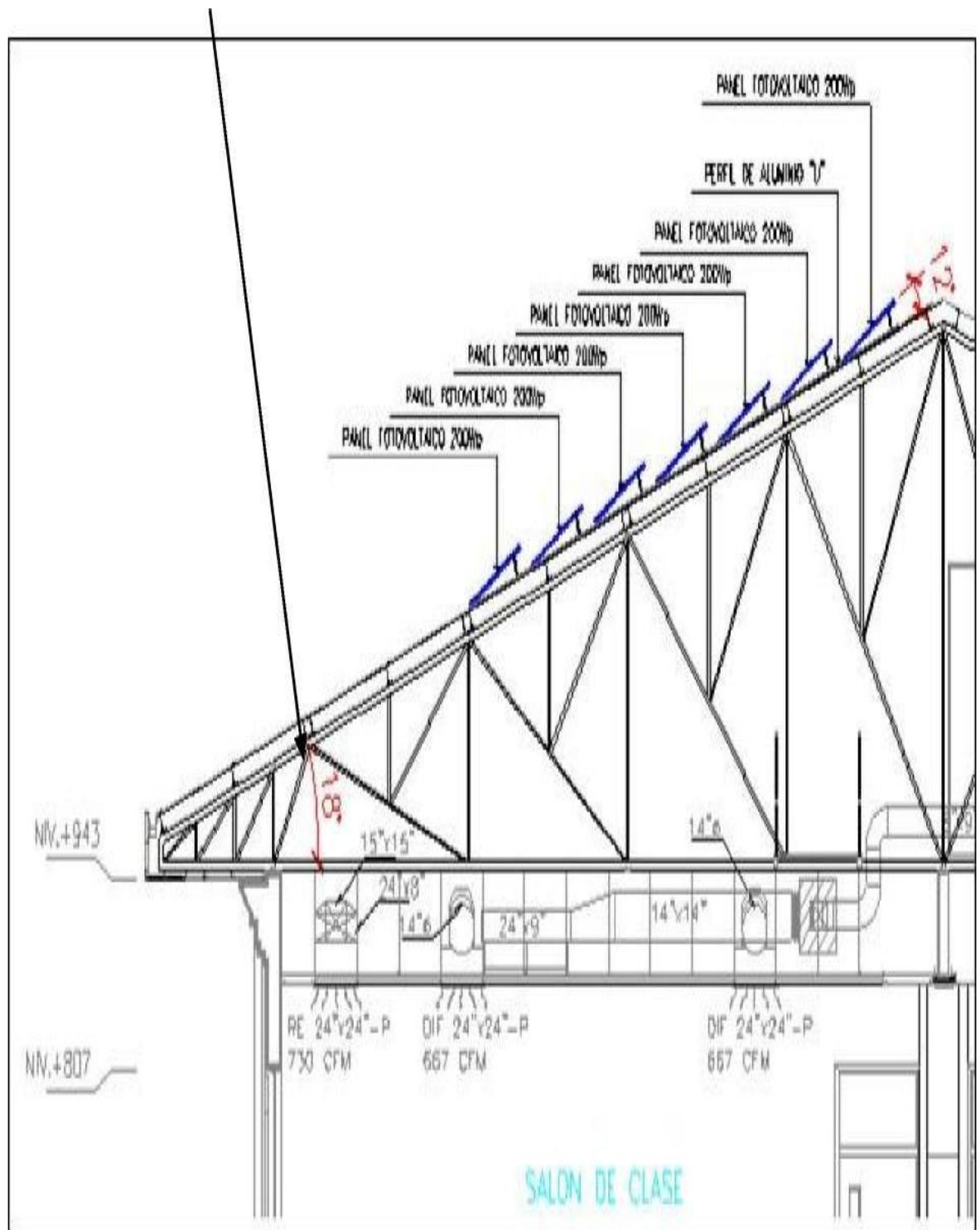
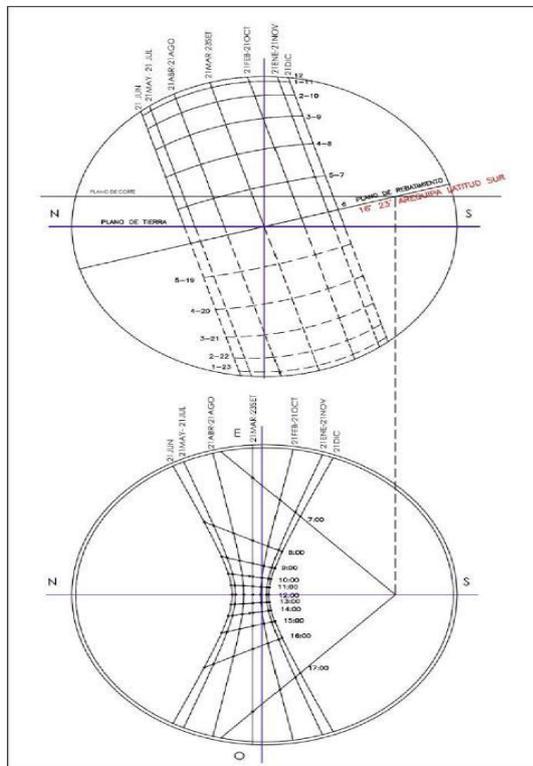


Figura 17. Ángulo propio de inclinación del techo

PROYECCIÓN GNOMÓNICA

La Proyección Gnomónica, permite conocer el comportamiento de la trayectoria de los rayos solares, en un determinado lugar, mes, día y hora, para el diseño, análisis y evaluación de sistemas y dispositivos de control, logrando efectos directos de calentamiento, enfriamiento, iluminación natural y aprovechamiento de la energía solar.

Un indicador gnomónico es en realidad un reloj solar, pero en lugar de ser utilizado para medir o leer el tiempo, éste se emplea para reproducir la posición celeste del sol que colocado sobre un punto de referencia puede señalar una dirección predeterminada de los rayos solares y esto nos permite estudiar las sombras proyectadas.



La Latitud Sur de Arequipa ($16^{\circ}23'$), es determinante para hallar la trayectoria solar, desde las 7 horas a 17 horas y días de cada mes según el solsticio y equinoccio en el hemisferio sur.

El solsticio de verano (21 de diciembre), el solsticio de invierno (21 de junio) y los equinoccios de primavera (23 de setiembre) y otoño (21 de marzo).

Figura 18.
Gráfico de la proyección gnomónica – Arequipa latitud sur **$16^{\circ}23'$**

Para hallar el ángulo de las sombras, se ubica la hora y mes a medir y se proyecta una línea hacia el meridiano, para el 21 de diciembre a 9 horas

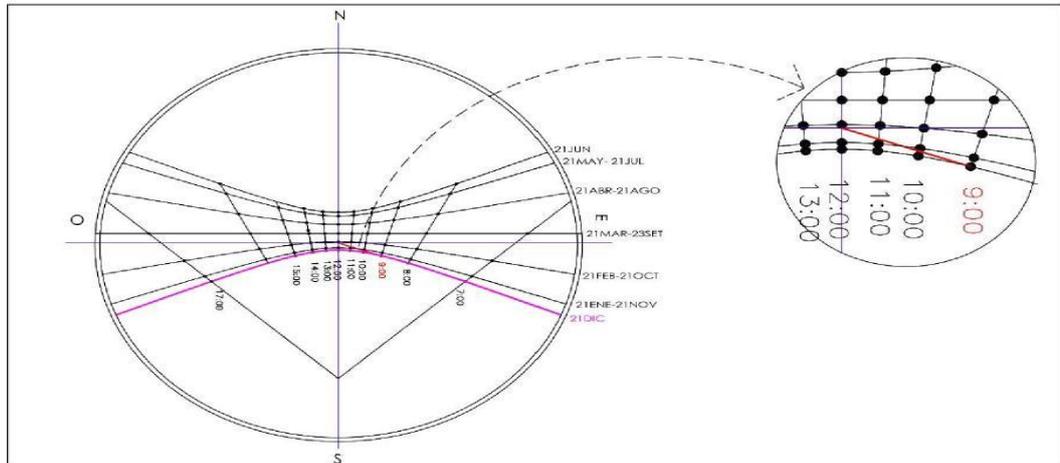


Figura 19. Gráfico de la proyección gnomónica – ángulo de proyección de la sombra 21 de diciembre – 9 horas

Luego se lleva la proyección a la planta, es importante hacer coincidir en ambos Gráficos la dirección del norte.

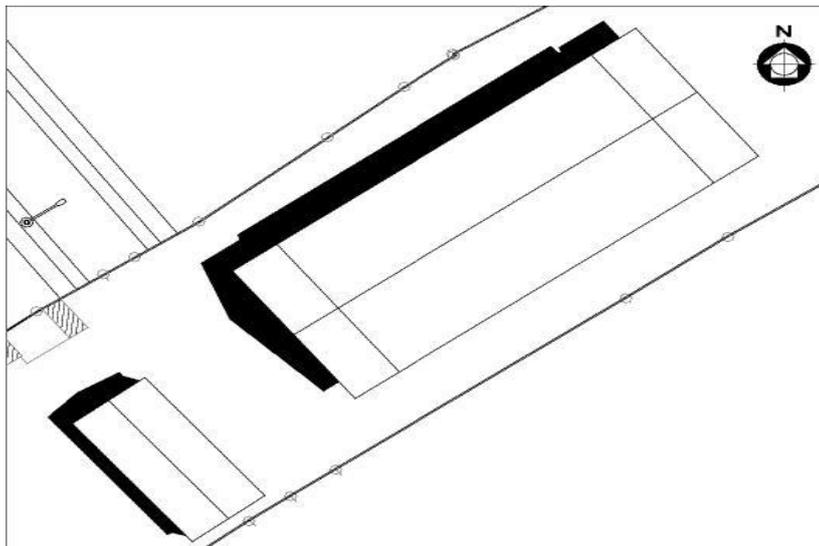


Figura 20. Plano en – ángulo de proyección de la sombra 21 de diciembre – 9 horas

Si bien podemos simular los ángulos de horas, días y meses determinados mediante el gráfico de la proyección gnomónica, también podemos emplear el diversos softwares tales como: AutoCAD, 3dmax y Sketch up, este último, es un programa más dedicado a la arquitectura y diseño de volúmenes y en este caso muy útil en el **estudio de sombras** que se proyectan sobre una superficie ya sea originados por la propia instalación como instalaciones cercanas , permite insertar la imagen satelital, extraída del Google Earth mediante la función de geolocalización (Ver Figura 5.7), para construir los volúmenes (Ver Figura 5.8), y ver el recorrido solar durante las diferentes horas del día y en distintos meses, cabe resaltar, que se debe conocer el UTC (Coordenadas universales del tiempo) para insertarlo en el software, al Perú le pertenece la zona horaria -05. (Ver Figura 5.9).

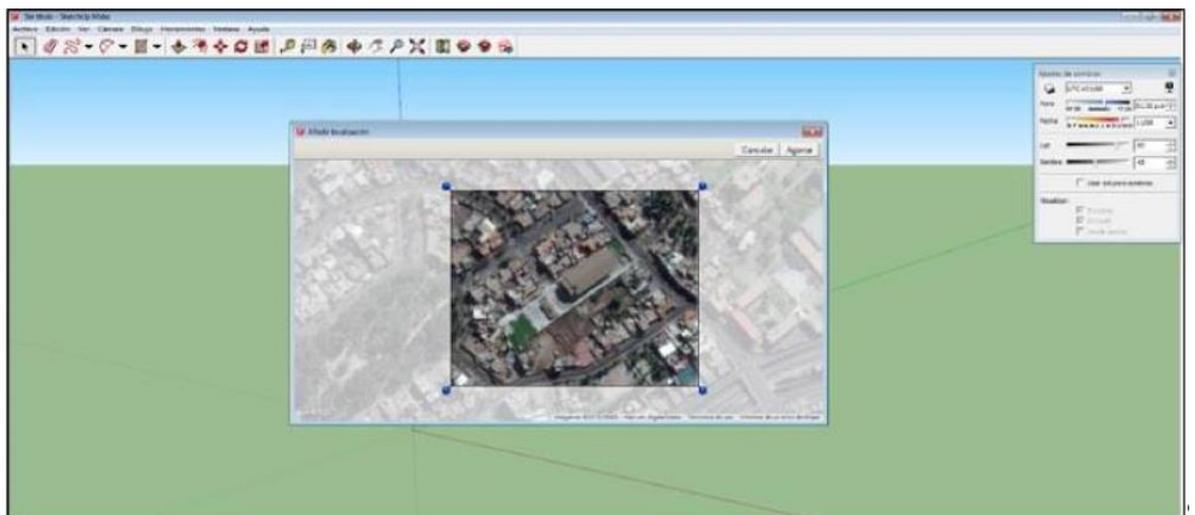


Figura 21. Software Sketch up, geolocalización.



Figura 22. Software Sketch up, volúmenes.

Esta función permite, ubicar el UTC de la localidad (-05:00 para Perú), la hora, los meses y todos los días del año.

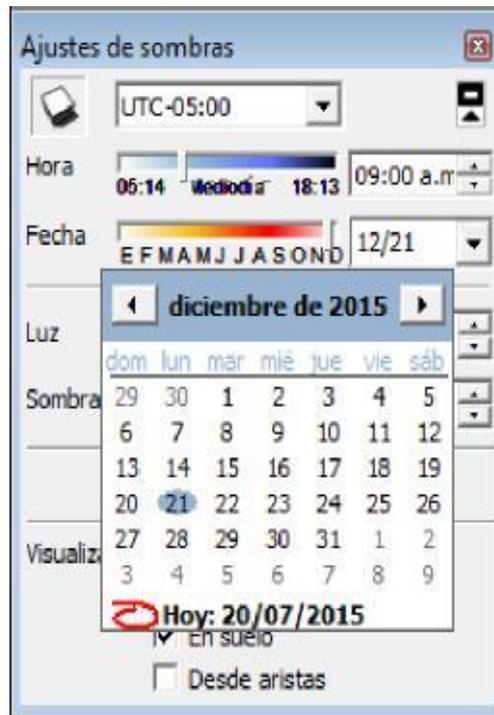


Figura 23. Software Sketch up, UTC, horas, días y meses.

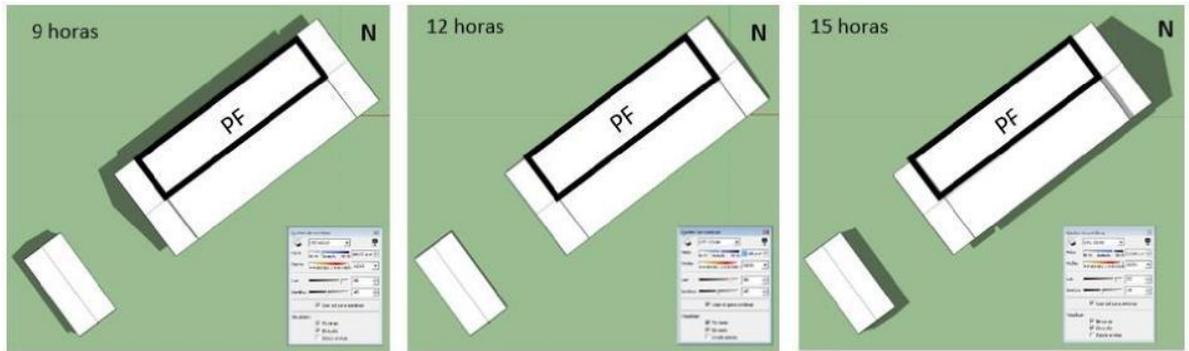


Figura 24. Sombras en el solsticio de verano (21 de diciembre)

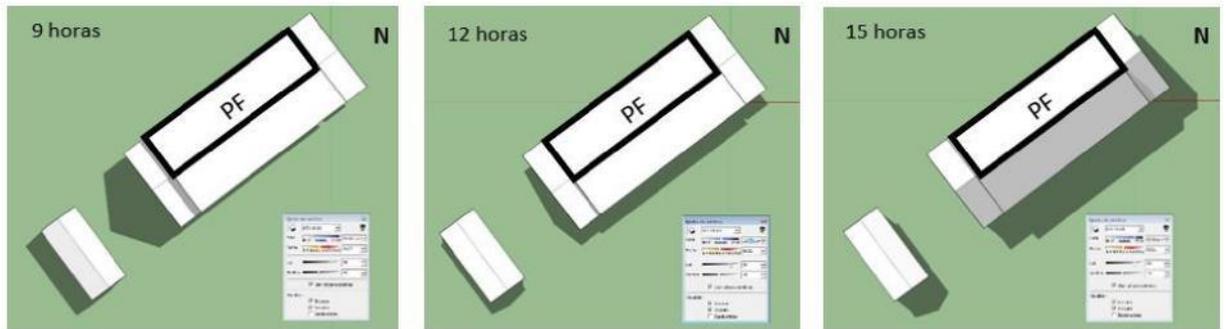


Figura 25. Sombras en el solsticio de invierno (21 de junio)

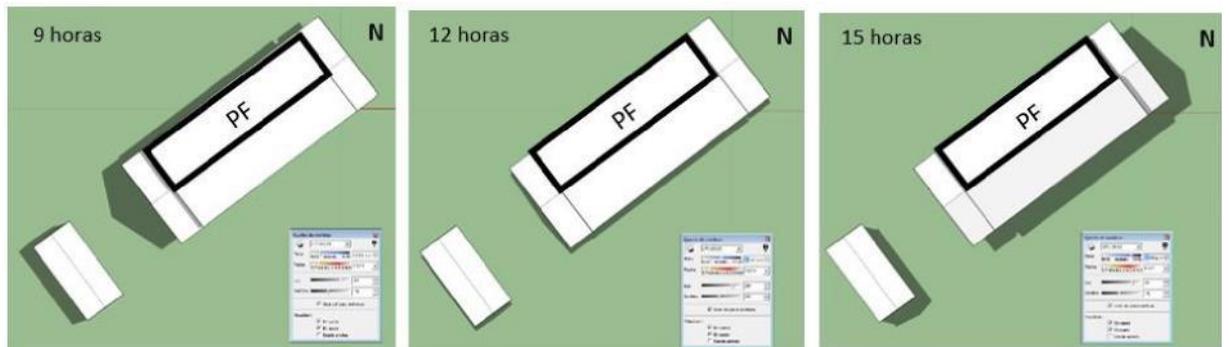


Figura 26. Sombras en el equinoccio de otoño (21 de marzo)



Figura 27. Sombras en el equinoccio de primavera (23 de setiembre)

Se concluye que en las fechas y horas de los solsticios y equinoccios, las sombras de ambos edificios no se cruzan, y el sol siempre cae sobre el techo del volumen donde se instalarían los paneles solares. Esto se comprueba con las fotos que a continuación se muestran dentro de las horas señaladas:



Figura 28. Indicador gnomónico 09:00 hrs
Fuente: elaborado por Gil Astete Amilcar (2014)



Figura 29. Indicador gnomónico 12:00 hrs
Fuente: elaborado por Gil Astete Amilcar



Figura 30. Indicador gnomónico 15:00 hrs
Fuente: elaborado por Gil Astete Amilcar (2014)

IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGÍA Y MEJORAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Partiendo que tenemos una instalación existente y en pleno funcionamiento, queremos añadir a la implementación del generador solar fotovoltaico, soluciones y medidas de ahorro de energía y mejorar de la eficiencia energética.

Actualmente se tiene un consumo en iluminación de casi 30 KWh/día repartidos de la siguiente manera:

1° Piso: 15.3 KWh

2° Piso: 12.6 KWh

Exterior: 1.9 KWh

El horario de estudios se desarrolla: Lunes a Viernes de 6:30 am a 4:45 pm
Martes a sábado de 6:30 am a 10 pm

El Instituto tiene un proyecto para mejorar la eficiencia energética de su iluminación cambiando la tecnología de fluorescencia (sistema existente) por leds, considerando este nuevo escenario tendríamos un nuevo cuadro de consumo:

1° Piso: 7.7 KWh, 2° Piso: 6.4 KWh, Exterior: 1.1 KWh

Teniendo un consumo de 14.1 KWh. Entre el 1° y 2° Piso, esta mejora adicional en consumo repercutirá directamente en el ahorro de su facturación que se podrá apreciar más adelante

Tabla 3. Tabla de consumo
CUADRO DE CONSUMO - ASPERSUD AREQUIPA

PRIMER PISO	PROPUESTA EXISTENTE				PROPUESTA NUEVA APROBADA			
	Luminaria	Cantidad	Potencia (W)	Consumo (KW)	Luminaria	Cantidad	Potencia (W)	Consumo (KW)
3 Aulas	Rejilla 3x36W	36	118	4.2	Splendor 2'x2' 60W Splendor 2'x1' 60W	36	60	2.2
Pasadizo 1	Rejilla 2x36W	18	77	1.4	Splendor 2'x2' 40W	18	40	0.7
Cenefa	Braquete 1x36W	31	41	1.3	Cinta led 14.4W/ml	8	72	0.6
Pasadizo 2	Downlight 2x26W	16	57	0.9	Downlight led Gala 30W	16	30	0.5
Salón	Rejilla 3x36W	14	118	1.7	Splendor 2'x2' 60W	14	60	0.8
Secretaria	Rejilla 3x36W	4	118	0.5	Splendor 2'x2' 60W	4	60	0.2
Oficinas	Rejilla 2x36W	4	77	0.3	Splendor 2'x2' 40W	4	40	0.2
Biblioteca	Rejilla 2x36W	4	77	0.3	Splendor 2'x2' 40W	4	40	0.2
Director	Rejilla 2x36W	4	77	0.3	Splendor 2'x2' 40W	4	40	0.2
S.S.H.H.	Rejilla 2x36W	6	77	0.5	Splendor 2'x2' 40W	6	40	0.2
	Spot dicroico 50W	4	65	0.3	Spot led 5.5W	4	5.5	0.02
Cuarto eléctrico	Rejilla 3x36W	2	118	0.2	Splendor 2'x2' 60W	2	60	0.1
Estaca	Rejilla 3x36W	19	118	2.2	Splendor 2'x2' 60W	19	60	1.1
	Rejilla 4x18W	2	77	0.2	Splendor 2'x2' 40W	2	40	0.1
	Rejilla 2x36W	6	77	0.5	Splendor 2'x2' 40W	6	40	0.2
Depósito 1	Rejilla 2x36W	2	77	0.2	Splendor 2'x2' 40W	2	40	0.1
Recibidor	Rejilla 2x36W	1	77	0.1	Splendor 2'x2' 40W	1	40	0.04
Depósito 2	Ahorrador 15W	3	15	0.05	Wallsocket led 7W	3	7	0.02
Libros	Rejilla 4x18W	1	77	0.1	Splendor 2'x2' 40W	1	40	0.04
S.S.H.H.	Downlight 32W	6	37	0.2	Downlight led Gala 22W	6	22	0.13
	Ahorrador 15W	3	15	0.05	Wallsocket led 7W	3	7	0.02
TOTAL				15.3				7.7

SEGUNDO PISO								
Descanso de escalera	Rejilla 2x36W	12	77	0.9	Splendor 2'x2' 40W	12	40	0.48
Pasadizo 1	Rejilla 2x36W	17	77	1.3	Splendor 2'x2' 40W	17	40	0.7
Pasadizo 2	Rejilla 2x36W	8	77	0.6	Splendor 2'x2' 40W	8	40	0.3
Cuarto de aseo	Rejilla 2x36W	3	77	0.2	Splendor 2'x2' 40W	3	40	0.1
S.S.H.H. (H)	Rejilla 2x36W	2	77	0.2	Splendor 2'x2' 40W	2	40	0.1
	Spot dicroico 50W	2	65	0.1	Spot led 5.5W	2	5.5	0.01
S.S.H.H. (M)	Rejilla 2x36W	2	77	0.2	Splendor 2'x2' 40W	2	40	0.1
	Spot dicroico 50W	2	65	0.1	Spot led 5.5W	2	5.5	0.01
Aula 6 y 7	Rejilla 3x36W	18	118	2.1	Splendor 2'x2' 60W	18	60	1.1
Aula 5 y 8	Rejilla 3x36W	24	118	2.8	Splendor 2'x2' 60W	24	60	1.4
Aula 4	Rejilla 3x36W	4	118	0.5	Splendor 2'x2' 60W	4	60	0.2
Aula 9	Rejilla 3x36W	6	118	0.7	Splendor 2'x2' 60W	6	60	0.4
Administración	Rejilla 2x36W	10	77	0.8	Splendor 2'x2' 40W	10	40	0.4
Cuarto variable	Rejilla 2x36W	4	77	0.3	Splendor 2'x2' 40W	4	40	0.2
Depósito	Rejilla 2x36W	1	77	0.1	Splendor 2'x2' 40W	1	40	0.04
Cuarto de aseo	Rejilla 2x36W	1	77	0.1	Splendor 2'x2' 40W	1	40	0.04
Depósito	Rejilla 2x36W	2	77	0.2	Splendor 2'x2' 40W	2	40	0.1
Ático	Rejilla 2x36W	19	77	1.5	Splendor 2'x2' 40W	19	40	0.8
TOTAL				12.6				6.4

EXTERIORES								
Depósito	Rejilla 2x36W	10	77	0.8	Splendor 2'x2' 40W	10	40	0.4
Transformador	Rejilla 2x36W	3	77	0.2	Splendor 2'x2' 40W	3	40	0.1
	Rejilla 1x36W	3	41	0.1	Splendor 2'x2' 40W	3	40	0.1
Cuarto de bombas	Rejilla 2x36W	5	77	0.4	Splendor 2'x2' 40W	5	40	0.2
Vigilancia	Rejilla 3x18W	6	64	0.4	Splendor 2'x2' 40W	6	40	0.2
				1.9				1.1

TOTAL 1er,2do piso y exteriores

29.8KW

15.2 KW

ESTUDIO ENERGÉTICO

Podremos apreciar el diseño de la instalación fotovoltaica y su influencia sobre los diferentes resultados que se obtendrán, para ello se utilizara el software PVSYST V. 6.39 que es un programa de simulación bastante completo, dentro de las pestañas de su aplicación nos permite crear un proyecto personalizado que para nuestro caso son los datos de la ubicación del predio Calle Paucarpata # 326, Arequipa, una vez ingresado todos los parámetros arroja los resultados como son la producción de energía anual, la irradiación global y difusa tanto diaria como mensual, los coeficientes de rendimiento del sistema, las pérdidas totales por el generador, por el inversor, etc y con estos valores podremos evaluar la viabilidad del proyecto y facilitar la toma de decisiones.

PARÁMETROS Y RESULTADOS

Utilizando el software PVSYST V. 6.39 pudimos especificar con las coordenadas tanto de latitud como longitud y altitud de la instalación la ubicación geográfica del Instituto Educativo sito en la Calle Paucarpata # 326.



Figura 31. Localización de la institución educativa Aspersud Fuente (PVSYST V 6.39, 2015)

La ciudad de Arequipa tiene una excelente irradiación diaria y con ello podemos determinar las **Irradiación global y difusa diaria promedio que es 6.78 y 1.62 (KWh/m²) respectivamente.**

Tabla 4. Irradiación global y difusa en KWh/m² día.

	Irrad. Global kWh/m ² .día	Difuso kWh/m ² .día	Temp. °C	VelViento m/s
Enero	7.40	2.41	14.9	2.70
Febrero	6.41	2.25	14.6	2.49
Marzo	6.47	1.90	14.9	2.49
Abril	6.52	1.55	14.9	2.59
Mayo	5.89	1.18	14.7	3.00
Junio	5.48	1.09	13.9	3.10
Julio	5.76	1.03	13.7	3.20
Agosto	6.49	1.24	14.8	3.20
Septiembre	7.33	1.38	15.0	3.10
Octubre	8.02	1.58	15.4	3.00
Noviembre	8.03	1.95	15.1	2.90
Diciembre	7.52	1.89	15.3	2.91
Año	6.78	1.62	14.8	2.9

Fuente (PVSYST V 6.39, 2015)

Igualmente hemos podido determinar la **Irradiación global y difusa mensual promedio 2,474 y 590.1 KWh/m² respectivamente.**

Tabla 5. Irradiación global y difusa en KWh/m² mensual.

	Irrad. Global kWh/m ² .mes	Difuso kWh/m ² .mes	Temp. °C	VelViento m/s
Enero	229.3	74.7	14.9	2.70
Febrero	179.6	63.0	14.6	2.49
Marzo	200.6	58.8	14.9	2.49
Abril	195.5	46.5	14.9	2.59
Mayo	182.5	36.7	14.7	3.00
Junio	164.5	32.8	13.9	3.10
Julio	178.6	31.9	13.7	3.20
Agosto	201.2	38.3	14.8	3.20
Septiembre	219.9	41.5	15.0	3.10
Octubre	248.5	49.0	15.4	3.00
Noviembre	240.8	58.4	15.1	2.90
Diciembre	233.0	58.5	15.3	2.91
Año	2474.0	590.1	14.8	2.9

Fuente (PVSYST V 6.39, 2015)

La **Irradiación global y difusa promedio es de 282.4 y 67.4 KWh/m² respectivamente.**

Tabla 6. Irradiación global y difusa en KWh/m².

	Irrad. Global W/m ²	Difuso W/m ²	Temp. °C	VelViento m/s
Enero	308.1	100.4	14.9	2.70
Febrero	267.2	93.7	14.6	2.49
Marzo	263.6	79.0	14.9	2.49
Abril	271.6	64.6	14.9	2.59
Mayo	245.3	49.3	14.7	3.00
Junio	228.5	45.6	13.9	3.10
Julio	240.0	42.9	13.7	3.20
Agosto	270.4	51.5	14.8	3.20
Septiembre	305.5	57.6	15.0	3.10
Octubre	334.0	85.9	15.4	3.00
Noviembre	334.5	81.1	15.1	2.90
Diciembre	313.2	78.7	15.3	2.91
Año	282.4	67.4	14.8	2.9

Fuente (PVSYST V 6.39, 2015)

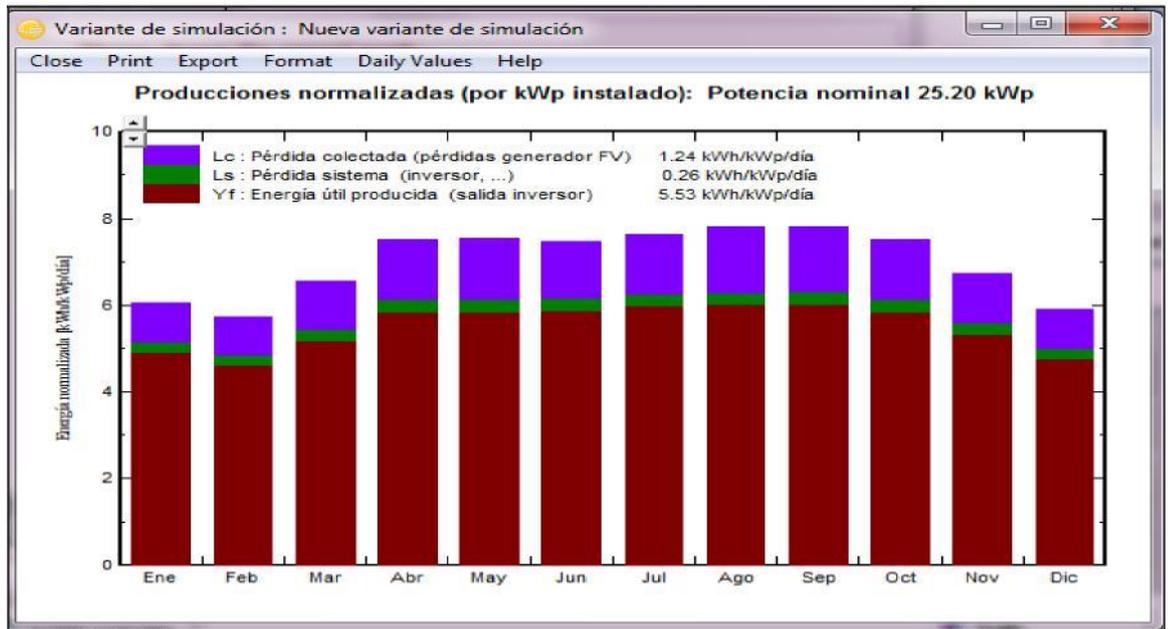


Figura 32. Pérdidas del sistema fotovoltaico
Fuente (PVSYST V 6.39, 2015)

Tabla 7. Coeficientes de rendimientos
Coeficientes de Rendimiento Normalizados

	Yr	Lc	Ya	Ls	Yf	Lcr	Lsr	PR
	kWh/m ² . día		kWh/kWp/d		kWh/kWp/d			
Enero	6.05	0.913	5.14	0.236	4.90	0.151	0.039	0.810
Febrero	5.73	0.874	4.86	0.228	4.63	0.152	0.040	0.808
Marzo	6.56	1.127	5.43	0.253	5.18	0.172	0.039	0.789
Abril	7.52	1.378	6.14	0.276	5.86	0.183	0.037	0.780
Mayo	7.55	1.418	6.13	0.277	5.85	0.188	0.037	0.775
Junio	7.48	1.308	6.17	0.276	5.89	0.175	0.037	0.788
Julio	7.64	1.379	6.26	0.281	5.98	0.180	0.037	0.783
Agosto	7.81	1.508	6.30	0.286	6.01	0.193	0.037	0.770
Septiembre	7.82	1.501	6.32	0.282	6.04	0.192	0.036	0.772
Octubre	7.52	1.382	6.13	0.278	5.86	0.184	0.037	0.779
Noviembre	6.74	1.136	5.60	0.266	5.33	0.169	0.040	0.792
Diciembre	5.90	0.903	5.00	0.236	4.76	0.153	0.040	0.807
Año	7.03	1.237	5.79	0.265	5.53	0.176	0.038	0.786

Fuente (PVSYST V 6.39, 2015)

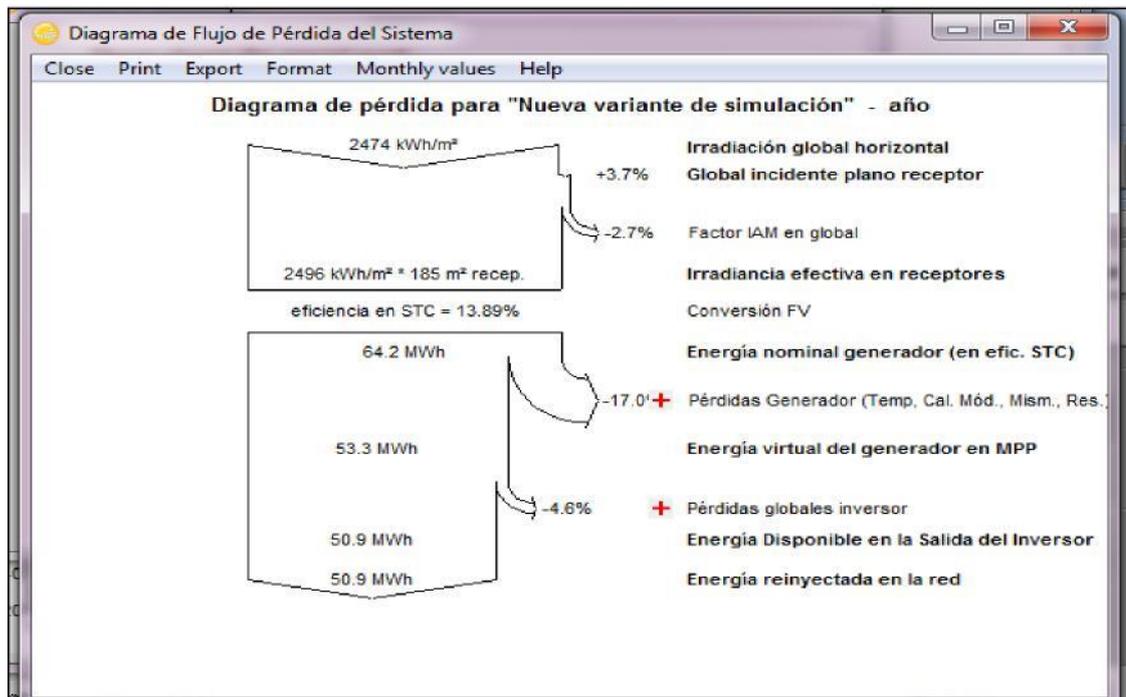


Figura 33. Diagrama de flujo de pérdidas del sistema
Fuente (PVSYST V 6.39, 2015)

COMPARACIÓN ENTRE CONSUMO ACTUAL Y PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

Con los resultados del programa PVSYST V 6.39 se tiene una cantidad de energía producida mensualmente y podemos realizar una comparación entre el consumo actual de la edificación versus la producción mensual de energía de nuestro sistema.

Del recibo por consumo de energía se aprecia: Consumo de energía total en el mes de Julio 2015: 7,650.66Kw que es el consumo en energía hora punta y fuera de punta. Por otro lado tenemos la Producción de energía Reinyectada a la Red: Producción de energía en el mes de Julio 2015: 4675Kw.

En conclusión podemos apreciar que la implementación del sistema solar fotovoltaico propuesto permitirá abastecer en promedio el 61% del consumo de energía actual del Instituto.

Por otro lado se obtendrá un ahorro y beneficio considerable pues solo se asumirá el pago del consumo diferencial que resulta un 38% del costo actual que la institución educativa asume. Debemos considerar que todo este beneficio se obtiene sabiendo que existe una potencia instalada en iluminación de 29.8 KW, según la tabla 5.2, con el nuevo proyecto a implementarse donde su potencia instalada bajaría a 15.2 KW, por cambio de tecnología, los beneficios indudablemente serán mayores.

DISEÑO ELÉCTRICO DE LA INSTALACIÓN

Tal y como se comentaba en la introducción a la energía fotovoltaica, al esquema básico de una planta habría que añadir las protecciones de corriente continua entre paneles e inversor y las de alterna entre inversor y conexión a red.

Los paneles fotovoltaicos producen electricidad en corriente continua a una tensión que no es constante. El inversor es el encargado de transformar a corriente alterna a la frecuencia de red, y una tensión de 230 V (trifásica). Después de esto y de las protecciones y contadores pertinentes, se conecta a la red de baja tensión.

SITUACIÓN DEL CABLEADO

Este apartado es especialmente importante a la hora de calcular las secciones de cable que se usarán en cada parte de la instalación, puesto que la caída de tensión depende de la longitud de cable.

En cuanto a la parte superior de la instalación, los cables van situados debajo de los paneles fotovoltaicos en zonas exteriores e interiores se utilizarán canalizaciones de tuberías tipo Conduit de F°G°, especialmente dispuestas para albergar estos cables.

Estos cables se agrupan todos a la altura de la cubierta del edificio principal y bajan por la pared para ingresar al interior del ambiente, una vez a la altura del suelo simplemente van hasta el inversor.

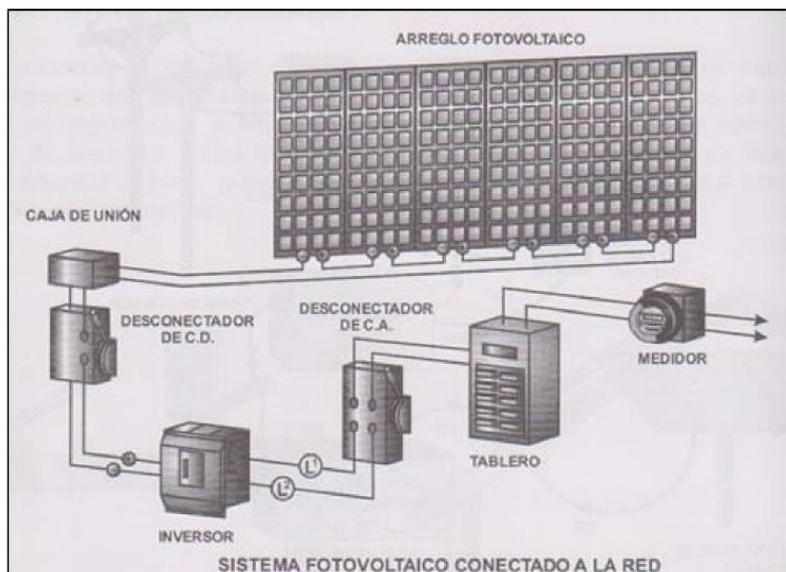


Figura 34. Esquema unifilar de un sistema fotovoltaico a red
Fuente (HARPER, 2014)

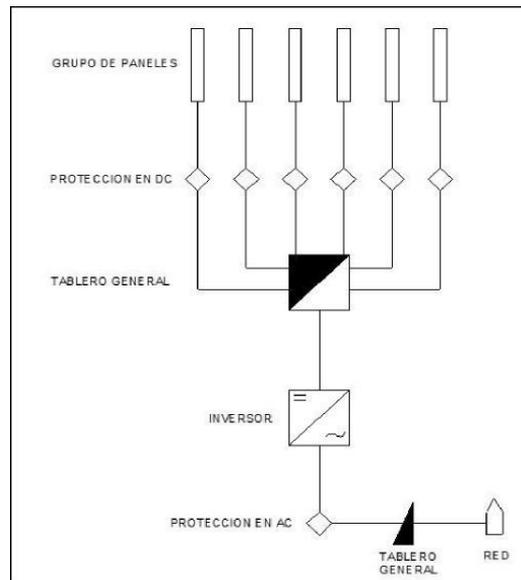


Figura 35. Esquema unifilar del proyecto de Arequipa

Modularidad de la instalación

Con esto se pretende aumentar la fiabilidad de la planta y reducir las pérdidas en caso de averías o mantenimientos. Por tanto, cuando haya que realizar operaciones de reparación o mantenimiento, bastará con desconectar la rama afectada de manera que la producción sólo disminuya un mínimo porcentaje.

Cumplir los parámetros de entrada al inversor optimizando su uso. Esto se conseguirá diseñando una configuración serie-paralelo de los paneles de manera que se cumplan las restricciones de tensión, corriente y potencia de los inversores.

Ramas equilibradas entre sí, para un funcionamiento más equilibrado de la instalación se ha hecho que todas las ramas tengan el mismo número de paneles.

Componentes eléctricos

A continuación se describen los componentes más importantes de la instalación eléctrica: paneles fotovoltaicos, inversores y protecciones.

- **Paneles fotovoltaicos**

Cada panel, o módulo, está formado por varias células fotovoltaicas unidas internamente y protegidas de la intemperie mediante diferentes capas de vidrio ultra transparente templado, encapsulante termoestable de EVA (etil-viniloacetato) alrededor de las células y aislante eléctrico y poliéster en la parte trasera. Su diseño y construcción les permiten tener una larga vida útil, estando garantizado el 80% de su potencia de salida los primeros 20 años.

Se utilizarán paneles de la marca **LUMISOLAR (YINGLI SOLAR)**, **modelo CHI 200wp-24v**, de células de silicio mono cristalino, que presenta un mayor rendimiento respecto de las poli cristalinas.

Los parámetros más importantes de estos son:

Modelo	CHI-200W
Potencia máxima	200 W
Tensión trabajo	24 V DC
Voltaje máximo V_{mp}	35,5 V dc
Corriente máxima I_{mp}	5,64 Amperes
Tensión circuito abierto V_{oc}	44,1 V dc
Corriente cortocircuito I_{sc}	7,72 amperes
Dimensiones	1580 x 808 x 40
Peso	20 Kgs

Figura 36. Parámetros fundamentales de los paneles.

La potencia pico, 200 Wp, es el parámetro usado a la hora de calcular cuántos paneles serán necesarios para aproximarnos a la producción de 25 Kw . Dicho valor se refiere a la potencia suministrada por el módulo en condiciones estándar de medida:

* Radiación solar= 1000 W/m²

* Temperatura del módulo= 25 °C

Por otro lado, los datos del punto de potencia máxima se usan para diseñar el circuito en condiciones nominales, aunque no conviene olvidar que los paneles pueden operar en un rango de tensiones y corrientes que viene dado por su curva de operación.

A continuación se muestra el tipo de paneles a instalarse:

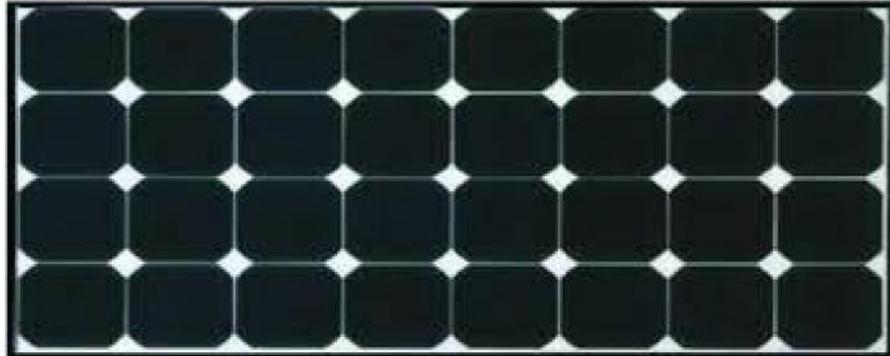


Figura 37. Panel monocristalino CHI 200 Wp – 24V

Puesto que esta instalación tendrá los paneles en una posición fija (en lugar de utilizar seguidores solares como es habitual en las instalaciones situadas en el suelo), se busca que tengan la orientación e inclinación adecuada para producir la máxima cantidad de energía posible. Está demostrado que en el hemisferio sur la orientación ideal es hacia el norte. En cuanto a la inclinación, el valor depende de la latitud y de la época del año en la que se quiera producir más electricidad.

CUADRO COMPARATIVO ENTRE PANELES

Debemos contemplar el tipo de panel fotovoltaico a utilizar entre los más comerciales que se ofrecen en el mercado, considerando las diferentes cualidades y prestaciones que se ofrecen. Adjuntamos un cuadro donde se podrán apreciar las diferencias y ventajas por el cual se decidió utilizar un panel de Silicio Monocristalino:

Tabla 8. Cuadro comparativo de paneles fotovoltaicos

	Monocristalino	Poli-cristalino	Amorfo	Teluro de Cadmio	Arseniuro de Galio
Rendimiento	13%-18%	12%-14%	8%	10%	27%
Costo	Elevado	Elevado<Mono	Bajo costo	Muy bajo costo	Demasiado elevado
Espesor	Grueso	Grueso	Delgado	Muy delgado	Delgado
Frecuencia en uso	Muy común	Muy común	Para ciertas aplicaciones	Poco común	Poco común
Performance en el tiempo	Bastante desarrollado	Bastante desarrollado	Bastante desarrollado	Mejor desarrollo En corto tiempo	Mejor rendimiento superior a todos en mediano tiempo
Fabricantes	Jinko Solar, GM, Trina	Panasonic, Mitsubishi,	Sharp, BSC, Bosch, Q-	First Solar, General	Semprius

Fuente: elaborado por Gil Astete, Amilcar Gustavo **4.7.2.2.**

Inversores

El inversor a utilizar es el modelo **INGECON SUN 25**, de la marca **INGETEAM**, de potencia nominal 25 Kw. Para este caso utilizaremos un (01) inversor, buscando cubrir la potencia proyectada.

Puesto que uno de los criterios seguidos en el diseño de este Generador es el de buscar interferir lo mínimo posible en el funcionamiento normal del centro educativo, el inversor irá situado en el ambiente debajo de la misma zona del Generador Fotovoltaico para a partir de ella salir el cableado hasta el ambiente del transformador en la parte baja del edificio.



Figura 38. Imagen del inversor
Fuente: (Ingeteam, 2015)

Los parámetros fundamentales del inversor **INGECON SUN 25** a utilizar en el sistema se describen en la siguiente tabla de características:

Tabla 9. Parámetros fundamentales del inversor **INGECON SUN 25**

Modelo	Ingecon® Sun 10	Ingecon® Sun 12.5	Ingecon® Sun 15	Ingecon® Sun 20	Ingecon® Sun 25	Ingecon® Sun 30
Valores de Entrada (DC)						
Rango de campo FV recomendado ⁽¹⁾	12 - 13 kWp	14 - 16 kWp	17 - 20 kWp	23 - 26 kWp	29 - 33 kWp	35 - 39 kWp
Rango de tensión MPP	405 - 750 V	405 - 750 V	405 - 750 V	405 - 750 V	405 - 750 V	405 - 750 V
Tensión máxima DC ⁽²⁾	900 V	900 V	900 V	900 V	900 V	900 V
Corriente máxima DC	30 A	32 A	41 A	57 A	71 A	88 A
Nº entradas DC	8	8	8	10	10	10
MPPT	1	1	1	1	1	1
Valores de Salida (AC)						
Potencia nominal AC modo HT ⁽³⁾	10 kW	12,5 kW	15 kW	20 kW	25 kW	30 kW
Potencia nominal AC modo HP ⁽⁴⁾	11 kW	13 kW	16 kW	22 kW	27,5 kW	33 kW
Corriente máxima AC	19 A	22 A	23 A	37 A	50 A	50 A
Tensión nominal AC	400 V	400 V	400 V	400 V	400 V	400 V
Frecuencia nominal AC	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz
Coseno Phi ⁽⁵⁾	1	1	1	1	1	1
THD ⁽⁶⁾	< 3%	< 3%	< 3%	< 3%	< 3%	< 3%
Rendimiento						
Eficiencia máxima	94,90%	94,90%	94,90%	95,50%	95,60%	95,80%
Euroeficiencia	93,30%	93,50%	93,80%	94,00%	94,50%	94,70%
Datos Generales						
Consumo energía standby	30 W	30 W	30 W	30 W	30 W	30 W
Consumo energía nocturno	1 W	1 W	1 W	1 W	1 W	1 W
Temperatura funcionamiento	-10°C a +85°C	-10°C a +85°C	-10°C a +85°C	-10°C a +85°C	-10°C a +85°C	-10°C a +85°C
Humedad relativa	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%
Grado de protección	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54
Referencias normativas						
VDE0128-1-1 RD 661/2007 RTC Rede BT de Ecot Distributions CEI 11-20 CEI 11-20 V1 CEI 0-16						
<p>Modo HT (high temperature) - Potencias nominales a 45°C Modo HP (high power) - Potencias nominales a 40°C</p> <p>Notas: ⁽¹⁾ Dependiendo del tipo de instalación y de la ubicación geográfica ⁽²⁾ No superar en ningún caso. Considerar el aumento de tensión de los paneles V_{oc} a bajas temperaturas ⁽³⁾ Hasta 45°C ambiente, $P_{max}=110\%$ P_{nom} para transitorios no permanentes ⁽⁴⁾ Hasta 40°C ambiente, $P_{max}=P_{nom}$ ⁽⁵⁾ Para PAC > 25% de la potencia nominal ⁽⁶⁾</p>						

Como se comentaba en el apartado de criterios de diseño, se ha optado por usar 01 inversor de 25 kW nominales con una frecuencia de 50/60Hz , el cual proporciona una potencia máxima de 25.2 KW.

Las protecciones específicas del inversor más importantes son:

Interruptor automático de la interconexión: encargado de la conexión o desconexión automática de la instalación en caso de pérdida de tensión o de la frecuencia de la red.

Protección para la interconexión de máxima y mínima frecuencia, y de máxima y mínima tensión.

Rearme del sistema de conmutación: rearme de la conexión con la red de baja tensión una vez restablecidos los parámetros requeridos por parte de la empresa distribuidora.

Cajas de protecciones en CC

Se tratan de las protecciones contra sobre intensidades y sobretensiones en corriente continua.

Están compuestas por los siguientes escalones de protección:

- Caja de protecciones de cada grupo. Caja plástica resistente al impacto, al calor intenso y al fuego. Contiene para cada módulo:
- Interruptor termomagnético que protege contra sobrecarga y cortocircuito.

- Tablero General de conexión del generador, ubicada antes del inversor y contiene para cada módulo:
- Varistor (protección contra sobrevoltajes) uno en cada fase.
- Interruptor-seccionador para cada módulo que permite aislar la parte de corriente continua de la parte de corriente alterna cuando se tenga que hacer mantenimiento.

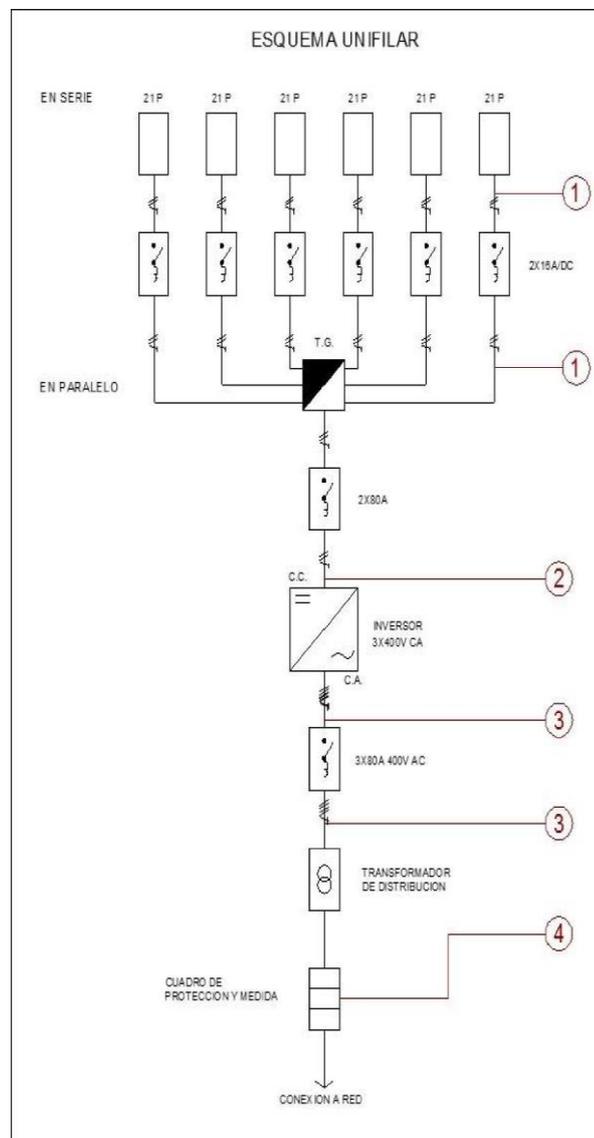


Figura 39. Diagrama unifilar del proyecto de Arequipa

①	2-1x6mm ² +1x4mm ² ZZF 1.8KV
②	2-1x25mm ² +1x16mm ² ZZF 1.8KV
③	3-1x25mm ² +1x16mm ² (N) + 1X 10mm 2(T) N2x0H 1.0KV
④	3-1x50mm ² N2xSY 24KV

Figura 40. Especificaciones de conductores

Caja de protecciones en CA

Protege ante fallos en el lado de corriente alterna y está situada después del inversor. En su interior tendrá las protecciones de alterna correspondientes al inversor, y aguas abajo la unión de todos los cables.

Está compuesta por:

- ✓ Caja plástica con placa de montaje, resistente al impacto, al calor intenso y al fuego.
- ✓ Interruptor automático termomagnético.
- ✓ Interruptor general termomagnético de conexión a la red.
- ✓ Interruptor diferencial general, de aquí va hacia la conexión a la red.

Circuito eléctrico del campo de paneles

Puesto que cada panel fotovoltaico es de 200 Wp, se propone colocar 126 paneles. Estos paneles estarán dispuestos en seis grupos de 21 paneles cada grupo.

Esta distribución implica que haya:

- 06 ramas en paralelo.
- 21 paneles solares cada una. - Un total de 126 paneles.
- Una potencia pico instalada de 25 Kwp.

De esta manera se tiene un inversor con 126 paneles en total.

Esto supone que a la entrada del inversor se tenga una tensión nominal de 405-750 V y una tensión máxima de 745.5 V, una intensidad nominal total de 33.84 A, valores que está dentro del rango de operación del inversor.

Dimensionamiento de los conductores

En esta sección se trata el cálculo de las secciones de los distintos conductores que forman parte de la instalación, siendo todos ellos de cobre con aislamiento de PVC y en algunos casos con cubierta en PVC. Hay varios tramos diferenciados en la instalación en lo que al cableado se refiere: cable entre los paneles de una misma rama, el que va desde cada una de las ramas hasta el inversor y la que va desde el inversor hasta el punto de conexión con la red eléctrica. En todos los puntos en los que sea necesario un cambio de sección del conductor o se unan distintos tipos de conductores irá situada una caja adaptadora o una caja de protecciones.

Los tramos definidos son:

- ✓ Tramo desde cada generador fotovoltaico (FV) hasta la caja de protección en cada grupo en DC.
- ✓ Tramo de cada caja de protección de cada grupo hasta el ingreso al inversor en DC.
- ✓ Tramos desde la salida en AC del inversor hasta la conexión a la red eléctrica.

El CNE establece que la caída de tensión a lo largo de una longitud de cable ha de ser menor del 1,5% para la corriente continua respecto de la tensión nominal y para la corriente alterna será 2%.

Tramo desde tablero de protección hasta ingreso al inversor.

Este tramo con una distancia de 6m aprox. en corriente continua corresponde a los 6 ramales del generador conectados en paralelo al tablero general para recibir los 06 circuitos que llegan, llevara un interruptor principal en continua de 2x80A; de la salida de este tablero ingresamos al inversor de 25Kv. el tipo de conductor para esta zona por capacidad y por soporte de tensión es 2-1x5mm² + 1x16mm² ZZF / 1.8Kv.

Los parámetros de cálculo para determinar la sección de los conductores y caída de tensión son:

Tramo desde salida del inversor en AC hasta la conexión a red.

Corresponde a la distancia de 50m aprox. en corriente alterna entre la salida del inversor en un circuito trifásico con cableado 3-1x25mm² + 1x16mm² (N) + 1x10mm² (T) N2XOH , en este punto se conecta a la carga actual del Instituto mediante un tablero con un interruptor principal de 3x80A ; se tiene la alimentación existente al transformador de distribución y celda de protección ; antes de conectarnos a la red existente debemos de instalar en la celda de protección el medidor bidireccional que permitirá la medición de energía producida y la medición de energía consumida.





Figura 41. Inversores

Protecciones

Continuación se describen las protecciones establecidas en caso de funcionamiento anómalo de la instalación. En lo que se refiere a interruptores automáticos termomagnéticos se ha buscado tener selectividad total, es decir, que siempre actúe el elemento de protección más cercano a la falta de manera que sólo quede desconectada la zona afectada.

Puesta a tierra

La puesta o conexión a tierra es la unión eléctrica directa, sin fusibles ni protección alguna, de una parte del circuito eléctrico o de una parte conductora, que en condiciones normales no se encuentra en tensión, mediante la conexión al sistema de tierra existente en la edificación.

Mediante la instalación de puesta a tierra se deberá conseguir que permita el paso a tierra de las corrientes de defecto o las de descarga de origen atmosférico.

Las auto válvulas o descargadores de tensión estarán conectadas a tierra mediante cable desnudo de cobre de 10 mm² de sección.

Los conductores de tierra usados para los diferentes tramos se indican en el esquema unifilar.

Los bornes de puesta a tierra, a los que llegan los cables de protección, están situados en una caja de bornes y conectados a la toma de tierra de la instalación.

Protección ante contacto directo

Durante la instalación se tendrá en cuenta los criterios para la protección por contacto directo.

La protección ante contactos directos está detallada en la ITC-BT-24 y viene garantizada por unos índices de protección de los equipos adecuados y por la correcta instalación y montaje de los mismos.

Para prevenir cualquier contacto directo se tomarán las siguientes medidas:

- Aislamiento de las partes activas.
- Inaccesibilidad a la zona de generadores fotovoltaicos a personas no autorizadas mediante cerramientos apropiados y carteles de aviso.

En armarios y cuadros eléctricos sólo se podrá acceder mediante llaves o herramientas específicas, que sólo estén al alcance del personal autorizado.

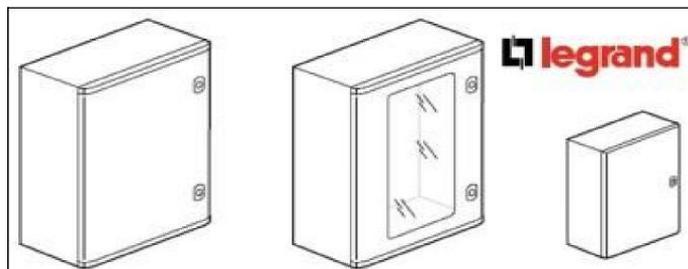


Figura 42 Llaves
Fuente (Legrand, 2015)

En cada elemento existen elementos de protección específicos:

- ✓ Módulos fotovoltaicos: bornes de conexión en el interior de las cajas, con la tapa atornillada y prensaestopas en la entrada de cables, conexión entre módulos mediante conectores rápidos con protección de los contactos.
- ✓ Cajas de conexión con doble aislamiento en el campo de paneles: bornes en el interior de la caja, con la tapa atornillada o bajo llave. Armario de contadores de doble aislamiento.
- ✓ Inversor: bornes de conexión interiores.
- ✓ Gran parte de la instalación irá protegida mediante tubo.
- ✓ Instalación acordonada debidamente para evitar la entrada de personas no autorizadas.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contratación de hipótesis con los resultados

- ❖ Dentro de un análisis de proyecto , ya que debemos buscar una buena rentabilidad , se tiene que analizar la Tasa Interna de Retorno (TIR), un Valor Actual Neto (VAN) y un payback en años para saber el tiempo en recuperar la inversión , además de tener valores positivos ; para nuestro caso utilizamos datos del resultado que se hizo en el cuarto capítulo, una producción anual de 50,861 KWh , un presupuesto de toda la inversión de USD \$ 93,586.26 y un horizonte de 25 años para proyectos de esta índole .

- ❖ Debemos de comenzar viendo el INDICE de PRECIOS al CONSUMIDOR (IPC) que no es otra cosa que el incremento anual de los precios en la economía de un país, es decir, la INFLACIÓN, en este caso tomaremos la información del instituto nacional de estadística e informática (INEI), el promedio de los últimos seis años nos arroja un valor de 2.633 y que será el factor que apliquemos en el horizonte de los 25 años que tenemos para nuestro proyecto.

Tabla 9.INDICE de PRECIOS

Año	IPC
2002	1.52
2003	2.48
2004	3.48
2005	1.49
2006	1.14
2007	3.93
2008	6.65
2009	0.25
2010	2.08
2011	4.74
2012	2.65
2013	2.86
2014	3.22
IPC Promedio	2.633



Figura 43.INDICE de PRECIOS

Presupuesto de inversión

En la siguiente tabla se apreciarán los costos según el listado de trabajos preliminares, materiales, equipos, mano de obra, ingeniería de proyecto y puesta en marcha; una vez completado el presupuesto se procederá a realizar el análisis económico utilizando un cuadro:

Tabla 10. Costos según el listado de trabajos

ITEM	Descripción	unid	Cantidad	Precio \$	Total
1.00	TRABAJOS PRELIMINARES				
1.01	Transporte de materiales	glb.	1	2000.00	2000.00
1.02	Transporte de equipos y herramientas	glb.	1	500.00	500.00
1.03	Transporte de personal, incluye alimentación y hospedaje	glb.	1	5000.00	5000.00
1.04	Trazo y Replanteo	glb.	1	250.00	250.00
1.05	Casetas y Almacenes	glb.	1	500.00	500.00
2.00	MATERIALES				
2.01	GENERADOR FOTOVOLTAICO				
2.01.1	Panel Solar Monocristalino CHI-200Wp-24V	Pza.	126	284.00	35784.00
2.01.2	Estructura de Aluminio 12 módulos p/ tejado	Pza.	12	645.00	7740.00
2.02	UNIDADES DE CONTROL				
2.02.1	Inversor Ingecon Sun 25Kw	Pza.	1	9171.87	9171.87
2.02.2	Equipo Medidor Bidireccional Sentinel Itron	Pza.	1	750.00	750.00
2.03	CONDUCTORES				
2.03.1	Conductor 4mm2 ZZF 1.8Kv	m	94	0.78	73.32
2.03.2	Conductor 6mm2 ZZF 1.8Kv	m	188	1.12	210.56
2.03.3	Conductor 16mm2 ZZF 1.8Kv Z-2	m	3	2.99	8.97
2.03.4	Conductor 25mm2 ZZF 1.8Kv Z-2	m	6	4.68	28.08
2.03.5	Conductor 10mm2 (T) N2XOH 1.0 Kv Z-3	m	48.5	3.68	178.48
2.03.6	Conductor 16mm2 (N) N2XOH 1.0 Kv Z-3	m	48.5	5.60	271.60
2.03.7	Conductor 25mm2 N2XOH 1.0Kv Z-3	m	145.5	7.45	1083.98
2.04	TUBERIAS CONDUIT IMC	m			
2.04.1	Tuberías Semipesada Conduit 3/4 "	m	94	3.50	329.00
2.04.2	Tuberías Semipesada Conduit 1 1/2"	m	3	5.21	15.63

2.04.3	Tuberías Semipesada Conduit 2 "	m	48.5	5.43	263.36
2.04.4	Caja conduit tipo LB 3/4"	Pza.	6	2.35	14.10
2.04.5	Caja conduit tipo LB 2"	Pza.	3	12.76	38.28
2.04.6	Unión recta conduit 3/4 "	Pza.	16	0.48	7.68
2.04.7	Unión recta conduit 2 "	Pza.	5	1.88	9.40
2.04.8	Conector conduit 3/4 "	Pza.	24	1.93	46.32
2.04.9	Conector conduit 1 1/2 "	Pza.	2	5.06	10.12
2.04.10	Conector conduit 2 "	Pza.	2	6.19	12.38
2.04.11	Riel Strut 3m ranurado 40x20 - 2mm	Pza.	2	11.34	22.68
2.04.12	Abrazadera Unistrut 3/4"	Pza.	30	0.60	18.00
2.04.13	Abrazadera Unistrut 1 1/2"	Pza.	1	1.04	1.04
2.04.14	Abrazadera Unistrut 2"	Pza.	8	1.10	8.80
2.05	PROTECCIÓN				
2.05.1	Interruptor Termomagnetico LEGRAND 2x16A	Pza.	12	56.25	675.00
2.05.2	Interruptor Termomagnetico LEGRAND 2x80A	Pza.	2	118.75	237.5
2.05.3	Interruptor Termomagnetico LEGRAND 3x80A	Pza.	2	125.00	250.00
2.05.4	Celda Modular de Proteccion 24kV, 400A	Pza.	1	5800.00	5800.00
2.06	TABLEROS Y CAJAS DE CONEXIÓN				
2.06.1	Tablero de distribución Legrand	Pza.	6	124.00	744.00
2.06.1	Tablero General de distribución Legrand	Pza.	2	324.06	648.12
2.06.2	Caja de pase en Aluminio 300x300x150	Pza.	8	8.25	66.00
3.00	MANO DE OBRA				
3.01	MONTAJE DEL SISTEMA DE PANELES SOLARES	glb	1	13,800.00	13800.00
	Incluye: montaje y fijación de la estructura de soporte de los paneles solares, tuberías metálicas tipo conduit, cables de energía, tableros y el inversor.				
4.00	INGENIERÍA DE PROYECTO				
4.01	Consultoría proyecto de ingeniería de Proyecto	glb	1	3,500	3500.00
4.02	Supervisión y Dirección Técnica	glb	1	2,500	2500.00
5.00	VARIOS				
5.01	Pruebas eléctricas finales y puesta en marcha	glb	1	750.00	750.00
5.02	Entrega de dossier de calidad y planos AS BUILT	glb	1	250.00	250.00
				Sub-Total	93,568.2
				IGV	16,842.2
				Total	110,410.

Por otro lado haciendo una simulación en el análisis de sensibilidad trabajando la variable del costo del KWh tenemos 02 escenarios considerando un costo de USD \$ 0.1354 y donde como ya se evaluó la recuperación se logra en 12 años y un ahorro anual de USD \$ 109,323.00, si asumimos un costo del Kwh de USD \$ 0.15 la recuperación de la inversión se logra en 11 años con un ahorro de USD \$ 164,624.00.

Tabla 11. Análisis de sensibilidad Variable-Precio KWh

	Investment	93,568	
	Escenario 1	Precio Inicial	Ahorros
Año	Precio / kWh	De kwh	Escenario 1
1	0.1354	2.63%	6,686.6
2	0.1390	2.63%	13,478.6
3	0.1426	2.63%	20,377.6
4	0.1464	2.63%	27,385.3
5	0.1502	2.63%	34,503.4
6	0.1542	2.63%	41,733.7
7	0.1583	2.63%	49,077.7
8	0.1624	2.63%	56,537.4
9	0.1667	2.63%	64,114.6
10	0.1711	2.63%	71,810.9
11	0.1756	2.63%	79,628.4
12	0.1802	2.63%	87,568.8
13	0.1850	2.63%	95,634.0
14	0.1898	2.63%	103,826.1
15	0.1948	2.63%	112,147.0
16	0.2000	2.63%	120,598.6
17	0.2052	2.63%	129,183.0
18	0.2106	2.63%	137,902.2
19	0.2162	2.63%	146,758.4
20	0.2219	2.63%	155,753.6
21	0.2277	2.63%	164,890.0
22	0.2337	2.63%	174,169.8
23	0.2399	2.63%	183,595.1
24	0.2462	2.63%	193,168.3
25	0.2527	2.63%	202,891.6
		Ahorros	109,323

6.2 Contrastación de resultados con otros estudios similares.

El mantenimiento de una instalación solar fotovoltaica, dependerá si es aislada o conectada a la red, aunque existen una serie de trabajos comunes independientemente de su aplicación, el objetivo del mantenimiento es prolongar la vida útil del sistema, asegurando además el buen funcionamiento de la instalación , para nuestro proyecto como será una instalación nueva se podrá hacer mantenimiento preventivo dos veces al año los primeros años sabiendo que se tendrá un horizonte de 25 años como mínimo de duración en este tipo de instalaciones .

El diseño correcto de una instalación fotovoltaica, es un elemento de garantía de funcionamiento y las revisiones se reducen a la verificación de equipo donde las averías son poco frecuentes a estas instalaciones; el mantenimiento preventivo permite detectar y corregir posibles problemas, mientras que, el correctivo es de reemplazo de equipos por averías o ajustes del sistema de posibles fallas.

Por último, el mantenimiento podrá realizarlo el propio usuario del sistema y en otras ocasiones será necesaria la presencia de un servicio técnico que ejecutará las tareas de inspección con las medidas de seguridad adecuada. Por lo general estas tareas de mantenimiento se realizan en una o dos visitas anuales, llevando un control de las tareas de mantenimiento.

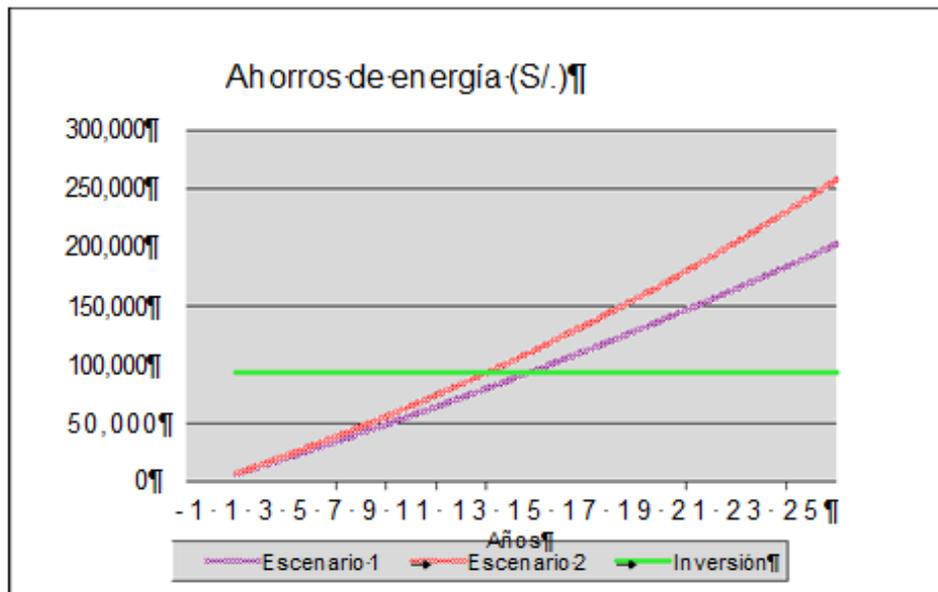


Figura 44. Ahorro de energía

Las tareas de mantenimiento de rutina en este tipo de sistemas fotovoltaicos conectados a red son:

LIMPIEZA DE LOS MÓDULOS DE ACUERDO AL PLAN DE MANTENIMIENTO.

Vigilancia del inversor, sobre todo los LEDS indicadores de estado y alarmas para las diferentes condiciones de irradiación solar, ya que, este equipo es uno de los menos fiables del sistema a pesar de tener productos y componentes de calidad. Debido a que, es el elemento que recibe todas las fluctuaciones entre la corriente continua y alterna del sistema.

Mantenimiento preventivo

Este tipo de inspección debe realizarse cada 6 meses, básicamente es una verificación visual, comprobación que los componentes electrónicos estén trabajando de acuerdo al diseño y estén dando los valores esperados dentro de las revisiones deben verse:

- Revisión, ajustes y limpieza de terminales, borneras.
- Verificación del estado del inversor en los paneles de control, empaques de conexión, etc. - Comprobación de posición de los paneles a la estatura de fijación, así como sus conexiones eléctricas.
- Verificación de todas las protecciones eléctricas incluyendo las tomas a tierra.

Mantenimiento correctivo

Este trabajo le corresponde a un personal calificado y es el encargado de reemplazar componentes y/o equipos que hayan fallado para poder seguir con un buen funcionamiento.

La solicitud de reclamo por parte del usuario debe realizarse en 2 semanas de anticipación para poder programar trabajos concretos y culminarlos en esa visita.

Si tuviera que darse un reclamo por parte del usuario y esté dentro de la garantía, el usuario no debe asumir ese pago si están cumpliéndose todas las condiciones de garantía.

Mantenimiento por el usuario

Este tipo de mantenimiento siempre puede destinarse para que lo pueda realizar el personal que trabaja en la instalación, dentro de esas funciones están:

- ❖ Comprobación de la buena fijación de los paneles fotovoltaicos a la estructura metálica, así como el reajuste de tuercas de los mismos.
- ❖ La limpieza de los paneles fotovoltaicos para mantener la buena producción de energía, eso implica la verificación de algún elemento ajeno al panel.

Supervisión general periódicamente y verificación de la correcta operatividad de los equipos como indicadores del inversor, etc.

Mantenimiento por el servicio técnico

Al detectar una falla en los equipos, una baja en el sistema o un paro de electricidad inmediatamente debe comunicarse al personal especializado.

- El lapso de respuesta debe ser casi inmediato.
- Verificación que la tensión y la intensidad sea el adecuado.
- Identificar la caracterización de la onda, frecuencia y tensión en alterna del inversor. - Hacer una evaluación de los fusibles, diferenciales y sistemas de protección.

VII. CONCLUSIONES

- Se obtendrá un ahorro y beneficio considerable pues solo se asumirá el pago del consumo diferencial que resulta un 38% del costo actual que la institución educativa asume. Debemos considerar que todo este beneficio se obtiene sabiendo que existe una potencia instalada en iluminación de 29.8 KW, según la tabla 4.2, con el nuevo proyecto a implementarse donde su potencia instalada bajaría a 15.2 KW, por cambio de tecnología y la cantidad de energía producida permitirá abastecer en promedio el 61% del consumo de energía actual del Instituto.
- Después de la evaluación realizada en tres escenarios se optó por considerar una Tasa de descuento del 5% logrando una tasa interna de retorno (TIR) del 6.6% mayor que la T.D.; el Valor actual neto (VAN) tiene resultados positivos del orden de los \$ 16,439.85, el ahorro en el horizonte propuesto de los 25 años es de \$ 109, 323.00 y la recuperación de la inversión es al décimo segundo año de funcionamiento. Por lo tanto los indicadores económicos obtenidos muestran una valoración positiva del proyecto.
- Los niveles de radiación solar en la zona del proyecto son altos con un nivel promedio de 6.78Kwh / m² de acuerdo al resultado arrojado por el software PVSYST V 6.39. De acuerdo a los cálculos efectuados, se

logra una producción neta de energía de 50,861 kWh. al año. Con la implementación del proyecto se contribuye al desarrollo sostenible, produciendo energía limpia en reemplazo de las fuentes tradicionales con energías contaminantes; en el proyecto se evitan emisiones de CO2 en una cantidad de 249.584 toneladas durante 25 años

VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de este tipo de proyectos a nivel nacional, en concordancia con los objetivos de política energética planteados en nuestro país hacia el año 2040.
- Se plantea un proyecto de energía solar fotovoltaica con una potencia de 25kW, para una institución educativa en la ciudad de Arequipa-Perú. El tipo de proyecto constituye una primera experiencia en esta ciudad.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcor, E. (2008). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Sevilla: S.A. Progensa.
- Calero, R. (2013). *Centrales de energías renovables*. Madrid: Pearson Educación S.A. Collado, E. (2013). *Centrales de energías renovables*. Madrid: Pearson Educación S.A. Colmenar, A. (2013). *Centrales de energías renovables*. Madrid: Pearson Educación S.A. HARPER, E. (2014). *El ABC de las Energías Renovables*. México: LIMUSA.
- Horn, M. (23 de Marzo de 2001). *Experiencias de electrificación fotovoltaicas en el Perú*. Obtenido de <http://fc.uni.edu.pe/>
- Ingeteam. (5 de Julio de 2015). Energía Solar Fotovoltaica. *Ingecon Sun*, 56. Obtenido de <http://kaco-newenergy.com/es>
- Legrand. (2015). *Legrand*. Obtenido de <http://www.legrand.com.pe/> LUMISOLAR. (s.f.). Panel Fotovoltaico. Santiago, Chile.
- Luque, A. (1995). *Manual de dimensionamiento solar fotovoltaico según grado de garantía de suministro*. Córdoba: Universidad de Córdoba Servicio de Publicaciones.
- Méndez, J. (2012). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: Fundación Confemetal.
- Ministerio de Energía y Minas. (2013). Anuario Ejecutivo de Electricidad.
- Perpiñán, O. (2012). *Diseño de Sistemas Fotovoltaicos*. Sevilla: Progensa.
- PVGYST V 6.39. (2015). Arequipa.

- Salas, R. (7 de Enero de 2013). Planta fotovoltaica de Vicuña Chile. *Diario el Día*, págs. 12-13.
- Seal. (2013). *Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.*
- Yong Kim, J. (18 de Noviembre de 2012). *Banco Mundial*. Obtenido de <http://www.bancomundial.org/>
- https://www.energiza.org/index.php?option=com_content&view=article&id=624&catid=22&Itemid=111
- <https://www.mrwatt.eu/es/content/glosario-energia-solar-fotovoltaica>
- <https://oztwald.blogspot.com/2018/05/antecedentes-y-bases-teoricas-de-la.html>

ANEXOS: Matriz de consistencia

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE, DIMENSIONALES E INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
<p>Problema General</p> <p>Nuestro Sistema Fotovoltaico eficiente para generación y suministro de Energía Eléctrica de Institución Educativas de Arequipa Por ello nos preguntamos:</p> <p>PG: Si no se implementa energía limpia a través de sistemas fotovoltaicos eficientes, tendremos que emplear energías fósiles para la generación y suministro de energía eléctrica en instituciones educativas de Arequipa?</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>Quedan determinadas en las siguientes prerrogativas:</p> <p>P1: ¿La implementación y suministro de energía eléctrica en instituciones educativas de Arequipa actualmente carecen de beneficios que ofrece la nueva alternativa del sistema fotovoltaico eficiente?</p> <p>P2: ¿ La generación y suministro de energía eléctrica en instituciones educativas de Arequipa no contribuyen a reducir la emisión de carbono debido a la no implementación del diseño y mantenimiento correcto de un sistema fotovoltaico eficiente?</p>	<p>Los siguientes objetivos corresponden a nuestra propuesta:</p> <p>Objetivo General</p> <p>OG: Implementar energía limpia a través de sistemas fotovoltaicos eficientes para la generación y suministro de energía eléctrica en instituciones educativas de Arequipa.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <p>O1: Determinar la rentabilidad del sistema fotovoltaico para la generación y suministro de energía eléctrica en instituciones educativas de Arequipa.</p> <p>O2: Realizar el diseño y mantenimiento correcto del sistema fotovoltaico para la generación y suministro de energía eléctrica en instituciones educativas de Arequipa.</p>	<p>Hipótesis que definen el modelo de la presente investigación quedan expresadas en los términos siguientes:</p> <p>Hipótesis General</p> <p>HG: La Implementación de energía limpia a través de sistemas fotovoltaicos eficientes va a permitir ahorrar en la generación y suministro de energía eléctrica de las instituciones educativas de Arequipa.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>H1: La rentabilidad del sistema fotovoltaico eficiente es favorable en la generación y suministro de energía eléctrica en instituciones educativas de Arequipa.</p> <p>H2: El diseño y mantenimiento correcto del sistema fotovoltaico es importante para el desarrollo sostenible en la generación y suministro de energía eléctrica en instituciones educativas de Arequipa.</p>	<p>Las variables que definen el modelo de la presente investigación quedan expresadas en los términos siguientes:</p> <p>Variable Dependiente</p> <p>VD: Análisis de costos y rentabilidad</p> <p>Variable Independiente</p> <p>VI: La Inversión teniendo en cuenta el valor temporal del dinero</p> <p>Indicadores</p> <p>VD1: VAN y TIR</p>	<p>Técnicas e Instrumentos</p> <p>1.-Conexión a la red de distribución o Sistema on- grid</p> <p>Mediante este modelo que se busca actualmente en la generación y distribución de energía eléctrica.</p> <p>2.- Conexión a red centralizada</p> <p>Mediante este modelo se trata de grandes huertos solares que vierten su producción a la red de media o alta tensión</p> <p>3. Domésticas sin acceso a red</p> <p>Mediante esta técnica se permite suministrar electricidad en zonas rurales o regiones subdesarrolladas</p> <p>4. Técnica de evaluación de factibilidad del proyecto:</p> <p>Mediante la evaluación técnica costos en la facturación eléctrica basadas en la Ley en la Universidad Nacional del Callao.</p>	<p style="text-align: center;">TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</p> <p>Se contrastaron los resultados de la presente investigación, frente a las técnicas convencionales.</p> <p>Tipo de Investigación:</p> <p>En todo proyecto se deben contemplar todos los posibles riesgos inherentes a la obra y que puedan dañar a personas (obrerros, técnicos, etc.).</p> <p>Diseño de la investigación:</p> <p>Un sistema conectado a la red se compone fundamentalmente de los módulos fotovoltaicos (generador eléctrico) y el inversor que convierte la corriente continua de los paneles en alterna y la inyecta a la red; dado que los módulos fotovoltaicos son dispositivos de alta fiabilidad, el elemento que requiere más atención técnica es el inversor y como la fuente solar no va a fallar, el riesgo se centra en un mal diseño para lo cual es fundamental contar con gente especializada del conjunto de aspectos que rodea esta tecnología fotovoltaica</p>