



Universidad  
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Trabajo de Investigación

# **Propuesta de sistema fotovoltaico de energía eléctrica para viviendas domiciliarias en la ciudad de Arequipa**

para optar el Grado Académico de Bachiller en  
Ingeniería Eléctrica

**Isaac Zacarías Portugal Chalco**

Arequipa, 2018



Repositorio Institucional Continental

Trabajo de Investigación



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

## **AGRADECIMIENTO**

*El presente trabajo de investigación tesina me gustaría agradecer a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.*

*A la UNIVERSIDAD CONTINENTAL por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.*

*A mi tutor Ing. William Vladimir Mullisaca Atamari por su esfuerzo y dedicación, quien, con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.*

*Son muchas las personas que ha formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas que están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.*

*Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.*

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis hijos por ser los más importantes y por demostrarme siempre su cariño y apoyo. Porque sin el equipo que formamos, no habiéramos logrado esta meta.*

*Isaac Portugal Chalco*

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA.....	III
ÍNDICE.....	IV
LISTA DE TABLAS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
CAPITULO I.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	2
1.4. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	2
1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	3
1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	3
1.5. VARIABLES E INDICADORES.....	3
1.5.1. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	3
1.5.1.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	3
1.5.1.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	3
CAPITULO II.....	5
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	5
2.2. BASES TEÓRICAS.....	6

2.2.1. LA ENERGÍA SOLAR.....	6
2.2.2. LA ENERGÍA SOLAR EN EL PERÚ.....	8
2.2.3. LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	10
2.2.3.1. FUNDAMENTOS.....	10
2.2.4. CELDAS SOLARES.....	11
2.2.5. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	17
2.2.6. LA INDUSTRIA FOTOVOLTAICA.....	20
2.2.7. INVERSORES.....	21
2.2.8. ACUMULADORES O BATERÍAS.....	24
2.2.8.1. TIPOS DE BATERÍAS.....	25
2.2.8.2. BATERÍAS DE PLOMO.....	26
2.2.8.3. PELIGROS DE BATERÍAS DE PLOMO.....	27
2.2.8.4. VIDA DE BATERÍAS SOLARES.....	28
2.2.8.5. CONDICIONES QUE AFECTAN LA VIDA DE BATERÍAS.....	28
2.2.8.6. TEMPERATURA: FACTOR DECISIVO PARA LA VIDA DE BATERÍAS.....	30
2.2.8.7. EFICIENCIA DE BATERÍAS SOLARES.....	30
2.2.8.8. TIPOS DE BATERÍAS DE PLOMO PARA APLICACIONES SOLARES.....	31
2.2.9. CONTROLADOR DE CARGA.....	33
2.2.10. SISTEMAS DE PROTECCIÓN.....	34
2.3. TÉRMINOS BÁSICOS.....	34
CAPITULO III.....	38
3.1. MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	38
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	39
3.3. UNIDAD DE ESTUDIO.....	52
CAPÍTULO IV.....	53
4.1 RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	53
4.2 PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	54
4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	55
CONCLUSIONES.....	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

## LISTA DE TABLAS

### Tablas

Tabla 1: consumo promedio de energía de electrodoméstico.....	40
Tabla 2: Consumo promedio de energía de una vivienda en Arequipa.....	41

## LISTA DE FIGURAS

### FIGURAS

Figura 1: Reservas mundiales de energía primaria .....	7
Figura 2: Recurso solar en la superficie terrestre.....	7
Figura 3: Panel solar monocristalino.....	13
Figura 4: Panel solar policristalino.....	13
Figura 5: Tabla de eficiencia de paneles solares.....	14
Figura 6: Tabla de diferencias en las garantías que ofrece cada fabricante .....	15
Figura 7: Evolución de paneles solares en diferentes tecnologías.....	15
Figura 8: Producción mundial de paneles solares.....	16
Figura 9: Fabricantes de módulos de paneles solares por países.....	16
Figura 10: Reparto de costes de una instalación aislada con acumulación.....	17
Figura 11: Eficiencia versus precio para diferentes tecnologías.....	19
Figura 12: Coste de la energía fotovoltaica para varias tecnologías.....	20
Figura 13: Diagrama de bloques de un inversor .....	21
Figura 14: Inversor.....	23
Figura 15: Inversor híbrido.....	24
Figura 16: Rendimiento de distintos tipos de baterías.....	25
Figura 17: Baterías.....	27
Figura 18: Tiempos de descargas de baterías.....	29
Figura 19: Tiempo de vida de batería vs temperatura de operación.....	30
Figura 20: Batería Gel.....	32
Figura 21: Batería AGM.....	33
Figura 22: Controlador de carga.....	33

Figura 23: Distribución horaria de la irradiancia solar en un día sin nubes.....	34
Figura 24: Distribución horaria de la irradiancia solar en un caso real (1) y otro hipotético (2).....	35
Figura 25: Tenencia electrodomésticos en el hogar.....	39
Figura 26: Irradiación solar en el Arequipa todo el año.....	42
Figura 27: Conexión de placas solares en paralelo.....	44
Figura 28: Conexión de placas solares en serie.....	45
Figura 29: Conexión de placas solares en serie y paralelo.....	46
Figura 30: Irradiación solar en invierno en Arequipa.....	47
Figura 31: Curva intensidad, tensión y potencia de celda solar .....	48
Figura 32: Características, mecánicas celda solar.....	49
Figura 33: Celda solar de 320 Wp marca JINKO.....	49
Figura 34: Batería BLUESUN de 200Ah.....	51
Figura 35: Regulador de carga marca MINO.....	51

## **RESUMEN**

El objetivo de esta investigación es determinar el diseño de un sistema fotovoltaico para una vivienda domiciliaria promedio en la ciudad de Arequipa.

La generación de energía de este sistema fotovoltaico debe llegar a sustituir permanentemente el suministro de energía eléctrica de la empresa distribuidora de energía eléctrica.

Este sistema fotovoltaico debería ser económicamente viable en el tiempo, haciendo un estudio económico debemos llegar a un punto de equilibrio económico. Y después del punto de equilibrio económico, la generación de energía para la vivienda domiciliaria debería ser a costo cero.

Esta propuesta de diseño, también contribuye a la generación ecoeficiente de energía eléctrica sin afectar al medioambiente, ya que esta energía además de ser renovable, es energía verde.

En el marco teórico se han citado los componentes de un sistema fotovoltaico, así como las clases y tipos existentes en el mercado de la ciudad de Arequipa, disponibles para nuestra investigación.

Esta generación de energía a costo cero será hasta la vida útil de los equipos, los cuales bordean entre los 15 y 20 años según las características de cada uno de ellos, a excepción de la batería, que tiene vida útil de 3 años, pero con un uso y mantenimiento adecuado podrá ser alargado hasta los 5 años.

Por lo tanto el cambio de baterías, a lo largo de la vida útil de los otros componentes, sería de cuatro veces en los 20 años.

En el desarrollo de la investigación hemos llegado a demostrar que la hipótesis es viable pero en un periodo no mayor a 6 años, a partir del cual la generación de energía para la vivienda domiciliaria es de costo cero.

**Palabras clave:** sistema fotovoltaico, generación de energía, costo cero.

## **ABSTRACT**

The objective of this research is to determine the design of a photovoltaic system for an average home in the city of Arequipa, the power generation of this photovoltaic system must permanently replace the electric power supply of the electricity distribution company.

This photovoltaic system should be economically viable over time, making an economic study we must reach a point of economic balance. And after the economic equilibrium point, the generation of energy for home housing should be at zero cost.

This design proposal also contributes to the ecoefficient generation of electrical energy without affecting the environment, since this energy, besides being renewable, is green energy.

In the theoretical framework, the components of a photovoltaic system have been cited, as well as the classes and types existing in the market of the city of Arequipa, available for our research.

This generation of energy at zero cost will be up to the useful life of the equipment, which borders between 15 and 20 years according to the characteristics of each of them, with the exception of the battery, which has a useful life of 3 years, but with proper use and maintenance can be extended up to 5 years.

Therefore the change of batteries, throughout the life of the other components, would be four times in the 20 years

In the development of research we have come to demonstrate that the hypothesis is viable but in a period no longer than 6 years, from which generation of energy for home housing is zero cost.

**Keyword:** photovoltaic system, power generation, zero cost.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día en nuestro mundo actual, la generación de energía es un problema latente en el planeta.

El calentamiento global, debido al uso de las energías convencionales en el mundo (petróleo y carbón), ha hecho que el mundo gire su visión a la generación de energía no convencionales y sobre todo a las llamadas energías verdes (que no contaminan el planeta).

Desde el siglo pasado, la generación de energía verde, ha ido en aumento, ya que, no contamina nuestro planeta, además de ser energía gratuita.

Uno de los inconvenientes de emplear estas energías verdes eran su eficiencia de conversión, económicamente no eran tan rentables. Pero en estas últimas décadas, con el avance de la tecnología, su eficiencia ha ido mejorando considerablemente, al punto de hacerlas atractivas y masificar su uso.

Una de estas energías es la energía solar fotovoltaica, su eficiencia de conversión ha ido mejorando gradualmente, hasta hacerla viable económicamente.

En Arequipa, tenemos gran cantidad de radiación solar en todos los meses del año, por lo que el uso de este tipo de generación de energía, es por lo demás apetecible.

En esta investigación se pretende demostrar que el uso de este sistema de generación de energía es viable económicamente en el tiempo. Se expone con detalle los equipos a utilizar, así como también su costo.

Se ha podido demostrar que para una vivienda domiciliaria promedio su uso es rentable en el tiempo. Por lo que económicamente su uso está justificado, así como la contribución a la reducción de la huella de carbono en nuestro planeta.

El autor

# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

#### 1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El Perú es un país privilegiado debido a que en toda su extensión existe radiación solar directa, la misma que a la fecha no está siendo aprovechada de manera significativa a pesar de que existen normativas para el uso de energías renovables (D.S. N° 012 2011 EM, reglamento de generación de energía mediante el uso de energías renovables; Decreto Legislativo N° 1002 del año 2008, que “declara de interés nacional y necesidad pública el desarrollo de la generación de electricidad mediante recursos renovables”).

En la región Arequipa solo se tiene dos plantas de generación de energía solar, las cuales están ubicados en el distrito de La Joya, y tienen en conjunto una potencia instalada de 40 MW, (central solar Majes, y central solar Repartición).

Particularmente en la región Arequipa, la radiación es alta sobrepasa los 6 Kwh/día, reportando la estación **meteorológica de la pampilla** un promedio anual de 6.50 Kwh/día (fuente: atlas de energía solar del Perú), siendo este favorable para el uso ya sea en iluminación, calentamiento de agua, microclimatización de ambientes, bombeo de agua, etc.

Debido a estos antecedentes, es de gran importancia **proponer un sistema de generación de energía fotovoltaica que sea rentable y viable**

**económicamente en las viviendas de la ciudad de Arequipa**, debido a la gran cantidad de radiación solar que soporta la ciudad de Arequipa.

De paso también la instalación del sistema de energía renovable, contribuirá al empleo de energías limpias, no contaminantes.

### 1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es posible proponer un sistema fotovoltaico de generación de energía eléctrica, económico para las viviendas domiciliarias en la ciudad de Arequipa?

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema fotovoltaico de generación de energía eléctrica económica y que sea rentable para las viviendas domiciliarias de Arequipa.

### 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Proponer un diseño realizable de un sistema fotovoltaico para la ciudad de Arequipa.
- Diseñar el sistema fotovoltaico con equipos disponibles en el mercado de la ciudad de Arequipa.
- Reducir el gasto económico en energía eléctrica en las viviendas de la ciudad de Arequipa.
- Contribuir a la reducción de la huella de carbono en Arequipa.

## 1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Esta investigación realizara la factibilidad de una propuesta para el diseño de un sistema fotovoltaico para los domicilios de la ciudad de Arequipa aprovechando nuestra radiación solar.

Si esta propuesta fuera factible, ayudará a mejorar en su facturación mensual a los ciudadanos lo cual se plasmara en una mejora de la calidad de vida satisfactoria más adecuada y mejorada.

Esta propuesta de sistema de implementación de suministro de energía fotovoltaica, es un sistema ecológico, porque no genera ruido, tampoco emana o genera gases, no contamina el medio ambiente, gracias a este sistema fotovoltaico estamos generando electricidad sin contaminar nuestro medio ambiente.

## 1.4. HIPÓTESIS Y VARIABLES

### 1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL:

El diseño del sistema fotovoltaico de generación de energía eléctrica propuesto es probable que sea económico y que sea rentable en el tiempo, en las viviendas domiciliarias de la ciudad de Arequipa

### 1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:

- El sistema fotovoltaico diseñado será realizable, porque será económico y será rentable para las viviendas de la ciudad de Arequipa.
- Hay equipos disponibles en la ciudad de Arequipa que permitirán la propuesta del diseño de un sistema fotovoltaico.

## 1.5. VARIABLES E INDICADORES

### 1.5.1. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

#### 1.5.1.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Sistema fotovoltaico

#### Indicadores

- Generación de corriente eléctrica.
- Generación de Wp (watt-pico).
- Tiempo de vida útil del sistema fotovoltaico.

#### 1.5.1.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Energía eléctrica para viviendas domiciliarias.

Indicadores

- Consumo de energía eléctrica por vivienda.
- Medición de la corriente alterna en salida del inversor.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO REFERENCIAL**

#### **2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

En este siglo XXI la energía solar fotovoltaica ha tenido un desarrollo sostenible por lo que ha contribuido a la generación de “energía verde” la cual ha contribuido a la reducción del uso de energía convencional.

La energía solar junto a las otras energías de tipo verde, como por ejemplo como es la energía eólica, ayuda al cambio gradual de la matriz energética en el mundo.

También es cierto que el aumento de energía verde ha permitido el crecimiento de las industrias y esto trae como consecuencia el deterioro del medio ambiente que destruyen la capa de ozono afectando nuestra salud, pero este tema es parte de la regulación medioambiental en cada país.

La protección del medio ambiente es un compromiso total de todas las personas, hoy en el día hemos visto un gran crecimiento de producción de paneles solares, como también implementación de plantas en diferentes países del mundo.

Según estudios internacionales Australia y Estados Unidos construyeron las más grandes plantas fotovoltaicas, actualmente Australia está construyendo una planta de 154 megavatios con un objetivo de llegar a 270.000 megavatios mediante generación fotovoltaica para el cierre del año 2020.

Los primeros paneles solares fotovoltaicos fueron dirigidos al sector aeroespacial buscando siempre paneles más eficientes.

En el Perú se ha desarrollado bastante el uso de energía solar y el uso de paneles solares principalmente en las zonas del sur peruano principalmente en Arequipa y Puno.

Nuestra geografía es adecuada para el uso de esta “energía verde”, está por demás decir que la heliofania en nuestro país es generosa. Y por tanto aprovecharla es política del gobierno peruano.

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. LA ENERGÍA SOLAR

“La energía solar es la energía radiante producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión, en que los átomos de hidrógeno se convierten en helio. Parte de esta energía viaja a través del espacio mediante la radiación solar y en fotones y llega a la Tierra, ubicada a 150 millones de kilómetros, interactuando con la atmósfera y la superficie terrestre”, (Boyle, 2004).

El Sol ha sido una constante fuente energética a través de la evolución de la humanidad y en sus actividades agrícolas, urbanas e industriales entre otras.

“Por otro lado, la energía solar varía en función de factores geográficos, época del año y de las condiciones de la atmósfera local, por lo que cada tecnología de captación debe ser diseñada y dimensionada de acuerdo a las condiciones específicas del sector”. (Greenpeace, SolarSPACES y ESTELA, 2009).

“En relación con los demás portadores energéticos limitados, el Sol constituye la fuente más abundante de energía primaria, aportando 250.000 [GTep\*] anualmente, lo que es significativamente mayor a los 800 [GTep] estimados de carbón disponible y los 9 [GTep] del consumo energético anual”. (CENTER & Solarpraxis GE).

---

\*1 Tep, una tonelada equivalente de petróleo



Figura 1: Reservas mundiales de energía primaria. Fuente:(Center y solaris Praxis)

“La potencia promedio que llega a las afueras de la atmósfera terrestre en el plano perpendicular a los rayos del Sol se conoce como constante solar (CS), la cual tiene un valor aproximado de 1367 [W/m<sup>2</sup>]. Esta potencia es disipada a medida que ingresa a la Tierra debido a la absorción, difusión y reflexión en la atmósfera. A dichos efectos, se suman las pérdidas locales, debido a la presencia de nubes, vapor y contaminación”. (Wallace, et al., 2006).

“Finalmente, la potencia que llega efectivamente en la superficie terrestre, llamada irradiancia, es un valor muy variable durante el día y a lo largo del año. Se tiene, por ejemplo, que durante un día caluroso de verano, la irradiancia alcanza valores cercanos a 1000 [W/m<sup>2</sup>], mientras que para días nublados, el máximo se encuentra cercano a los 300 [W/m<sup>2</sup>] e incluso para días lluviosos se encuentra por debajo de los 100 [W/m<sup>2</sup>].” (Haas, et al., 2012).

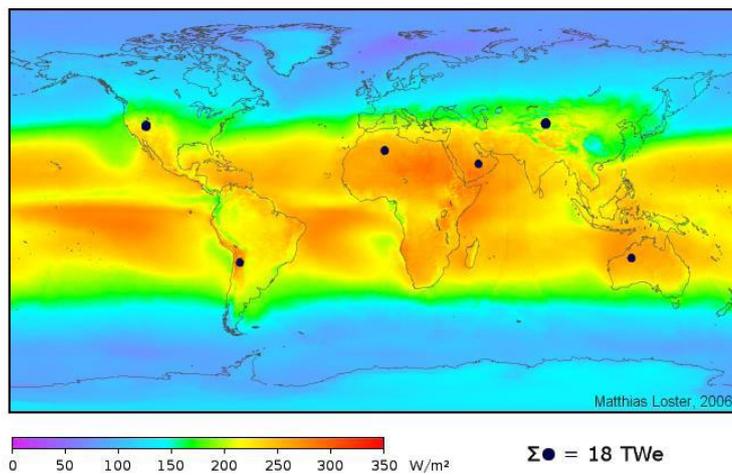


Figura 2: Recurso solar en la superficie terrestre.

## 2.2.2. LA ENERGÍA SOLAR EN EL PERÚ

“La energía solar es una de las opciones que se están desarrollando como alternativas a las energías provenientes de la quema de combustibles fósiles. A diferencia de los países nórdicos, el territorio peruano, por estar mucho más próximo al Ecuador, cuenta con sol durante la mayor parte del año. Según el Atlas Solar del Perú elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, el Perú tiene una elevada radiación solar anual siendo en la sierra de aproximadamente 5.5 a 6.5 kWh/m<sup>2</sup>; 5.0 a 6.0 kWh/m<sup>2</sup> en la Costa y en la Selva de aproximadamente 4.5 a 5.0 kWh/m<sup>2</sup>”. (Grupo de apoyo al sector rural-PUCP, 2018)

“En el Perú hay tres ámbitos donde se ha desarrollado el uso de energía solar en el Perú. **El primer ámbito** (y más tradicional) es el **uso como fuente térmica** a través de termas de agua en zonas del sur peruano, principalmente Arequipa y Puno, departamentos en los que existe cerca de 30 empresas dedicadas a la fabricación y mantenimiento de estos aparatos. No obstante, aún es amplio el camino a recorrer para masificar el uso de paneles solares tanto para áreas urbanas como rurales destinados al uso térmico el cual implicaría menor consumo de la red eléctrica en los hogares (una terma eléctrica es uno de los principales consumidores de energía eléctrica en un hogar). Asimismo su uso no se limitaría a lo doméstico sino también podría incluirse en usos productivos como secadores de granos para la agricultura (en la zona sur la producción de granos andinos como kiwicha, quinua, kañihua es alta) así como para la potabilización de agua en aquellas zonas que lo requieran”. (Grupo de apoyo al sector rural-PUCP, 2018)

“**Otro ámbito** donde existen avances es en la provisión de **electricidad a las zonas rurales**. Según datos del 2011, el 16% población peruana no tiene electricidad en sus casas, cifra que se eleva a 22% en las zonas rurales. Según la Dirección General de Electrificación Rural aún existen cerca de 500000 hogares ubicados en zonas rurales que quedarían sin ser atendidos por los programas públicos de electrificación. El Plan de Electrificación Nacional de Electrificación Rural, cerca de 345823 hogares deberán ser cubiertos con módulos fotovoltaicos en espacios rurales”. (Grupo de apoyo al sector rural-PUCP, 2018)

“Entre los proyectos existentes está el financiado por el Banco Mundial, el Global Environment Facility – GEF y el MEM que ya ha subvencionado la provisión de electricidad a 2 216 hogares que con sistemas fotovoltaicos pilotos. Asimismo, dentro de este esquema existiría en cartera otro subproyectos para llegar a 7 000 hogares más. Otro programa es Euro Solar, que provee 130 pequeñas centrales de energía híbrida (eólico-solar) destinadas a abastecer de energía a postas, colegios y locales comunales rurales. Asimismo, el programa Luz para Todos del Gobierno Central contempla que cerca de 11 640 nueva localidades con servicio eléctrico serán atendidas con fuentes renovables siendo una buena parte de ellas a través de sistemas fotovoltaicos. Entre las opciones para la electrificación rural están los sistemas fotovoltaico domiciliario (SFD). La empresa estatal ADINELSA, encargada de la promoción de la electrificación rural en áreas no concesionadas, ya posee más 1500 SFDs operativos en el sur del país”. (Grupo de apoyo al sector rural-PUCP, 2018)

“El tercer ámbito de desarrollo, y el más promisorio, es el que ha surgido con la concesión de las 4 centrales solares que se enlazarán al Sistema Eléctrico Nacional (SEIN) luego de la primera subasta de suministro de electricidad de Recursos Energéticos Renovables (RER) llevada a cabo por el Ministerio de Energía y Minas. Las compañías españolas T-Solar Global y Solarpack Corporacion Tecnológica son las que construirán estas cuatro centrales fotovoltaicas, con una potencia conjunta de 80 megavatios (mw). Estas empresas han firmado contratos con el Gobierno Peruano que les permite asegurar la venta de electricidad producida de fuentes solares durante un lapso de 20 años”. (Grupo de apoyo al sector rural-PUCP, 2018)

Según Juan Laso, Director General de T Solar, esta adjudicación le permitirá “incrementar la cartera de proyectos en fase de desarrollo de T-Solar, que suman una potencia superior a los 650 MW”.

“Como vemos, el sector de la energía solar va desde pequeñas instalaciones familiares hasta grandes proyectos de centrales solares. Es interesante que los avances, en este último caso, generen el desarrollo tecnológico y la difusión de

esta fuente de energía renovable en el país”. (Grupo de apoyo al sector rural-PUCP, 2018)

“Una característica primordial de la energía solar es su capacidad para adecuarse a proyectos de mediana y pequeña envergadura para usuarios individuales. Por ejemplo, en ámbitos urbanos se pueden desarrollar instalaciones fotovoltaicas que se integren a grandes superficies expuestas como estacionamientos, edificios, marquesinas. De hecho, la T –Solar ya desarrolla proyectos de este tipo en España. Este tipo de innovaciones permite acercar la producción de electricidad al punto de consumo evitando pérdidas durante el transporte y además de reemplazar el consumo de energía eléctrica de la red nacional y ahorrar costos a quienes la implementan”. (Grupo de apoyo al sector rural-PUCP, 2018)

“No cabe duda de que las opciones de uso de la energía solar son grandes. Lamentablemente, aún existe desconocimiento de aquellos sectores que pueden aprovecharlo más intensamente. Desarrollar este subsector energético sería crucial ya que es una de las mejores opciones para cambiar la actual matriz energética mundial intensiva en gases de efecto invernadero”. (Grupo de apoyo al sector rural-PUCP, 2018)

### 2.2.3. LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

#### 2.2.3.1. FUNDAMENTOS

“Las células solares están hechas de materiales semiconductores, que poseen electrones débilmente ligados ocupando una banda de energía denominada “banda de valencia”. Cuando se aplica un cuanto de energía por encima de un cierto valor a un electrón de valencia, el enlace se rompe y el electrón pasa a una nueva banda de energía llamada “banda de conducción”. Mediante un contacto selectivo, estos electrones pueden ser llevados a un circuito externo y realizar un trabajo útil, perdiendo así la energía captada y regresando por otro contacto a la banda de valencia con la energía inicial, anterior al proceso de absorción de un fotón luminoso”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.3)

“El flujo de electrones en el circuito exterior se llama corriente de la célula y su producto por el voltaje con el que se liberan los electrones por los contactos selectivos determina la potencia generada. Todo esto ocurre a temperatura ambiente y sin partes móviles, pues las células solares, que convierten en electricidad sólo una parte de la energía de los fotones absorbidos se calientan sólo unos 25-30°C por encima de la temperatura ambiente”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.3)

“La estructura típica de una célula solar es una unión pn similar a los diodos semiconductores, pero no necesariamente la única posible. En las aplicaciones fotovoltaicas, las células solares se interconectan y encapsulan en elementos llamados módulos fotovoltaicos, que es el producto final vendido al usuario. Estos módulos producen corriente continua que suele transformarse en corriente alterna, más útil, mediante un dispositivo electrónico llamado inversor u ondulator. El inversor, las baterías recargables, en caso de que se necesite almacenamiento, las estructuras sobre las que se montan y orientan los módulos así como otros elementos necesarios para construir un sistema fotovoltaico (FV) se llama BOS (Balance of System), que significa, sencillamente, resto de sistema”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.3)

#### 2.2.4. CELDAS SOLARES

Las tecnologías de sistemas de captación de energía solar, han ido evolucionando a lo largo del tiempo. Ellas generan un escaso impacto ambiental, pero por otro lado deben sortear el inconveniente que este tipo de energía llega de forma dispersa a la Tierra y que no es posible almacenarla de forma directa.

La celda solar “es el dispositivo en el que se produce la conversión de luz en electricidad gracias a las propiedades de los semiconductores por una parte y a las estructuras (unión pn, heterounión, interfaz sólido-electrolito, etc.) que permiten extraer los electrones excitados de la célula, antes de que vuelvan a

su estado de equilibrio térmico, hacia un circuito exterior para que realicen un trabajo”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.11)

La célula solar “utiliza un haz de fotones a 6000°K, es decir, opera como una máquina térmica cuya fuente caliente, la caldera, estuviera a esos 6000°K. En una central térmica se calienta agua para crear vapor a 900°K, y en el caso de las centrales termosolares, el gas de 6000°C se degrada para calentar el agua a 700- 800°K. Atendiendo al principio de Carnot la eficiencia que se puede conseguir en la superficie de la tierra con el gas de fotones solar sería del 95%. Ciertos efectos de reemisión de fotones dejan esta cifra máxima en el 87%. Para las centrales térmicas esas eficiencias ideales máximas son del 66% y el 60%, respectivamente”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.11)

“Así que el potencial en eficiencia de la conversión fotovoltaica es el mayor imaginable puesto que una caldera de 6000°K no es realizable con ningún material: Todos se funden a menores temperaturas. Por otra parte, el proceso de conversión se realiza sin partes móviles, ni fluidos, ni bombas”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.11)

“Las células más utilizadas son las realizables en silicio cristalino y silicio multicristalino en las que se han realizado una unión pn y contactos en ambas caras”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.11)

“Estas células proporcionan aproximadamente 0,5 Voltios y una corriente de 35 mA/cm<sup>2</sup> cuando son iluminadas por el sol en un día claro a 1000 W/m<sup>2</sup> que se toma como irradiancia de referencia estándar. Ambos materiales utilizan silicio ultrapuro como el empleado en la Industria microelectrónica, de cuyos excedentes se ha nutrido la Industria fotovoltaica hasta hoy”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.11)

Los paneles solares monocristalinos tienen las mayores tasas de eficiencia puesto que se fabrican con silicio de alta pureza. **La eficiencia en estos paneles está por encima del 15% y en algunas marcas supera el 21%.** La vida útil de los paneles monocristalinos es más larga. De hecho, muchos fabricantes ofrecen garantías de hasta 25 años. Suelen funcionar mejor que

paneles policristalinos de similares características en condiciones de poca luz. Aunque el rendimiento en todos los paneles se reduce con temperaturas altas, esto ocurre en menor medida en los policristalinos que en los monocristalinos.

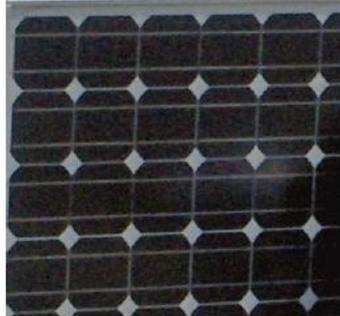


Figura 3: Panel solar monocristalino.

“La estructura multicristalina se forma por solidificación de crisoles de gran tamaño (hasta 500 kg) y se diferencia del monocristal en que el tamaño del grano es de varios milímetros. Su coste por oblea y su eficiencia son menores, de modo que el precio por vatio pico es prácticamente el mismo. Sin embargo, se tiende a la producción creciente de material multicristalino en espera de reducciones reales de coste”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.12)

**La eficiencia de un panel policristalino se sitúa típicamente entre el 13-16%, debido a que no tienen un silicio tan puro como los monocristalinos.**



Figura 4: Panel solar policristalino.

“La segunda tecnología de células digna de mención se agrupa bajo el término común de “células de capa delgada” o thin film solar cells, si bien bajo esta denominación se engloban tecnologías muy distintas. Las más notables por sus resultados actuales y el desarrollo industrial iniciado son las células realizadas sobre CdTe (Telururo de Cadmio), a-Si (Silicio amorfo) y Cu (InGa)Se<sub>2</sub> (CIGS), ordenadas de menor a mayor eficiencia obtenidas en laboratorio. La principal

característica de la Energía Solar Fotovoltaica de capa delgada es la posibilidad de lograr un bajo coste más que su excelente eficiencia. Su eficiencia récord siempre fue la mitad que la lograda en silicio monocristalino, hasta el año 2000 en que se reportaron células de CIGS del 19%”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.12)

“Otra tecnología es la denominada “células de silicio pelicular” o Si-sheet solar cells, que es un tipo de célula realizado por una sola compañía (Astropower) consistente en silicio policristalino fabricado al estilo de capa delgada”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.12)

“Por último, están las células más eficientes jamás logradas, denominadas células multiunión y que son, en realidad, varias células de distintos materiales construidas monolíticamente, es decir, en un solo monocristal continuo. Se ha alcanzado con ellas una eficiencia de 40,7% bajo luz concentrada. Estas células, intrínsecamente caras, se usan en el espacio y ahora “han bajado a la tierra” para ser utilizadas con sistemas de concentración para generación en plantas conectadas a red. Varias compañías están industrializando estas células y los concentradores para satisfacer los primeros contratos mundiales, promovidos por el ISFOC (Instituto de Sistemas Fotovoltaicos de Concentración) en Puertollano, como primer paso para demostrar su eficiencia y operación en campo”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.3)

Material	Eficiência		
	Máxima Teórica	Em Laboratório	Produção em Série
Silício Mono	24,7%	18%	14%
Silício Poli	19,8%	15%	13%
Silício Amorfo	15%	10,5%	7,5%
CIGS	18,8%	14%	10%
CdTe	16,4%	10%	9%

Figura 5: Tabla de eficiencia de paneles solares. Fuente (Blue solar. Br, 2018)

Garantías	Chinaland	Innotech Solar	Kyocera	Rene Sola	Solarever	Solartec	Solar World
Por defectos de fabricación:	10 años	12 años	10 años	10 años	10 años	10 años	10 años
Por rendimiento a:							
1 año	96.0%	97.0%	96.0%	97.0%	98.5%	99.0%	96.0%
10 años	90.00%	90.70%	90.00%	90.00%	91.50%	90.00%	90.00%
25 años	80.00%	80.10%	80.00%	80.00%	80.00%	75.00% <sup>C</sup>	80.00%

Figura 6: Tabla de diferencias en las garantías que ofrece cada fabricante. Fuente (geckologicmexico, 2018)

La figura 7 “muestra la fantástica evolución de la eficiencia (récords de laboratorio) de cada tecnología en los últimos 30 años -los años de existencia de la energía solar fotovoltaica-. Asimismo, demuestra que hay muchas tecnologías con posibilidades de lograr altas eficiencias. Pese a todo, vemos en la figura 4 que el 90% de los módulos producidos en el mundo son de c-Si o multi c-Si y hay un incremento del silicio policristalino pelicular (Si-sheet). Cerca del 10% restante de las ventas se centra en a-Si o a-Si/a-SiGe, es decir, en células de silicio amorfo o silicio-germanio amorfos. El restante 1% es para CIGS, CdTe y concentradores. Estas tres últimas tecnologías están siendo industrializadas y pueden despegar en unos 3-5 años”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.12)

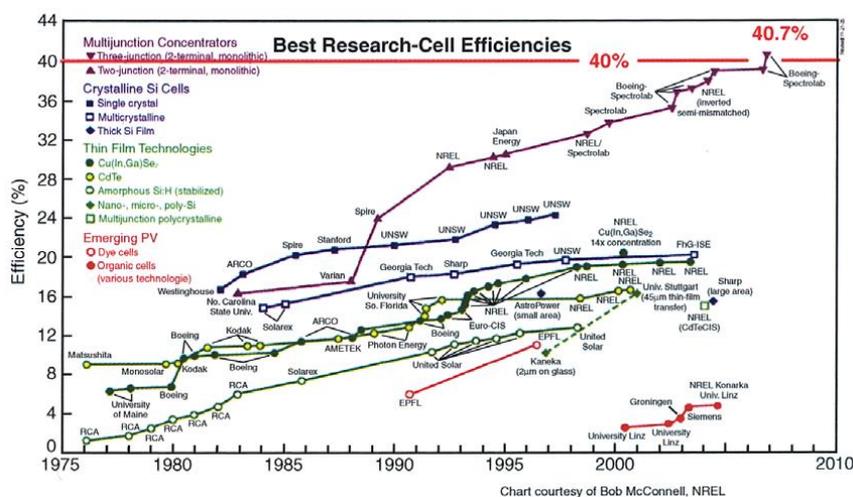


Figura 7: Evolución de paneles solares en diferentes tecnologías. Fuente (COIT, 2007)

“La importancia de la eficiencia del dispositivo frente a la reducción de coste de la célula solar, es que al aumentar aquélla disminuye proporcionalmente la superficie de colector (vidrio, encapsulante), soportes, terreno, cables, transporte, instalación, etc. Como cifra mágica se suele decir que ninguna tecnología con eficiencia menor del 10% tiene sentido en ningún nicho de aplicación frente a las demás”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.13)

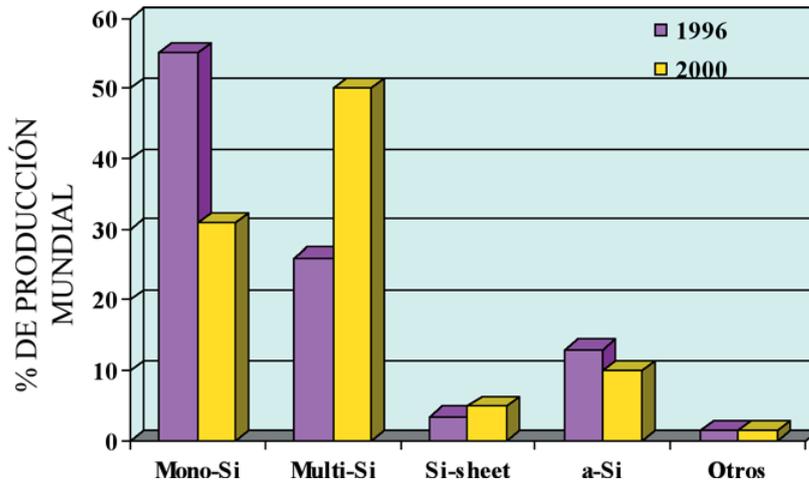


Figura 8: Producción mundial de paneles solares. Fuente (COIT, 2007)

“Por último nos preguntamos quiénes fabrican los módulos fotovoltaicos. La figura 9 responde a esta pregunta agrupando los productores en tres áreas del mundo: Europa, Japón y USA y resto del mundo (ROW o Rest of World). La escala es logarítmica y muestra un crecimiento del 20 al 30%. En 2001 se tuvo un crecimiento del 36,5 y hoy se crece al 40%. La explosión del mercado se produjo en 1998 con la promulgación de ayudas gubernamentales en Europa y Japón, en buena medida impulsadas por el compromiso de reducir las emisiones de CO2 suscritas en el Protocolo de Kyoto”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.13)

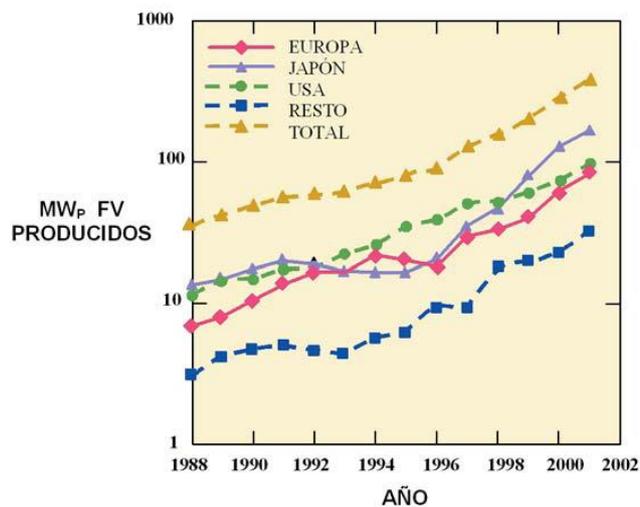


Figura 9: Fabricantes de módulos de paneles solares por países. Fuente (COIT, 2007)

“La producción europea actual está hoy dominada por Alemania, seguida de España. En 2001, España era líder y muy por detrás se hallaban Francia, Italia y Holanda. En el gráfico no se indica el lugar de destino final de los paneles: El

70% de los paneles de USA y el 80% de los españoles se exportan”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.14)

### 2.2.5. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

“Un sistema fotovoltaico consiste en más cosas que sólo módulos fotovoltaicos que contienen las células. Requiere otros elementos que se conocen genéricamente como BOS. Lo constituyen, típicamente, el acumulador electroquímico en caso de algunos sistemas aislados de la red, la unidad de control y el inversor (equipo electrónico), la estructura mecánica de soporte, el cableado eléctrico y los dispositivos de protección (fusibles, tomas de tierra e interruptores)”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.17)

“El reparto de costes de una instalación aislada con acumulación, se muestra en la figura 11. Vemos que los módulos representan aproximadamente un cuarto del coste total, siendo el coste de las baterías superior al de los módulos, sobre todo si se incluye la reposición periódica durante 20 años de operación. Así pues, aunque los módulos fueran gratis, sólo reduciríamos el coste de las estaciones aisladas en un 25%. Afortunadamente, muchas aplicaciones no necesitan acumuladores (bombeo de agua, riego, conexión a red) y están libres de esta carga económica”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.17)

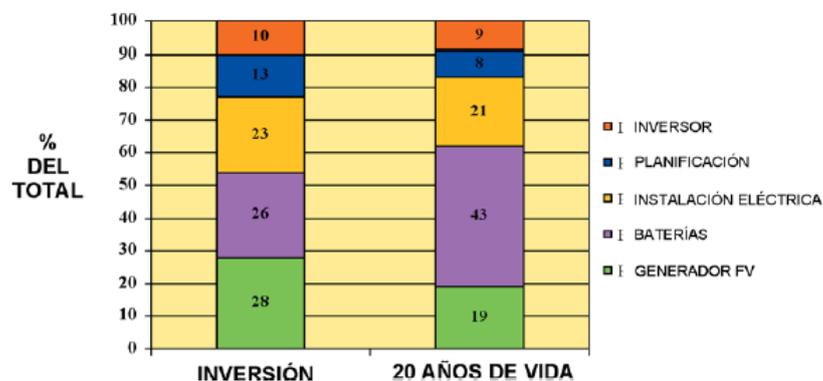


Figura 11: Reparto de costes de una instalación aislada con acumulación. Fuente (COIT, 2007)

“Brevemente diremos que las baterías más usadas y más convenientes son las de plomo-ácido para aplicaciones “estacionarias” o de “descarga profunda”.

Éstas permiten, a diferencia de las usadas en el automóvil, una descarga porcentual muy importante y funcionan eficientemente durante mucho tiempo, hasta 10 ó 12 años si son mantenidas adecuadamente”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.17)

“Un elemento imprescindible para mantener las baterías en buen estado es el regulador de carga, un equipo electrónico que impide la sobrecarga y evita la sobredescarga. En los sistemas híbridos tipo generador diésel-fotovoltaico o eólico-fotovoltaicos, se utiliza un sofisticado sistema de control para conectar uno u otro sistema según lo planificado, y también para priorizar las cargas manteniendo activas las esenciales en caso de escasez”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.17)

“Los inversores, en las instalaciones domésticas aisladas, convierten la energía eléctrica continua en alterna para permitir el uso de electrodomésticos convencionales; en la conexión a red el inversor no sólo convierte la energía continua en alterna sino que adapta la carga a la máxima potencia disponible en el generador fotovoltaico la cual, obviamente varía con la irradiancia incidente y con la temperatura de las células. Ambas acciones se realizan en tiempo real y además el inversor realiza servicios de supervisión, alarma de aislamiento, medida de potencia, y en un futuro próximo la detección de módulos en estado de mal funcionamiento. Si bien el coste del inversor es elevado como corresponde a un equipo electrónico de producción limitada, se espera que pueda reducirse sustancialmente. Sin embargo, la estructura mecánica de soporte será el segundo elemento de coste, después de los módulos, y será además difícil de reducir”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.18)

La figura 12 “muestra la influencia de la eficiencia en el precio para las distintas tecnologías disponibles, aunque no todas en el mismo tramo de energía. Las curvas se han dibujado hasta los máximos valores de eficiencia esperables para cada tecnología en los próximos 10-15 años”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.18)

Por último, mostramos la figura 13, en la cual figura la tabla “en la que se calcula el coste de la energía fotovoltaica producida por varias tecnologías. En ella se incluyen los concentradores de futuro, aunque ahora ya se están industrializando en Europa, Asia y USA. Vemos que, en el mejor de los casos, el coste de la fotovoltaica es el doble del actual precio medio de la electricidad, pero este precio puede ser atractivo para las compañías eléctricas porque la Energía Solar Fotovoltaica puede cubrir el suministro durante los picos de demanda (coincidentes con el sol tanto Energía Solar Fotovoltaica en la Industria como en el aire acondicionado) en los cuales los costes de producción convencionales son mucho mayores que 0.035S/./kWh. Además los precios de la electricidad convencional tienden a subir y la reducción de emisiones de CO2 se consigue con esta energía”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.18)

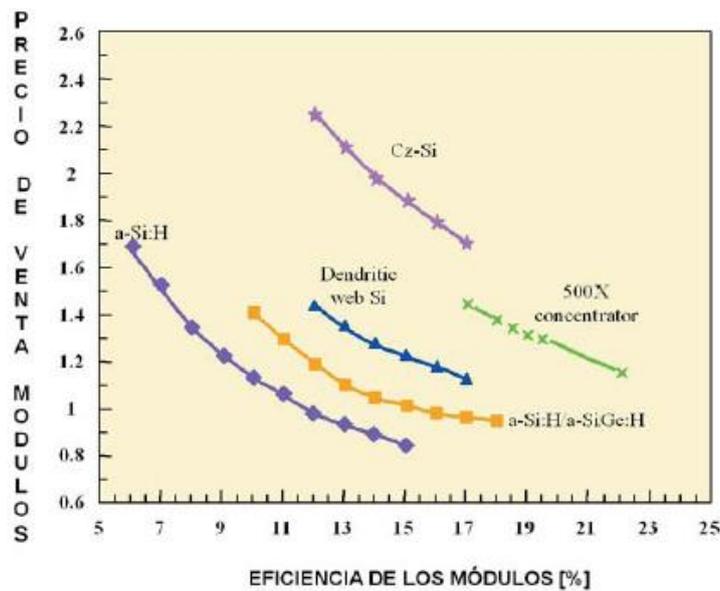


Figura 12: Eficiencia versus precio para diferentes tecnologías. Fuente (COIT, 2007)

	Concentradores Lentes de Fresnel	CIS
Energía producida (MWh)	140100	112000
Coefficiente de capacidad	32.0%	25.8%
Eficiencia anual energética	18.8%	9.9%
<b>Gastos anuales (\$10<sup>6</sup>)</b>		
Precio	16.69	11.95
Costes de operación y mantenimiento	0.61	0.18
Total	17.30	12.13
<b>Coste de energía a 30 años</b>		
Precio	0.119	0.106
Costes de operación y mantenimiento	0.004	0.002
Total (\$/kWh)	0.123	0.106

Figura 13: Coste de la energía fotovoltaica para varias tecnologías. Fuente (COIT, 2007)

## 2.2.6. LA INDUSTRIA FOTOVOLTAICA

“Con este nombre se tiende a identificar al conjunto de compañías que producen células solares o módulos fotovoltaicos. También están en el subsector fotovoltaico las firmas que fabrican equipos de producción específicos para la Industria fotovoltaica, desde el procesado de obleas a la fabricación y verificación de los módulos con simuladores y sistemas de adquisición de datos”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.20)

“Por tanto, el subsector fotovoltaico lo constituyen compañías industriales y de servicios que proporcionan multitud de elementos: Soportes metálicos especiales, obra civil, protección contra rayos, baterías, reguladores de carga con paneles fotovoltaicos, inversores, equipos de medida y control, unidades de control del seguimiento, aparellaje eléctrico, televigilancia para seguridad personal y bienes, telemida, bases de datos en internet, WiFi para control de equipos de seguimiento, medida e interruptores, equipos en Baja y Media Tensión, televigilancia de parámetros críticos, como el aislamiento y la suciedad, telemantenimiento, teletarifación y en el futuro, regulación por red de pequeñas redes distribuidas (varios caseríos, pueblos pequeños, etc). La Industria fotovoltaica mundial mueve ahora más de 7000 M\$ anuales, y cada año crece un 30% (se vende más potencia pero los precios van bajando). Muy distintas fuentes prevén una penetración del mercado de hasta 25-30% de la electricidad mundial en 2050 procedente de fuente fotovoltaica. Eso representa

para una eficiencia media de 20% que se producirán 200 GWp al año. Para tener idea del volumen diremos que si se montan sobre sistemas de seguimiento harán falta unos 10 millones de seguidores al año, lo que sitúa la Industria fotovoltaica al nivel del sector del automóvil”. (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2007, p.20)

## 2.2.7. INVERSORES

Según Wikipedia (2018) “un inversor es un dispositivo que cambia o transforma un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador”.

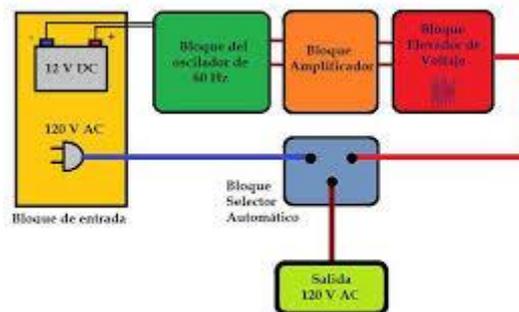


Figura 14: Diagrama de bloques de un inversor. Fuente (universidad san Carlos de Guatemala, 2014)

Según Wikipedia (2018) “los inversores se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, desde pequeñas fuentes de alimentación para computadoras, hasta aplicaciones industriales para controlar alta potencia.

Los inversores también se utilizan para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos, acumuladores o baterías, etc, en corriente alterna y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usados en instalaciones eléctricas aisladas.

Un inversor simple consta de un oscilador que controla a un transistor, el cual se utiliza para interrumpir la corriente entrante y generar una onda rectangular.

Esta onda rectangular alimenta a un transformador que suaviza su forma, haciéndola parecer un poco más una onda senoidal y produciendo el voltaje de

salida necesario. La forma de onda de salida del voltaje de un inversor ideal debería ser sinusoidal. Una buena técnica para lograr esto es utilizar la técnica de PWM logrando que la componente principal senoidal sea mucho más grande que las armónicas superiores”.

“Los inversores más modernos han comenzado a utilizar formas más avanzadas de transistores o dispositivos similares, como los tiristores, los triac , IGBT y MOSFETS.

Los inversores más eficientes utilizan varios filtros electrónicos para tratar de llegar a una onda que simule razonablemente a una onda senoidal en la entrada del transformador, en vez de depender de éste para suavizar la onda”. Wikipedia (2018)

“Se pueden clasificar en general en dos tipos: 1) inversores monofásicos y 2) inversores trifásicos.

Se pueden utilizar condensadores e inductores para suavizar el flujo de corriente desde y hacia el transformador.

Además, es posible producir una llamada "onda senoidal modificada", la cual se genera a partir de tres puntos: uno positivo, uno negativo y uno de tierra. Una circuitería lógica se encarga de activar los transistores de manera que se alternen adecuadamente. Los inversores de onda senoidal modificada pueden causar que ciertas cargas, como motores, por ejemplo; operen de manera menos eficiente.

Los inversores más avanzados utilizan la modulación por ancho de pulsos con una frecuencia portadora mucho más alta para aproximarse más a la onda seno o modulaciones por vectores de espacio mejorando la distorsión armónica de salida. También se puede predistorsionar la onda para mejorar el factor de potencia ( $\cos \Phi$ ).

Los inversores de alta potencia, en lugar de transistores utilizan un dispositivo de conmutación llamado IGBT (Insulated Gate Bipolar transistor o Transistor Bipolar de Puerta Aislada)”. Wikipedia (2018)



Figura 15: Inversor. Fuente (Sarcsa, 2018)

**Los inversores híbridos** son aquellos que se usan en instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo y su función principal reside en transformar la corriente continua en corriente alterna, al mismo tiempo que se encargan de almacenar y descargar la energía obtenida de sus placas solares en las baterías. Los inversores híbridos combinan la tecnología de la energía solar y la red eléctrica integrando de la mejor forma posible ambas fuentes de energía y dando prioridad a cada una según sus necesidades.

Este tipo de inversores es adecuado para instalaciones fotovoltaicas situadas en lugares donde no llega la red eléctrica o ésta es de muy baja calidad. El inversor híbrido aprovecha al máximo todos los recursos disponibles e intenta que el excedente de energía en la red eléctrica sea el menor posible y se acumule en baterías para que su consumo sea mucho más eficiente.

Los inversores híbridos son los inversores solares más completos, capaces de gestionar la energía procedente de: paneles solares, baterías, eólica, la red eléctrica, grupos electrógenos, etc.

Mientras la producción solar sea suficiente, los consumos de la vivienda serán suministrados a través de los paneles solares, si la producción de los paneles no pudiera abastecer todos los consumos de la vivienda suministraremos dicha energía de las baterías y en el caso de no poder abastecer los consumos desde paneles y baterías usaremos la red eléctrica. En el caso de tener un excedente de energía proveniente de los paneles solares, esa energía es almacenada en las baterías. Y para hacer el sistema lo más eficiente posible, nunca se cargarán las baterías desde la red eléctrica.



Figura 16: Inversor híbrido. Fuente (Ingeteam, 2018)

## 2.2.8. ACUMULADORES O BATERÍAS

“La disponibilidad de energía solar para producir la electricidad raras veces coincide con el tiempo cuando la necesitamos. En generadores hidroeléctricos se puede aumentar el flujo de agua con válvulas, pero no podemos regular el sol. **Balancear la energía entre la producción y el uso** es imprescindible”. Deltavolt (2018)

“**Almacenar la energía** se puede realizar en varias formas:

- **Térmica**, por ejemplo calentar y almacenar el agua en tanques aislados.
- **Mecánica**, por ejemplo aprovechando la energía potencial del agua en centrales hidroeléctricas reversibles, o la energía cinética de volantes de inercia (usados en locomotoras y los sistemas KERS de la fórmula 1).
- **Eléctrica** en condensadores eléctricos (supercondensadores y ultracapacitores por ejemplo en frenos regenerativos).
- **Química** en los diferentes tipos de baterías”. Deltavolt (2018)

“Todas estas formas tienen ventajas y desventajas, y en sistemas de energías solares, las más aptas son **baterías a base de plomo** (acumuladores). Otros tipos de baterías, sobre todo los de **Ion de Litio (Li-Ion)** están en desarrollo y cada vez más sustituyen las de plomo”. Deltavolt (2018)

“Las baterías pueden ser consideradas el talón de Aquiles de los sistemas tipo 'isla', estos sistemas que no son conectadas a la red. Baterías representan gran parte de la inversión pero tienen frecuentemente la vida más corta de toda la instalación. Además, baterías de plomo tienen riesgos importantes por ejemplo para la salud y el medio ambiente; reducir la frecuencia de cambiarlas contribuye significativamente a disminuir estos peligros”. Deltavolt (2018)

**“Todas las baterías funcionan bien al inicio, las diferencias se muestran en su expectativa de vida. Hay baterías que pueden durar más de veinte años y otras, bajo las mismas condiciones, duran menos que dos. Con baterías la expresión quien compra barato, compra dos veces es cierta”.** Deltavolt (2018)

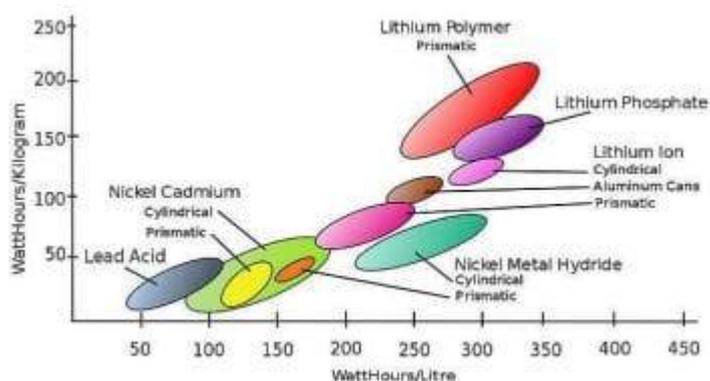


Figura 17: Inversor híbrido. Fuente (Deltavolt, 2018)

### 2.2.8.1. TIPOS DE BATERÍAS

“Hay diferentes tipos de baterías de plomo según el material de sus componentes. Para aplicaciones en sistemas fotovoltaicos se usa en la gran mayoría baterías a base de plomo por su buena relación del precio por energía disponible. Este tipo fue inventado ya en 1859 por el francés Gastón Planté”. Deltavolt (2018)

“La gráfica a la derecha muestra las diferentes tecnologías de baterías comparando sus capacidades en relación a su peso (eje vertical) y su volumen (eje horizontal). Las **baterías de ion de litio** como las usadas en celulares y computadoras tienen características superiores”. Deltavolt (2018)

“Actualmente se investiga fuertemente en mejorarlas y en el desarrollo de alternativas como por ejemplo los de **'litio-aire'** o de **litio de estado sólido**, principalmente motivado para solucionar los requerimientos de

energía en vehículos eléctricos. Aunque hay noticias muy prometedoras, hasta el momento hay pocas alternativas económicamente viables a los acumuladores de plomo”. Deltavolt (2018)

“Elon Musk de Tesla anunció en Abril 2015 el 'Powerwall' con 7kW (con baterías de litio NMO tipo 18650) a un precio de fábrica de solamente 3,000.-US\$ (sin inversor e sin instalación). Aunque barato para baterías de litio, todavía cuestan más que el doble que las industriales de plomo. Este anuncio alertó la competencia y por ejemplo Mercedes Benz ahora ofrece su propio sistema de almacenamiento. Actualmente existe una alta variedad de ofertas a precios cada vez más accesibles”. Deltavolt (2018)

“De interés para energías renovables son las baterías de litio-ferrofosfato (LiFePO<sub>4</sub>) que no contienen elementos tóxicos y tienen una eficiencia de hasta 98%. Se puede descargar por lo menos hasta un 20% de su capacidad y con un buen sistema de gestión (battery management system, BMS en inglés), pueden tener una vida **hasta más de 10,000 ciclos!** Son considerablemente más livianas y tienen menos volumen que baterías de plomo pero algo más que otras de litio. La gran desventaja actual es el alto precio inicial (aproximadamente tres veces de una batería de plomo). Considerando su gran cantidad de ciclos y consecuente larga vida, es un ejercicio de cálculo para comprobar su rentabilidad”. Deltavolt (2018)

#### 2.2.8.2. BATERÍAS DE PLOMO

“La mayoría de las **baterías de plomo** usadas en sistemas solares parecen a los que se usan en autos y camiones, pero son optimizadas para una aplicación diferente. Importante en los carros es la disponibilidad de mucha energía durante un tiempo muy corto, principalmente para arrancar el motor. Este alto flujo de amperes necesario se logra con capas de plomo delgadas”. Deltavolt (2018)

“En sistemas solares las baterías tienen que dar la energía sobre un tiempo relativamente largo y frecuentemente se descargan a niveles más bajos. Estas baterías de tipo **ciclo profundo** tienen capas de plomo gruesas que además brindan la ventaja de significativamente prolongar su vida. Estas baterías son relativamente grandes y pesadas por el plomo. Son compuestas de celdas de 2 voltios nominales que se juntan en serie

para lograr baterías de 6, 12 o más voltios para aplicaciones especiales”. Deltavolt (2018)

“Hay que diferenciar entre **baterías para el uso cíclico** (cargar y descargar diariamente) y las baterías para el uso en sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS). Estas solamente entran en función cuando hay un fallo de electricidad, pero normalmente son llenas. Internamente son diferentes, por ejemplo varía el porcentaje de antimonio en el ácido. Baterías para el uso en UPS frecuentemente no aguantan el uso cíclico en sistemas de energías renovables”. Deltavolt (2018)



Figura 18: Baterías. Fuente (Deltavolt, 2018)

#### 2.2.8.3. PELIGROS DE BATERÍAS DE PLOMO

“No hay que olvidar que aparte del **agresivo ácido sulfúrico** y los **gases explosivos** que pueden producirse en ciertas condiciones, el plomo es venenoso. Se acumula en los huesos y con el tiempo causa graves daños de salud. Sobre todo niños están en peligro. Por esto se prohibió el uso de plomo en los combustibles y pinturas. Es importante tenerlas en lugares ventilados y asegurados para evitar accidentes. Este problema es reducido pero no eliminado con los modelos VRLA sellados de gel o AGM. Por su contenido tóxico y agresivo, las baterías necesitan ser recicladas para no dañar la salud y el medio ambiente”. Deltavolt (2018)

#### 2.2.8.4. VIDA DE BATERÍAS SOLARES

“**La vida de las baterías** aparte de la edad, se mide en la cantidad de ciclos de cargar y descargar que se determinan a cierta profundidad de descarga a una temperatura específica (normalmente a 20 o 25°C). Traducida en años, y asumiendo un ciclo por día, baterías de calidad en

un ambiente normal, que no se descargan excesivamente y se carga correctamente, tienen una vida de por lo menos seis años, ocho a diez años es común y hay baterías industriales que después de 20 años todavía mantienen una capacidad de 80%. Aparte de la calidad de la fabricación y del tipo, la vida depende sobre todo de su manejo correcto”. Deltavolt (2018).

“Baterías representan una de las más costosas partes en sistemas solares y eólicos no conectados a la red y son la única parte a reemplazar periódicamente. Su vida, que depende en gran parte de un manejo adecuado, afecta directamente la economía del sistema (y el medioambiente). En este link detallamos algunos aspectos sobre la utilización correcta de baterías, que frecuentemente no recibe la atención adecuada”. Deltavolt (2018)

#### 2.2.8.5. CONDICIONES QUE AFECTAN LA VIDA DE BATERÍAS

“La mayoría de baterías de carros viven menos de 200 ciclos si se descarga regularmente a 50% de su capacidad. Baterías liquidas de ciclo profundo (incluso las 'selladas') son capaces de 400 ciclos, baterías de AGM y de Gel superan fácilmente 800 ciclos. Hay baterías para el uso industrial (por ejemplo los tubulares OPzS o OPzV) que pueden manejar bajo buenas condiciones más de 10,000 ciclos”. Deltavolt (2018)

Exponer las baterías a temperaturas elevadas o descargarlas por completo, aunque muy pocas veces, arruina este cálculo

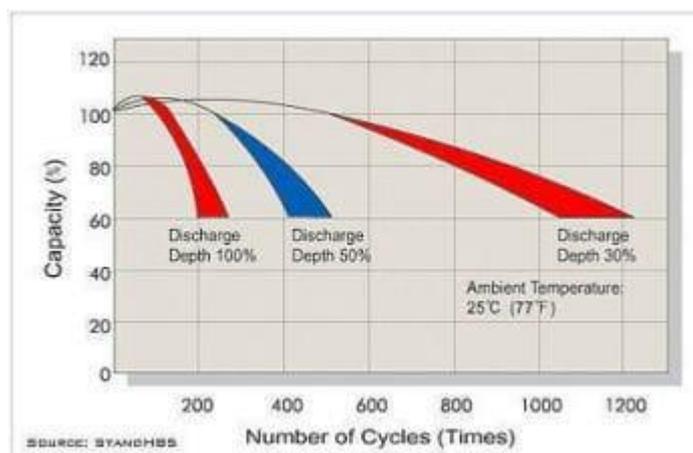


Figura 19: Tiempos de descargas de baterías. Fuente (Stanches, 2018)

“Todas las baterías a base de plomo necesitan (quizás como humanos) una buena alimentación (carga). Baterías de calidad, siempre llenas, sin sobrecargarlas, pueden vivir 10 años o más. Si se descargan frecuentemente en forma profunda (aunque el término 'ciclo profundo' sugiere diferente), mueren más rápidas. La ilustración a la izquierda muestra la profundidad de descarga versus el número de ciclos. Mantenerlos sin 'alimento' (carga) sobre un tiempo prolongado es su fin”. Deltavolt (2018)

“En la práctica es importante **instalar suficiente capacidad** para no descargar las baterías a menos de 50% de su valor nominal. (Nota: también se necesita suficiente capacidad de paneles solares o del aerogenerador para cargarlas por completo). Tener suficiente capacidad instalada además tiene el importante beneficio de aumentar las reservas por ejemplo para los días con poco sol o viento y para situaciones de emergencias cuando de repente se necesita más luz. Entonces, dependiendo de la necesidad de electricidad, es importante calcular un balance óptimo para la capacidad instalada. A lo largo es económicamente más favorable invertir en buenas y suficientes baterías”. Deltavolt (2018)

“**Lamentablemente mucha gente prefiere ahorrar en baterías con la sorpresa más adelante** de baterías muertas en poco tiempo. La entonces expresada opinión que las baterías son malas frecuentemente no es correcto, era su uso inapropiado - en su mayoría descargas profundas”. Deltavolt (2018)

#### 2.2.8.6. TEMPERATURA: FACTOR DECISIVO PARA LA VIDA DE BATERÍAS

“La **temperatura** tiene gran influencia sobre la batería. No quieren el frío, ni el calor: una temperatura entre 20 y 25°C es lo óptimo para una batería en uso”. Deltavolt (2018)

“A más alta temperatura, la vida es más reducida. Una temperatura 10 grados arriba de 25°C puede cortar la vida por la mitad. La gráfica de abajo ilustra este fenómeno”. Deltavolt (2018)

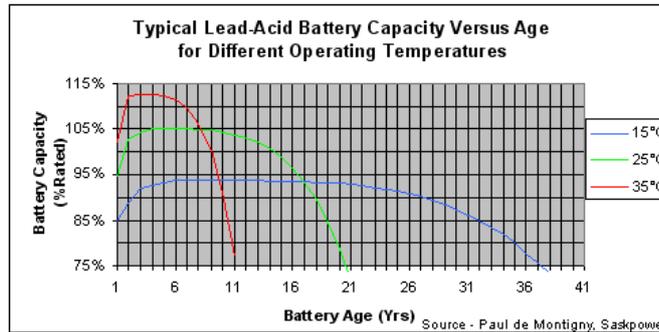


Figura 20: Tiempo de vida de batería vs temperatura de operación. Fuente (Sask power, 2018)

“Por otro lado la capacidad de almacenar energía disminuye en temperaturas bajas, pero no reduce la vida. Entonces para una batería sin uso, es preferible mantenerla a una temperatura más baja, pero sin congelarla”. Deltavolt (2018)

“La temperatura también influye como cargar una batería. Con el aumento de la temperatura hay que disminuir el voltaje para evitar una gasificación, pero todavía asegurando una carga por completo. Por eso, todos los controladores buenos tienen una **compensación de temperatura** incorporada. Recordamos que una gasificación en baterías selladas (libre de mantenimiento) no es recuperable: el líquido se pierde por las válvulas sin tener la posibilidad de rellenarlas”. Deltavolt (2018)

#### 2.2.8.7. EFICIENCIA DE BATERÍAS SOLARES

“La **capacidad** de las baterías varía según tipo, su calidad de construcción, la temperatura, vejez, y el estado de descarga. Una batería descargada con una corriente alta en poco tiempo tiene menos capacidad que la misma descargada con una corriente pequeña sobre un tiempo prolongado. Normalmente los fabricantes de baterías indican la capacidad de la batería descargada sobre 24 horas (C24), pero algunos miden la capacidad hasta 100 horas (C100) y así indican un valor comparativo más alto de la competencia”. Deltavolt (2018)

“Más importante es la diferencia entre la cantidad de energía que entra en la batería (cargando) y la que es disponible en la batería (descargando).

Esta **eficiencia de Coulomb** (también conocido como eficiencia de Faraday) es en baterías normales de plomo entre 70 y 85%. Significa por ejemplo que de 100Ah usados para cargar la batería, solamente entre 70 y 85Ah son disponibles, el resto de la energía se pierde principalmente en calor y el proceso químico. Las baterías de buena calidad, sobre todo los de tipo AGM, pueden tener una eficiencia hasta 95%. Esta pérdida frecuentemente se olvida en la planificación de sistemas con baterías”. Deltavolt (2018)

#### 2.2.8.8. TIPOS DE BATERÍAS DE PLOMO PARA APLICACIONES SOLARES

Se usan en la mayoría dos diferentes tipos de baterías de plomo:

1. “**Baterías Líquidas** son las más antiguas y su simple producción permiten precios favorables. Existen en **versión abierta** con tapas que dejan sustituir el agua o en **versión 'libre de mantenimiento'** que son cerradas, pero con válvulas para que posibles gases puedan escapar durante cargas excesivas (en la realidad no son libre de mantenimiento, son de bajo mantenimiento). Sus ventajas aparte de los precios es que son menos problemáticos si se sobrecargan. Las desventajas son que durante la carga escapa hidrógeno (explosivo), existe el peligro de perder el muy agresivo ácido, un control del nivel del agua es necesario (en las de 'libre mantenimiento' no se pueden sustituir el agua), y su corta vida típica de aproximadamente 400 ciclos de carga y descarga. Una ventilación es muy importante para estos tipos de batería y temperaturas bajo cero pueden destruirlas rápidamente”. Deltavolt (2018)
2. “**Baterías tipo VRLA** (abreviación del inglés: Valve Regulated Lead Acid battery). Estas baterías modernas tampoco son completamente selladas, pero contienen una tecnología que recombinan el oxígeno e hidrógeno que sale de las placas durante la carga y así eliminan la pérdida de agua si no son sobrecargadas. Estas baterías funcionan en cualquiera posición. Hay dos tipos principales: los de consistencia de Gel y los AGM, donde el ácido es fijado en fibra de vidrio (AGM -

absorbed glass mat). Ambas se puede usar en temperaturas bajas”. Deltavolt (2018)

- ✓ **“Baterías de Gel.** En estas baterías 'selladas', el ácido tiene la forma de gel. Su gran ventaja es que ya no hay un líquido que se puede perder, son cerradas y funcionan en cualquier posición. La corrosión es reducida y son más resistentes a bajas temperaturas. Su vida es mucho mayor que la vida de las baterías líquidas y comparado con otras, son las menor afectadas en casos de descargas profundas. Las desventajas son una resistencia interna poco más alta que reduce el flujo máximo de la corriente, son algo más delicadas para cargar y llevan un precio mayor. Estas baterías, por su larga vida, se usan frecuentemente en la industria y la telecomunicación”. Deltavolt (2018)



Figura 20: Batería Gel. Fuente (Ecosolar, 2018)

- ✓ **“Baterías tipo AGM.** En estas baterías, desarrolladas inicialmente para la aviación, el ácido está fijado en fibras de vidrio (a veces se llaman baterías 'secas' por su reducida cantidad de ácido). Cada vez más se usan en sistemas solares y eólicos. Sus ventajas son una alta resistencia en climas fríos, su auto descarga sobre el tiempo es mínimo y tiene la eficiencia más alta de todas las baterías de plomo (hasta 95%). Tienen una baja resistencia interna que permite corrientes altas. Desventaja, aparte del precio, es su vulnerabilidad más alta a descargas profundas. La vida puede variar considerablemente según calidad”. Deltavolt (2018)

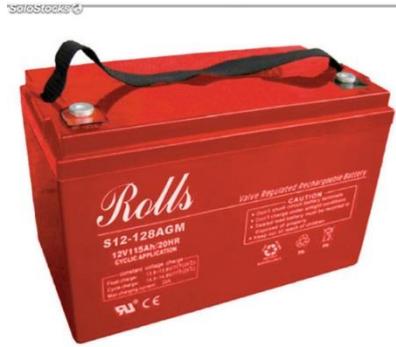


Figura 21: Batería AGM. Fuente (Rolls, 2018)

### 2.2.9. CONTROLADOR DE CARGA

Es un interruptor conmutador automático que dirige la energía a las baterías cuando están descargadas.

Tiene como funciones:

- Recibir energía de los Paneles Fotovoltaicos.
- Alimentar los Acumuladores.
- Alimentar la carga.

Puede cortar el suministro de corriente de ser necesario.

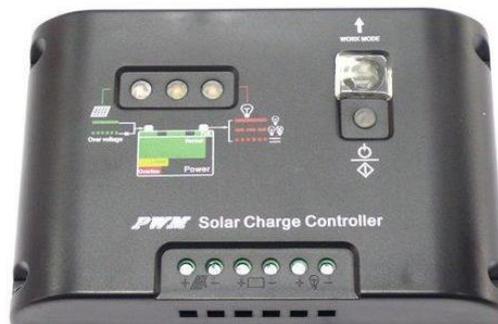


Figura 22: controlador de carga. Fuente (PWM, 2018)

### 2.2.10. SISTEMAS DE PROTECCIÓN

Será necesario proteger el sistema fotovoltaico mediante protecciones contra sobrecorrientes, mediante el uso de Interruptores termo-magnéticos Monofásicos o Trifásicos, Fusibles, relés, interruptores de maniobra.

## 2.3. TÉRMINOS BÁSICOS

**La hora solar pico:** “esta unidad denominada hora solar pico es muy usada en el campo de la energía solar fotovoltaica y su conocimiento resulta útil en el análisis de sistemas fotovoltaicos, como los instalados en las escuelas primarias rurales o en los consultorios del Médico de la Familia”.  
Panelessolaresfotovoltaicos.blogspot.com (2018).

“El origen e interpretación de la hora solar pico puede comprenderse a partir de las siguientes consideraciones:

La irradiancia solar sobre la superficie terrestre en un día cualquiera puede tener un comportamiento como el mostrado en la figura. La presencia de las nubes modifica esta distribución, pero en el presente análisis, no resulta esencial y no será tomada en cuenta.

La característica de esta distribución cambia según el verano o el invierno, algo también importante para un análisis integral a lo largo del año, pero para la interpretación de la hora solar pico mantendremos como referencia la distribución mostrada en la figura 23, como ejemplo de un día cualquiera”.  
Panelessolaresfotovoltaicos.blogspot.com (2018)

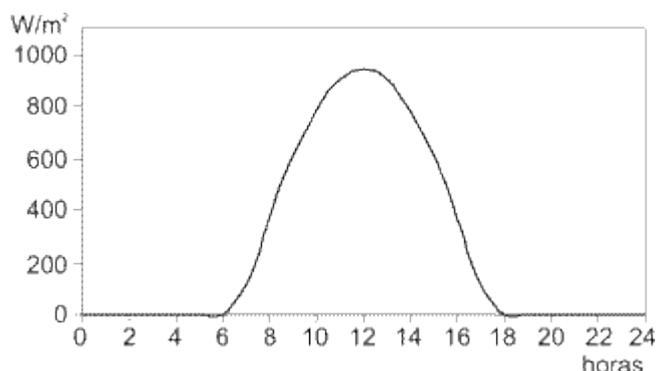


Figura 23: Distribución horaria de la irradiancia solar en un día sin nubes

“El cálculo de la energía total recibida en un metro cuadrado de superficie terrestre (o de un panel fotovoltaico) horizontal, es representado por el área bajo la curva de la figura 1, por lo que debe obtenerse un valor de 5 000 Wh/m<sup>2</sup> o 5 kWh/m<sup>2</sup>.

Este valor de 5 kWh/m<sup>2</sup> resulta de la suma o integración de la energía incidente en cada hora, tanto los menores valores de las horas tempranas o tardes del día, como los de mayores valores del mediodía.



Irradiación = (ancho) x (alto) = n (HSP) x 1 000 W/m<sup>2</sup>.

Utilizando ahora la unidad kW y precisando que n (HSP) = 5 h.

Irradiación = 5 h x 1 kW/m<sup>2</sup> = 5 kWh/m<sup>2</sup>.

“Obsérvese que el valor numérico de 5 (en kWh/m<sup>2</sup>), es igual al número de hora solar pico. Debe señalarse que esto último es sólo válido con las unidades aquí utilizadas y gracias al valor unitario de 1 kW/m<sup>2</sup>, por lo que al caracterizar la irradiación solar del día analizado, puede hacerse por: 5 kWh/m<sup>2</sup> o 5 HSP”.  
Panelessolaresfotovoltaicos.blogspot.com (2018).

“El objetivo práctico de todo lo anterior se observa al realizar el análisis o cálculo de la energía que produce un panel, a partir de una irradiación solar concreta”.  
Panelessolaresfotovoltaicos.blogspot.com (2018)

Para calcular la energía eléctrica que produce, por ejemplo, un panel fotovoltaico de 165 Wp, en un día caracterizado por 5 kWh/m<sup>2</sup>, el procedimiento es:

1. El valor de 5 kWh/m<sup>2</sup> se interpreta como 5 HSP.

2. La energía diaria se calcula por:

Energía diaria = potencia x tiempo.

Energía diaria = 165 Wp x 5 h = 825 Wh.

El cálculo es correcto, pues los 165 Wp se certificaron con una irradiancia de 1 kW/m<sup>2</sup>, lo cual coincide con la definición de HSP.

“Obsérvese que en este procedimiento no se requiere conocer ni introducir el área del panel, ni su eficiencia (lo cual hubiera sido necesario con el método 2); sólo se requiere conocer la potencia del panel (en Wp) y la irradiación solar (en kWh/m<sup>2</sup>), la cual se interpretará numéricamente en HSP. Todo esto simplifica el proceso.

Debe aclararse para el ejemplo (y en general) que 5 HSP no significa que existan 5 horas de Sol. En la figura 2 se puede observar que existen unas 12 horas de Sol. Las 5 horas se refieren a un Sol hipotético de 1 000 W/m<sup>2</sup> que logra, en sólo 5 horas, producir la misma irradiación que logra el Sol verdadero en 12 horas”.  
Panelessolaresfotovoltaicos.blogspot.com (2018)



## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

“La investigación apela a la fundamentación en leyes y teorías científicas, al método científico, así como a la recopilación de datos. Particularmente decanta el método deductivo; es decir; con los resultados del estudio arribamos a conclusiones basadas en una serie de afirmaciones (de lo general a lo particular), en la que cada afirmación es una premisa que prosigue en una suerte de cadena afirmaciones lógicas”. (Blauberg, 1978).

Para ello se planea una metodología o procedimiento ordenado que se sigue para establecer lo significativo de los hechos y fenómenos hacia los cuales está encaminado el significado de la investigación.

El alcance de la investigación se basa principalmente en dar una solución o conjunto de soluciones que puedan satisfacer nuestra hipótesis inicial la cual es poder determinar si la instalación de un sistema fotovoltaico es rentable a largo plazo. La solución dada tiene que ser real.

Para el presente trabajo de investigación se utilizará los siguientes:

- Método Sintético: Este método nos sirve para analizar el problema existente en el presente trabajo de investigación.
- Método Deductivo: Para el análisis y la observación se utilizara el método hipotético deductivo, que permite contrastar en la realidad una conjetura a

partir de un marco teórico que llevará a demostrar nuestra segunda variable, a partir de un modelo explicativo en un determinado momento del tiempo, llamado también estudio transversal, lo que significa que nuestra investigación será de tipo descriptivo no experimental, porque se efectuará en el año 2018.

- Método Inductivo: Nos permitirá ver el problema de manera particular para llegar a una conclusión.

### 3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para nuestra investigación tomemos el ejemplo de una vivienda común en la ciudad de Arequipa.

Según la encuesta de tenencia de artefactos para el hogar total interior urbano (fuente ENAHO 2012) tenemos los siguientes datos:

TENENCIA ARTEFACTOS PARA EL HOGAR  
TOTAL INTERIOR URBANO



	POR NSE					
	NSE A	NSE B	NSE C1	NSE C2	NSE D	NSE E
<b>LÍNEA BLANCA</b>						
Cocina a gas	99.5%	97.5%	96.9%	95.8%	89.9%	68.4%
Lavadora	90.5%	79.3%	46.6%	22.1%	7.3%	.5.0%
Refrigeradora	99.1%	95.3%	85.7%	71.2%	47.2%	11.8%
Microondas	89.8%	74.8%	39.7%	18.1%	5.4%	.6.0%
<b>LÍNEA MARRÓN</b>						
Televisor a color	100.0%	99.7%	98.1%	96.3%	88.2%	68.0%
Radio	62.2%	62.0%	61.1%	60.3%	60.5%	60.3%
Equipo de sonido	85.8%	75.9%	61.0%	53.6%	36.6%	21.2%
<b>CÓMPUTO</b>						
PC / Computadora de escritorio	92.5%	89.2%	72.2%	52.1%	22.1%	4.1%

Fuente: ENAHO 2012

Figura 25: Tenencia artefactos para el hogar. Fuente (ENAHO, 2012).

A continuación vemos el consumo estándar de algunos electrodomésticos comunes en las viviendas familiares de la ciudad de Arequipa:

**Tabla 1: consumo promedio de energía de electrodomésticos.**

Aparato electrodoméstico	Consumo	Consumo
--------------------------	---------	---------

	(en Kilovatio-hora)	(en vatio-hora)
computadora	0,30 kWh	300 Wh
equipo de audio (pequeño)	0,018 kWh	18 Wh
extractor de aire (cocina)	0,12 kWh	120 Wh
Congelador (1100 fg/h)	0,15 kWh	150 Wh
horno de microondas	1,30 kWh	1300 Wh
lámpara de 100 W	0,10 kWh	100 Wh
lámpara de 60 W	0,06 kWh	60 Wh
lámpara LED de 9.5 W	0.016 kWh	16 Wh
lámpara de 75 W	0,075 kWh	75 Wh
lavarropas automático	0,25 kWh	250 Wh
lavarropas semiautomático o manual	0,70 kWh	700 Wh
licuadora	0,35 kWh	350 Wh
lustraaspiradora	0,30 kWh	300 Wh
plancha (para ropa) automática	1,00 kWh	1000 Wh
plancha (de ropa) común	0,55 kWh	550 Wh
radio	0,015 kWh	150 W
radiograbador con CD	0,038 kWh	38 Wh
refrigerador (de 13 pies)	0,265 kWh	265 Wh
refrigerador con freezer (¼ HP)	0,150 kWh	150 Wh
refrigerador con freezer (½ HP)	0,368 kWh	368 Wh
secador de cabello mediano	0,70 kWh	700 Wh
televisor (21")	0,115 kWh	115 Wh
televisor (29")	0,205 kWh	205 Wh
tostadora	0,80 kWh	800 Wh
tubo fluorescente (105 Wh)	0,135 kWh	135 Wh

Fuente: Elaboración propia-SEAL:

Del cual extraeremos los artefactos que habitualmente consumen electricidad en los hogares de Arequipa.

**Tabla 2: Consumo promedio de energía de una vivienda en Arequipa.**

Aparato eléctricos	Potencia consumida (kW)	Tipo de utilización al día (horas)	Tiempo de utilización al mes (horas)	Consumo eléctrico diario (kWh)	Consumo eléctrico mensual (kWh)
Refrigeradora	0.150	24	720	1.800	54.00
Lavadora	0.250	1	30	0.250	7.50
Televisión	0.156	8	240	1.248	37.44
Alumbrado	0.15	6	180	0.900	27.00
Ordenador	0.30	6	180	1.800	54.00
Equipo de sonido	0.075	6	180	0.450	13.50
Radio	0.025	6	180	0.150	4.50
Microondas	1.2	0.5	15	0.600	18.00
Total	2.306			7.198	215.94

Fuente: Elaboración propia.

Utilizaremos para nuestros cálculos el **método del peor mes**.

1. Calcularemos el consumo total con los siguientes datos:

$$G_c = \frac{(100 + Eb) \times T1}{100}$$

$$G_A = \frac{(100 + Eb) \times T2}{Ei}$$

Donde

Ga es el consumo en corriente continua

Ga es el consumo en corriente alterna

Ei es la eficiencia del inversor

Eb es un margen de seguridad de captación, suele ser de un 15%

El consumo total Gt será la suma de Gc y Ga

CALCULO DE CONSUMO TOTAL (GT)			
MARGEN DE CAPTACIÓN	Eb	15	%
EFICIENCIA DEL INVERSOR	Ei	85	%
CONSUMOS EN CA	(100+Eb)XT2/Ei	9738.47	Wh/dia
CONSUMO TOTAL (GT)		<b>9738.47</b>	<b>Wh/dia</b>

2. Seguidamente para este método vemos la irradiancia en el peor mes en la ciudad de Arequipa:

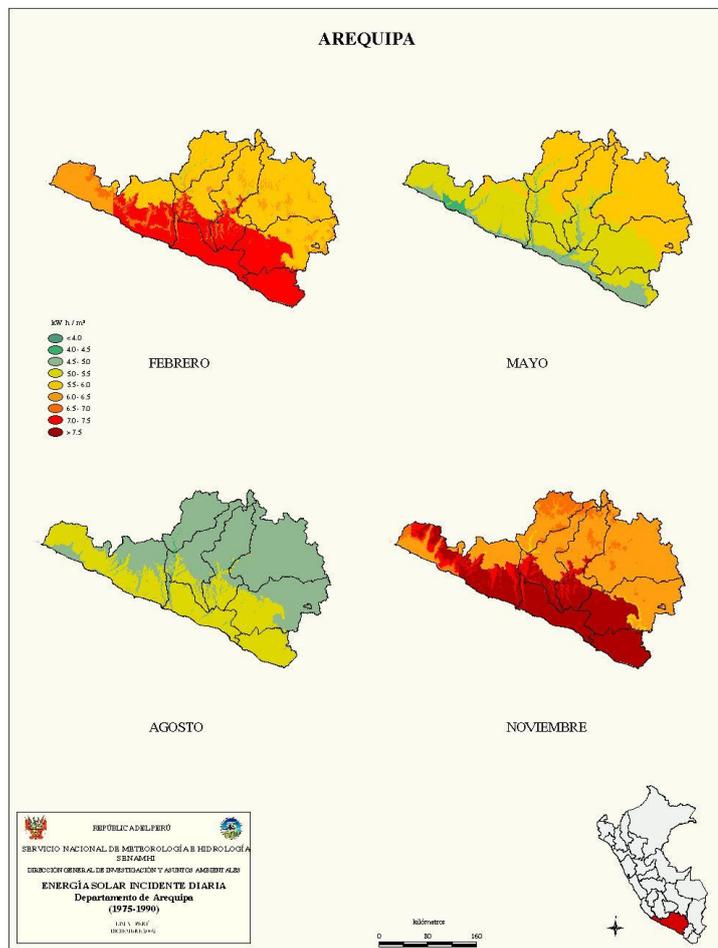


Figura 26: Irradiación solar en el Arequipa todo el año. Fuente (Atlas Solar, 2012).

Como se puede apreciar la irradiancia en el peor mes es en el trimestre de Mayo, Junio y Julio, siendo de 5.0 la peor irradiancia.

3. Seleccionamos la potencia obtenida por la radiación solar del peor mes: Como se puede ver la peor irradiancia según el atlas de energía solar del Perú está en la época invernal.

MES	IRRADIACIÓN KW/m2-DIA	ENERGÍA/DIA WATIOS
ENERO	7	7000

FEBRERO	7	7000
MARZO	7	7000
ABRIL	5.5	5000
MAYO	5	5500
JUNIO	5	5000
JULIO	5	5000
AGOSTO	5	5000
SETIEMBRE	5.5	5500
OCTUBRE	6	6000
NOVIEMBRE	6.5	6500
DICIEMBRE	6.5	6500

4. Determinamos la potencia máxima en las peores condiciones

Gt	Rd	P
9738.47	7000	1391.21
9738.47	7000	1391.21
9738.47	7000	1391.21
9738.47	5500	1770.63
9738.47	5000	1947.69
9738.47	5000	1947.69
9738.47	5000	1947.69
9738.47	5000	1947.69
9738.47	5500	1770.63
9738.47	6000	1623.08
9738.47	6500	1498.23
9738.47	6500	1498.23

Podemos ver que en las peores condiciones ambientales la potencia máxima es, Pmax: 1947.69.

5. Realizamos los cálculos para el sistema de captación (número de paneles)

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN		
Potencia de captación del panel elegido ( C )	320	Wp
Número de paneles (Np) Np=1,1xPmax/C	6.69, es decir 7.00	paneles
Potencia de Captación C x Np	2240.00	Wp

Dónde:

$N_p$  es el número de paneles

$P_{max}$ , representa el valor máximo de potencia instalada

$C$  es la potencia en Wp del panel seleccionado.

## 6. Conexión en serie y paralelo:

Según Sfe-solar (2018) “en la mayoría de proyectos fotovoltaicos, sobre todo de las instalaciones solares aisladas y dependiendo de la potencia de la instalación, será necesario asociar varias placas en serie o paralelo para obtener los niveles de tensión y corriente deseados”.

**Para la conexión de placas solares fotovoltaicas, hay tres opciones posibles:**

Según Sfe-solar (2018) “**conexión de placas solares en Paralelo:** se conectan todos los módulos por sus polos positivos y, por separado, por todos los polos negativos. Con esto, lo que conseguimos es aumentar la corriente generada en la rama (suma de las corrientes de cada panel) pero se mantiene la misma tensión que la de uno de los paneles que componen la rama”.

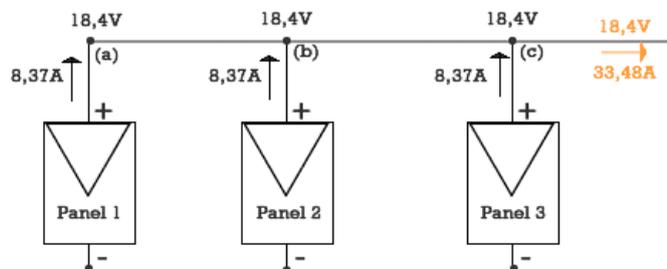


Figura 27: Conexión de placas solares en paralelo. Fuente (SFE-Solar, 2018).

Según Sfe-solar (2018) “podemos ver en el esquema, en color naranja tenemos los valores de salida del sistema de generación fotovoltaico (los llamados paneles solares de 12V por ser usados para sistemas aislados con baterías), donde la tensión de salida que tendremos sería 18,4V (pues los paneles están conectados en paralelo) y la corriente 33,48A (pues al estar en paralelo se suma la corriente de cada rama a, b y c)”.

**Conexión de módulos fotovoltaicos en Serie:** “para este tipo de configuración se conecta el polo positivo de un módulo, con el polo negativo del siguiente, así sucesivamente con cuantos paneles sean necesarios. Con esto se consigue aumentar la tensión y mantener el mismo valor de corriente generada”. Sfe-solar (2018)

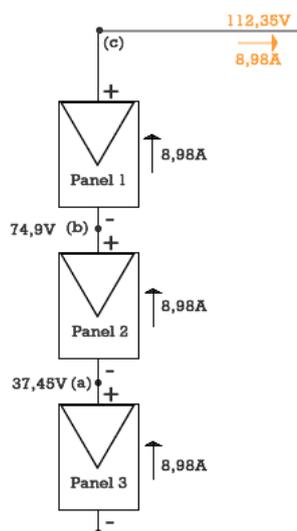


Figura 28: Conexión de placas solares en serie. Fuente (SFE-Solar, 2018).

“Podemos ver indicado en color naranja, a la salida de la rama (c), tendremos la tensión resultante de la suma de cada una de las tensiones de cada panel que componen la rama en serie (112,35V) y la corriente será la misma que la de uno de los paneles (8,98A)”. Sfe-solar (2018)

**Conexión mixta de placas solares:** “sería la última opción de configuración de las que nos podemos encontrar, en este caso sería una configuración donde encontramos ramas con paneles conectados en serie y a su vez, estas ramas, conectadas en paralelo”. Sfe-solar (2018).

Esta configuración se usa cuando debemos lograr unas corrientes y tensiones de salida muy determinadas, y entonces “jugamos” con las opciones que nos dan los distintos tipos de conexionado. Veamos un ejemplo al respecto:

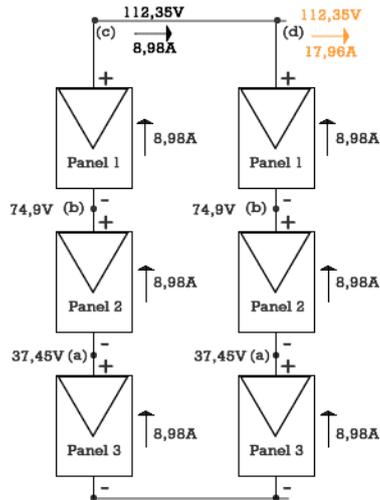


Figura 29: Conexión de placas solares en serie y paralelo. Fuente (SFE-Solar, 2018).

Según Sfe-solar (2018) “como podemos ver en el esquema eléctrico, en el punto (nodo) (c) de la primera rama (string) tenemos la suma de tensiones de los paneles y la corriente unitaria, en el punto (nodo) (d), que es la salida del sistema, tendremos la misma tensión de salida de cada una de las ramas, pero como corriente de salida será la suma de la corriente de salida de cada una de las ramas, al encontrarse las dos ramas conectadas en paralelo”.

## 7. Analizar calidades antes de comprar placas solares:

Si se quieren evitar muchos de los problemas que pueden dar unas placas solares de baja calidad y que algunos se pueden ver en la imagen, entonces es recomendable seguir estas recomendaciones:

Lo primero es consultar algún listado de tests de laboratorio oficiales donde se pueda ver qué marcas tienen mejores y peores resultados. El PV+Test hecho por el laboratorio Alemán, TÜV, es una buena referencia, aunque precisa de una actualización.

Lo siguiente sería consultar algún listado de lecturas de rendimiento reales de proyectos fotovoltaicos en funcionamiento. Algunos como el SunReport o el proyecto SolyRent son bastante interesantes como referencia.

Hay que desconfiar de aquellos fabricantes que dicen ser Alemanes, o Españoles o.... pero que fabrican en otros puntos del mundo. La mayoría no

son fabricantes, sino simplemente empresas que compran panel barato en Asia y le ponen su etiqueta de marca. Hay que huir de estos fabricantes que no son tal.

Es recomendable seleccionar fabricantes que lleven más de 10 años fabricando. El boom de la fotovoltaica a nivel mundial ha atraído multitud de fabricantes que no tienen el mínimo de experiencia ni curva de aprendizaje suficiente para dar una garantía de funcionamiento creíble y verificable.

Buscar información por la red. Hay multitud de datos que pueden dar una idea certera de que marcas son un valor real, casos como SunPower, Panasonic, LG, Aleo, SolarWorld, BenQ, SHARP o SolarWatt, sobre todo las dos primeras, son algunos de esos fabricantes en los que se puede confiar.

Por último, como no, preguntar a conocidos que tengan algún proyecto fotovoltaico y consultar sus experiencias. El 'boca a boca de toda la vida.

8. Se elegirá la celda solar, basado en la parte teórica mencionada en esta investigación: como se puede ver en la tabla

Elegiremos módulos solares policristalinos existentes en el mercado, ya que la eficiencia de este es 16.49%, casi igual que el de un monocristalino, además su tiempo de vida es de 25 años. Y sobre todo por su costo económico frente a los paneles solares monocristalinos.

También porque también Arequipa goza de días soleados continuos según el atlas de radiación solar.



Figura 30: Irradiación solar en invierno en Arequipa. Fuente (Atlas Solar, 2012).

## **DATOS DEL MODELO JKM320PP-72 DE LA MARCA JINKO**

### **Datos técnicos**

Type	PID Free Polycrystalline 72-cell Module
Output	Up to 320Wp
Efficiency	Up to 16.49%
Junction Box	IP67
Weight	26.5 kg
Temp. Coefficients of Pmax	-0.40%/°C

- Primer módulo 100% libre de PID a nivel mundial bajo condiciones de humedad relativa(RH) de 85°C/85%: sin pérdida de energía causada por degradación potencial inducida.
- Módulo policristalino de 72 células con potencia de hasta 320Wp.
- Módulo certificado con alta resistencia mecánica a cargas de viento (2400 Pascal) y cargas de nieve (5400 Pascal).
- Excelente rendimiento con escasa luz gracias a la optimización del diseño de la célula solar.
- Resistente al amonio y a la niebla salina para un rendimiento óptimo en áreas agrícolas y costeras.

**Precios S/. 906.00**

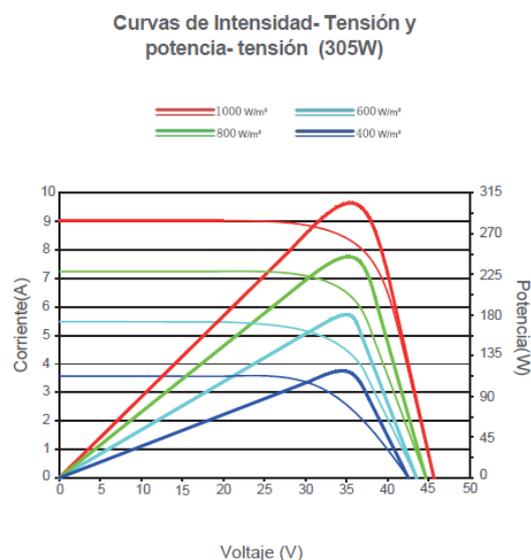


Figura 31: Curva intensidad, tensión y potencia de celda solar JINKO. Fuente (JINKO, 2018).

Características mecánicas	
Tipo de célula	Policristalina 156×156 mm (6 pulgadas)
Nº de células	72 (6×12)
Dimensiones	1956×992×40mm (77,01×39,05×1,57 pulgadas)
Peso	26,5 kg (58,4 libras.)
Vidrio frontal	4,0mm, alta transmisión, bajo contenido en hierro, vidrio templado
Estructura	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexión	Clase IP67
Cables de salida	TÜV 1×4,0 mm <sup>2</sup> , Longitud: 900mm

Figura 32: Características, mecánicas celda solar JINKO. Fuente (JINKO, 2018).



Figura 32: Celda solar de 320 Wp marca JINKO. Fuente (JINKO, 2018).

9. Se comprara 8 celdas solares, según lo hallado en el ítem 5 de esta investigación:

ÍTEM	CANTIDAD	P/U	TOTAL
CELDAS SOLARES	7	906.00	6342.00

Los Precios Están En soles.

Estas celdas ocuparían un área **de 14 metros cuadrados, lo cuales pueden ser instalados en el techo de la vivienda**

10. Seguidamente compramos el inversor, de acuerdo al mercado en la ciudad de Arequipa, tenemos lo siguiente:

Como nuestra **potencia demandada es 2306.00 watts**, entonces necesitaremos un inversor o grupos de inversores que sumen esta potencia,

asumiendo que en un momento dado todos los equipos estén conectados a la red.

En el mercado hay inversores de 24V/1200 W, que son muy comunes, elegiremos este, debido a la facilidad de compra y que nos ofrece una conversión lineal de energía. Elegiremos una marca que cumple las condiciones dadas como lo es: la marca PHOENIX cuyo costo es de 1500 soles

ÍTEM	CANTIDAD	P/U	TOTAL
INVERSORES DE 24V/1200W	2	1500.00	3000.00

11. Dimensionamos el banco de baterías de nuestro sistema:

<b>DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN</b>		
DÍAS DE AUTONOMÍA (D)	0.33	DÍAS
PROFUNDIDAD DE DESCARGA MÁXIMA (M)	90	%
TENSIÓN DE TRABAJO	24	
CAPACIDAD DE SISTEMA DE ACUMULACIÓN (Q)		
$Q=(110 \times G \times T \times D)/(T \times M)$	<b>163.66</b>	<b>Ah en C100</b>

Dónde:

Gt es el consumo total

D es el número de días de autonomía

M es la tensión de trabajo

T es la profundidad de descarga de las baterías.

12. Como las baterías fabricadas son de 12 voltios, tendremos que comprar 2 baterías de 12 voltios y ponerlas en serie de dos baterías , con lo cual obtendremos los 24 voltios y profundidad de descarga de 200Ah, por lo tanto elegiremos una batería en el mercado de 12 Voltios y de profundidad de descarga de 200Ah

**BLUESUN**



Figura 33: Batería BLUESUN de 200Ah. Fuente (BLUESUN, 2018).

ÍTEM	CANTIDAD	P/U	TOTAL
BATERÍAS DE 1 CICLO PROFUNDO/GEL 12 V 200AH	2	400.00	800.00

Sus características son:

**Detalles rápidos**

Lugar del origen:	Anhui, China (Mainland)	Marca:	Casa SOLAR	Número de Modelo:	FCD-200
Aplicación:	Sistema de energía Solar, S...	Voltaje:	12V	Tipo de sellado:	Sellado
Tipo de manteni...	FREE	Talla:	532x206x212mm	Peso:	59,6 kg
Capacidad nominal:	200AH	Tipo:	Acumulador solar	Tipo de batería:	Batería de plomo sellada
Terminal:	Terminal de cobre	Certificado:	CE/ISO9001/ISO14001/Ro...	Material:	Alta plomo puro 99.9994%
Capacidad:	200AH	Garantía:	3 años 12 V 200AH batería...	Color:	Blanco y Negro
Separador:	De fibra de vidrio				

13. Tendremos que comprar un regulador de carga, de acuerdo al cálculo siguiente:

Potencia: 2306 watts

Voltaje 220 voltio

Amperaje: 10.48 amperios

Elegiremos uno de 15 amperios.



Figura 34: Regulador de carga marca MINO. Fuente (MINO, 2018).

ÍTEM	CANTIDAD	P/U	TOTAL
REGULADOR CARGA 15A MINOV2 ATERSA	1	208.00	208.00

14. El costo de instalación de una vivienda con paneles solares sería entonces, :

ÍTEM	CANTIDAD	P/U	TOTAL
CELDA SOLARES	7	906.00	6342.00
Baterías de 1 ciclo profundo/Gel 12 V 200AH	2	400.00	800.00
Regulador Carga 15A minoV2 ATERSA	1	208	208.00
INVERSORES DE 24V/1200W	2	1500.00	3000.00
OTROS GASTOS			200.00
<b>TOTAL</b>			<b>10550.00</b>

### 3.3. UNIDAD DE ESTUDIO

La unidad de estudio en este proyecto de investigación es los tipos de sistemas fotovoltaicos existentes en el mercado de Arequipa. De la gran variedad de estos existen hemos podido escoger el más óptimo y que nos brinde a larga un beneficio económico.

Por lo tanto este trabajo de investigación no tiene población ni muestra.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

Nuestra investigación determinara si instalar un sistema fotovoltaico en una vivienda promedio en la ciudad de Arequipa, resulte en un tipo de ahorro económico en el tiempo.

Del tratamiento podemos decir que la instalación de un sistema fotovoltaico tiene un costo aproximado de 11350 soles, para una vivienda que consume 264,46 Kwh al mes.

Ahora veamos cuanto nos costaría pagar ese consumo en la empresa proveedora de electricidad (SEAL) de acuerdo a nuestro consumo mensual.

Primero, vemos que nuestra vivienda está ubicada en el plan tarifario **BT5 B**, la cual mide **Tarifa Con Simple Medición De Energía**. Entonces de acuerdo a la facturación de SEAL tendremos lo siguiente:

El consumo de energía mensual es de 215.94 Kwh, de acuerdo al costo, publicado en SEAL el costo por Kwh es de: S/. 0.5565.

ALUMBRADO PUBLICO	12.10
CARGO FIJO	3.22
ENERGÍA	120.17
MANTENIMIENTO Y REPOSICIÓN DE LA CONEXIÓN	1.31
SUBTOTAL	136.80
IGV (18%)	24.62
ELECTRIFICACIÓN RURAL	1.56
<b>TOTAL</b>	<b>162.98</b>

Concluimos que el pago mensual a SEAL sería de 162.98 soles mensuales.

## 4.2 PRUEBA DE HIPÓTESIS.

Veamos si nuestra hipótesis realmente se cumple.

- El costo de consumo anual de energía facturado por SEAL sería en el término de un año.

CONSUMO DE ENERGÍA MENSUAL SEGÚN FACTURACIÓN SEAL	
ENERO	S/. 162.98
FEBRERO	S/. 162.98
MARZO	S/. 162.98
ABRIL	S/. 162.98
MAYO	S/. 162.98
JUNIO	S/. 162.98
JULIO	S/. 162.98
AGOSTO	S/. 162.98
SETIEMBRE	S/. 162.98
OCTUBRE	S/. 162.98
NOVIEMBRE	S/. 162.98
DICIEMBRE	S/. 162.98
<b>TOTAL ANUAL</b>	<b>S/. 1955.76</b>

- Veamos en que tiempo alcanza el equilibrio de inversión nuestro sistema fotovoltaico:

$$\text{Punto de equilibrio} = 10550 / 1955.76 = 5.40 \text{ años.}$$

Entonces de acuerdo al resultado vemos que en 5.40 años, el punto de equilibrio es alcanzado, es decir a partir de esa fecha el costo de generación de energía eléctrica es cero soles.

- De acuerdo a las características del sistema fotovoltaico instalado, nos ofrecen una eficiencia de generación de energía de 20 años. Es decir que **tendrá 14.6 años generación eléctrica en forma gratuita**, el cual no erogará costo alguno al consumidor de la vivienda.

- Vemos que efectivamente se cumple con nuestra hipótesis, el de poder determinar un sistema fotovoltaico económico y que nos permita un ahorro económico a los largo del tiempo.

### **4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Los resultados han cubierto las hipótesis planteadas en esta investigación, y se han planteado la vía de solución admisible.

La solución está basada en conocimientos solidos de ingeniería. Y su aplicación es plausible y ejecutable.

Con la implementación de esta solución, las viviendas domiciliarias de Arequipa pueden tener energía eléctrica “verde” muy económica.

## CONCLUSIONES

1. Se hizo la propuesta del diseño de un sistema fotovoltaico rentable en el tiempo, el cual tiene un punto de equilibrio económico a los 5.4 años, a partir del cual La generación de energía tendrá un costo cero de producción, hasta el tiempo de vida de las celdas solares (20 años). Esta producción de energía de costo cero repercute en ahorro de dinero en los gastos mensuales de las familias que habitan las viviendas de la ciudad de Arequipa.
2. El modelo propuesto de diseño es un **modelo realizable**, que es real, con hojas de datos de los fabricantes al año 2018, los cuales tienen una eficiencia de 16.5% en conversión de energía solar.
3. Los equipos a utilizar en este diseño actualmente están ofertados en el mercado de Arequipa en lo que respecta a venta de equipos de generación fotovoltaica.
4. La contribución a la reducción de la huella de carbono también es otro punto importante en esta investigación, ya que la implementación de esta propuesta ayudaría a reducir considerablemente la huella de carbono global de la ciudad de Arequipa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- 1 BAYOD, Angel, *Sistemas fotovoltaicos*, F. and Rubio, 1<sup>a</sup>. ed. Prensas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza, 2009. 336 pp. ISBN 9788492521944.
- 2 Ó. Perpiñán, A. Colmenar y M. Castro, *Diseño De Sistemas Fotovoltaicos*, 1<sup>a</sup>. ed. Progensa, 2012, 1152 pp. ISBN: 978-84-95693-72-3.
- 3 COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN, *Energía Solar Fotovoltaica*, 1<sup>a</sup>. ed. Ibergraphi, Madrid, 2002, 105 pp, ISBN: 978-84-935049-6-0.
- 4 Lozano, Jorge, *Conversión de energía*, 1<sup>a</sup>. ed. Universidad continental, Huancayo, 2015, 247 pp.
- 5 El desarrollo de la energía solar en el Perú, PUCP. 01 de marzo 2017, [consulta: 01 Octubre 2018]. Disponible en <http://gruporural.pucp.edu.pe/nota/el-desarrollo-de-la-energia-solar-en-el-peru/>
- 6 Paneles solares, tipos y eficiencias, Deltavolt, ©2003-2016, [consulta: 29 Setiembre 2018]. Disponible en <http://deltavolt.pe/>
- 7 Módulos fotovoltaicos, Jinko Solar, ©2013, [consulta: 29 Setiembre 2018]. Disponible en : <http://www.jinkosolar.com/>
- 8 Inversor (electrónica), Wikipedia: la enciclopedia libre. 27 jun 2018, 21:58 [consulta: 01 Setiembre 2018]. Disponible en [https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor\\_\(electronica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_(electronica))