

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



TESIS

**RELACIÓN DE POTENCIA DE ENTRADA Y SALIDA DE UN INVERSOR COMO
MEDIDA DE LA EFICIENCIA DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y SU
ADAPTACIÓN A LA RED DE DISTRIBUCIÓN**

PRESENTADA POR:

CARLOS ALBERTO CCAMA POLANCO

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAGISTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
MENCION EN GESTIÓN AMBIENTAL DE LA ENERGÍA**

PUNO, PERÚ

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

MECÁNICA ELÉCTRICA

TESIS

RELACION DE POTENCIA DE ENTRADA Y SALIDA DE UN INVERSOR COMO
MEDIDA DE LA EFICIENCIA DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y SU
ADAPTACIÓN A LA RED DE DISTRIBUCIÓN

PRESENTADA POR:

CARLOS ALBERTO CCAMA POLANCO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL DE LA ENERGÍA

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE


.....
Dr. EDUARDO FLORES CONDORI

PRIMER MIEMBRO


.....
Mg. GREGORIO MEZA MAROCHO

SEGUNDO MIEMBRO


.....
Mg. JULIO CESAR VILLALTA PACORI

ASESOR DE TESIS


.....
Mg. OLGER ALEJANDRINO ORTEGA ACHATA

Puno, 19 de Diciembre del 2014

ÁREA: Gestión ambiental de la energía.

TEMA: Relación de potencia de entrada y salida de un inversor como medida de la eficiencia de la energía fotovoltaica y su adaptación a la red de distribución.

LÍNEA: Gestión de la energía.

DEDICATORIA

A Dios nuestro padre por permitirme llegar hasta este punto académico y darme salud para logro mis objetivos.

A mis Padres Mario Ccama Ramos y Rosario Doris Polanco Huamaní por su abnegada y esforzada labor en mi formación como persona y profesional.

A mi esposa a mis hijos y hermanos por darme la fuerza necesaria en los momentos más difíciles.

A mis maestros aquellos que marcaron cada etapa de mi vida universitaria y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de mi tesis.

AGRADECIMIENTOS

- A Dios por regalarme un día más de vida y por permitirme conocer a personas extraordinarias que hicieron posible la culminación de mi tesis.
- A mi Universidad Nacional del Altiplano, por acogerme y convertirme en un profesional de éxito.
- A mi Asesor Mg.Olger Alejandrino Ortega Achata, Gratitude infinita y reconocimiento por hacer posible el logro del presente trabajo de investigación.
- A mis Jurados de tesis Dr. Eduardo Flores Condori, Mg. Gregorio Meza Marocho, Mg. Julio Cesar Villalta Pacori, por sus recomendaciones y sugerencias proporcionadas para la presentación y culminación de la presente tesis.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	14

CAPÍTULO I**PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN**

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.1.1. Pregunta General	17
1.1.2. Preguntas Específicas	17
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	18
1.3.1. Hipótesis General	18
1.3.2. Hipótesis Específicas.....	18

CAPÍTULO II**MARCO TEÓRICO**

2.1. ANTECEDENTES.....	19
2.2. MARCO REFERENCIAL	23

2.2.1. Adaptación a la red de distribución	23
2.2.3. Generador Fotovoltaico	29
2.2.4. Inversor	29
2.2.5 Características de los inversores para instalaciones conectadas a red	33
2.2.6. Normas nacionales y estándares internacionales de calidad de energía	38
2.2.7. Técnica de edificación EM080 instalaciones con energía solar en el Perú.....	39
2.2.8. Calidad de la energía eléctrica generada a partir de fuentes solares fotovoltaicas en el Perú	47
2.2.9. El Inversor	47
2.2.10. Inversores basados en dispositivos semiconductores	50
2.2.11. Inversor multinivel.....	50
2.2.12. Modelo teórico del inversor	54
2.2.13. Criterios para la selección del modelo	55
2.2.14. Modelo matemático para el inversor	56
2.2.15. Eficiencia del inversor	57
2.2.16. Curvas de eficiencia de los inversores.....	59
2.2.17. Conexión a la red.....	59
2.2.18. Tipos de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red	60
2.2.19. Sistemas fotovoltaicos en edificios	61
2.2.20. Huertos o centrales eléctricas fotovoltaicas.....	62
2.2.21. Formas de conectarse a la red	65
2.2.22. Tarifa fotovoltaica	65

2.2.23. Facturación neta	66
--------------------------------	----

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	68
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	68
3.3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	69
3.3.1. Método de Investigación	69
3.3.2. Técnicas para recolección de datos	69
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN	70
3.4.1. Población	70
3.4.2. Muestra	70
3.5. VARIABLES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	70
3.5.1. Variable Dependiente	70
3.5.2 Variable Independiente	70
3.5.3 Indicadores	70

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE UN INVERSOR FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA	71
4.1.1. Análisis del aprovechamiento energético	71
4.1.2. Eficiencia	71
4.1.3. Calculo del rendimiento	73
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	90



BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXOS	95

ÍNDICE DE CUADROS

1. Parámetros referidos a la salida del inversor	83
2. Eficiencia Obtenida	84
3. Eficiencia Obtenida	85

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica.....	26
2. Retos Energéticos.....	27
3. Esquema general del proceso en una célula fotovoltaica	28
4. Efecto Fotovoltaico.....	29
5. Instalación Fotovoltaica Conectada a la Red	36
6. Inversor Multinivel de 3 niveles	54
7. Curva de eficiencia de inversores	57
8. Rendimiento de un inversor SUNNY MINI CENTRAL 4600A	58
9. Curvas de eficiencia para los tres tipos de inversores seleccionados.....	59
10. Edificio con fachada fotovoltaica.....	62
11. Central solar repartición 22MWP (Arequipa-Peru)	64
12. Circuito del inversor para simular la eficiencia	73
13. Curva de eficiencia de un inversor	75
14. Curva de eficiencia de un inversor en Matlab	76
15. Curva de eficiencia de un inversor en Matlab	77
16. Eficiencia del Inversor.....	81
17. Curva de eficiencia de los datos de la tabla anterior	83
18. Curva de eficiencia de los datos de la tabla anterior	85
19. Curva de eficiencia del Inversor SMA-SMC 500A.....	87
20. Curva de eficiencia global	87

ÍNDICE DE ANEXOS

1 Características técnicas del Inversor SMC 600A 96

RESUMEN

La finalidad de esta tesis es conocer la información técnica del inversor como parte del sistema de generación de energía solar fotovoltaica y su adaptación a la red de distribución eléctrica en la ciudad de Puno. En primer lugar se presentan los conceptos básicos generales que se requieren conocer para poder abordar información más técnica, tales como energía solar fotovoltaica, el inversor, los inversores multinivel, eficiencia del inversor y como este dispositivo nos permite realizar una adaptación a la red eléctrica y así mismo afirmar que se debe tener en cuenta este tipo de energía renovable en futuros proyectos locales, regionales y nacionales para el desarrollo de nuestro país y al mismo tiempo contribuir con nuestra matriz energética y contribuyendo con la protección del medio ambiente. En segundo lugar se procede a investigar la eficiencia del inversor esto a gracias al análisis europeo y americano en referencia a la eficiencia de los inversores y como este asegura un nivel de onda senoidal cercana al 100% para operación de inyección y comprobar la eficiencia del inversor y de esta manera asegurar que el sistema de generación de energía solar fotovoltaica puede ser adaptado a la red eléctrica Finalmente se presentan las conclusiones en virtud al objetivo principal que es confirmar que el inversor nos permite una relación de potencia de entrada y salida cercana al cien por ciento como medida de la eficiencia de la energía fotovoltaica y su adaptación a la red de distribución.

Palabras clave: Eficiencia, energía, fotovoltaica, generación, inversor.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to learn the technical information of the investor as part of the generation system of solar photovoltaic and its adaptation to the electricity distribution network in the city of Puno. First the general basic concepts needed to know to tackle more technical, such as solar photovoltaics, inverter, multilevel inverters, inverter efficiency information and how this device allows us to adapt to the grid are presented and likewise affirm that it should consider this type of renewable energy in future local, regional and national development of our country projects while contributing to our energy and contributing to environmental protection. Secondly we proceed to investigate the efficiency of the inverter this to thank the European and American analysis referring to the efficiency of investors and as this ensures a level close sine wave at 100% for injection operation and verify the efficiency of the inverter and thus ensure that the system of photovoltaic solar power generation can be adapted to the mains Finally, conclusions are presented under the main objective is to confirm that the investor allows a ratio of input power and output close to one hundred percent as a measure of the efficiency of photovoltaics and its adaptation to the distribution network .

Keywords: Efficiency, energy, generation, inverter. photovoltaic.

INTRODUCCIÓN

Entre las diferentes formas de producción de energía, en este proyecto, se investiga la eficiencia del inversor en un sistema de generación de energía solar fotovoltaica y la adaptación a la red eléctrica.

En base al notable crecimiento demográfico de muchas ciudades de la región, la necesidad de energía eléctrica es una realidad y teniendo en cuenta que estamos en el deber de cuidar nuestros recursos naturales, aprovechando las energías renovables como es el caso de la generación de energía solar fotovoltaica. En la región Puno, y en sus principales capitales de provincia como son las Ciudades de Puno, Juliaca e Ilave, el uso de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables no está siendo aprovechado; bajo estas circunstancias se muestran en este trabajo de investigación cuatro capítulos, conclusiones y recomendaciones que a continuación se detallan:

En el Capítulo I de la problemática se plantea el problema de investigación, se realiza la interrogante, una general y dos específicas, se formula objetivos en relación al planteamiento de los problemas y sus respectivas hipótesis.

En el Capítulo II se desarrollan los antecedentes en torno a la investigación realizada y el marco teórico y referencia.

En el Capítulo III se describe la metodología que ha sido utilizado para la obtención de los resultados, se presenta la población, muestra y se describe el ámbito de estudio.

En el Capítulo IV se muestra y presenta cuadros y figuras a fin de interpretar los resultados obtenidos de la investigación, luego la contratación de Hipótesis.

Luego de los Capítulos se presenta las conclusiones recomendaciones a las que arribo producto de la investigación, finalmente se detalla la bibliografía y los anexos.

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La carencia del servicio de energía eléctrica es uno de los principales obstáculos para el mejoramiento de la calidad de vida y el desarrollo socioeconómico de estos pobladores. Por ello, la aplicación de adecuadas tecnologías que permitan proporcionar energía eléctrica a las poblaciones rurales permitirá mejorar la calidad de vida de las personas y posibilitar el desarrollo.

La carencia del servicio de energía eléctrica es uno de los principales obstáculos para el mejoramiento de la calidad de vida y el desarrollo socioeconómico de estos pobladores. Por ello, la aplicación de adecuadas tecnologías que permitan proporcionar energía eléctrica a las poblaciones rurales permitirá mejorar la calidad de vida de las personas y posibilitar el desarrollo. (Rosato, 1991)

Las tensiones armónicas son un tipo de perturbación que la norma controla con detalle, estas degradan la calidad de la energía eléctrica ocasionando pérdidas de energía y la reducción de la eficiencia y tiempo de vida útil de diferentes cargas y equipos. . (Rosato, 1991)

Los inversores electrónicos son equipos de conversión de potencia eléctrica que forman parte de los sistemas de conversión de energía solar, su funcionamiento está basado en la conmutación de semiconductores que transforman una tensión de corriente continua en una tensión de corriente alterna.

La tecnología involucrada en el diseño y la fabricación de estos equipos determina la calidad de energía eléctrica que puede entregar un sistema de conversión de energía fotovoltaico.

1.1.1. Pregunta General

¿Cómo la relación de potencia de entrada y salida de un inversor mide la eficiencia de la energía fotovoltaica y su adaptación a la red de distribución eléctrica?.

1.1.2. Preguntas Específicas

- A. ¿Cómo se relacionan la potencia de entrada y salida de un inversor?
- B. ¿En qué porcentaje mejora la eficiencia de la energía solar fotovoltaica y su adaptación a la red de distribución?.

12. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia de la energía fotovoltaica y su adaptación a la red de distribución.

1.2.2. Objetivos Específicos

- A. Determinar la relación de potencia de entrada y salida de un inversor

B. Determinar de la eficiencia del inversor en la adaptación a la red de distribución.

1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis General

Es posible realizar el análisis de la relación de potencia de entrada y salida de la Energía Fotovoltaica y su adaptación a la red de distribución.

1.3.2. Hipótesis Específicas

A. El uso de un inversor mejora la eficiencia del sistema fotovoltaico en un porcentaje cercano al cien por ciento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Con relación a la investigación realizada se tiene como antecedentes los siguientes.

La electrificación rural se presenta como un proceso en el cual se busca abastecer de energía a las distintas localidades del país que no cuentan con un suministro apropiado, ya que éstas deben satisfacer sus necesidades de abastecimiento con el uso de fuentes de energía más precarias e ineficientes. (Anticona , 2005)

Actualmente en el Perú, el 25% de la población total carece de servicio eléctrico. En este contexto el Ministerio de Energía y Minas (MEM), a través de su Dirección Ejecutiva de Proyectos (DEP/MEM), asume el compromiso de ampliar la frontera eléctrica a nivel nacional, permitiendo el acceso de esta energía a los pueblos del interior del país, como un medio para facilitar su desarrollo económico sostenible, mitigando la pobreza y mejorar su calidad de vida a través de la implementación de proyectos de electrificación rural de gran impacto social y económico sobre la población, con tecnologías que minimicen los impactos negativos sobre el medio ambiente como la utilización de energías renovables. La

electrificación rural posee una importancia pocas veces valorada en su totalidad, tanto en el corto, mediano y largo plazo. Su importancia se entiende mejor al conocer los beneficios que ésta trae a los sectores rurales.

- Integración de los sectores rurales al desarrollo económico nacional.
- Frenar la migración rural-urbana que se ha estado produciendo.
- Aumentar las posibilidades de generación de ingresos el tener medios de producción más tecnificados sobre la base de la energía eléctrica.
- Mejorar nivel socio cultural de sus habitantes.

Debido a la particularidad de cada caso, y de las diferentes situaciones dentro del país, la programación de obras previstas de ejecutar debe tener en cuenta la coordinación de prioridades regionales con las nacionales, las modificaciones de índole presupuestal así como la obtención de nuevas fuentes de financiamiento interno y/o externo.

El interés por la energía solar en Colombia tiene sus comienzos en la crisis energética de la década de los setentas (1970), cuando las universidades centran principalmente sus estudios en este campo de los sistemas de energía solar térmica y fotovoltaica, en aplicaciones como calentamiento de agua, secadores solares, sistemas climatizados. (Peralta, 2011)

En la cumbre realizada en la Isla Margarita, Venezuela, para la unión de los países suramericanos alrededor de la energía solar, se expuso la necesidad de que los gobiernos incentiven energías renovables, entre

ellas la energía solar, que a mediano plazo puede conllevar soluciones energéticas sostenibles.

La electrificación rural en Latinoamérica y Colombia de acuerdo con se enmarca cronológicamente en tres momentos históricos: el primero se produce en la década de los años setenta, donde el Estado controla y es dueño de los servicios públicos domiciliarios y a su vez lanza programas de electrificación rural con una cobertura que pasó del 15% al 40%. (Fonseca S. , 2000)

Lo anterior tenía como propósitos mejorar la calidad de vida de la población rural; aumentar el desarrollo agrícola; sustituir las fuentes energéticas costosas como el diésel y el petróleo; disminuir las migraciones a las ciudades; reducir el consumo de leña. Las tarifas en esta época estaban subsidiadas, beneficiando a los estratos bajos; sin embargo, las empresas de energía eléctrica que contribuían con las conexiones en zonas de población dispersa, aumentaron sus costos internos, lo que las llevó a afrontar una crisis económica más adelante. En esta etapa las aplicaciones solares fotovoltaicas en zonas rurales eran pobres, generalmente para bombeo de agua en pequeñas comunidades rurales. Durante este periodo empiezan a conocerse los sistemas solares y a experimentar con ellos; llegan a los sectores rurales por donaciones y sin ningún programa de capacitación para los habitantes rurales; además, quienes reciben el servicio no se sienten dueños ni responsables de los sistemas, lo que llevaría a dejar de lado esta tecnología.

Si bien es cierto, no existe dentro de Perú ninguna compañía minera que cuente con energía solar fotovoltaica dentro de sus instalaciones; sin

embargo sí existen mineras alrededor del mundo que han apostado por este tipo de energía renovable para incorporarlos dentro de sus fuentes de abastecimiento eléctrico. (Anticona B. M., 2016)

Como ejemplo muy cercano y próximo al Perú, se tiene el caso de las compañías mineras en el país de Chile —Codelco y —Collahuasi.

En agosto (año 2008) se presenta el estudio del Plan Maestro de Electrificación Rural con Energía Renovable en la República del Perú, elaborado por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón- JICA.

El Plan tiene como objetivo la electrificación rural, mediante el uso de energía renovable fotovoltaica (FV) y mini/micro centrales hidroeléctricas, de las área que no serán cubiertas en el horizonte de 10 años por el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. El estudio del Plan Maestro, ha evaluado la posibilidad de atender con energías renovables una relación base de cuatro mil (4,000) localidades aisladas, CL: Las regiones priorizadas son Cajamarca, Loreto, Ucayali, San Martín, Puno, Madre de Dios. El Plan a largo plazo comprende la electrificación de 10 829 localidades (261 520 viviendas) con energía solar y de 519 localidades (18 498 viviendas) con energía hidroeléctrica.

Perú ha logrado un coeficiente de electrificación de 87% al nivel nacional, pero hay un problema grande de desigualdad entre áreas urbanas y rurales. Las áreas urbanas han alcanzado a 96% de coeficiente de electrificación, mientras que las áreas rurales quedan al 35%, donde vive una tercera parte de la población del país. (Cabrera, 2014)

2.2. MARCO REFERENCIAL

2.2.1. Adaptación a la red de distribución

a. Energía solar

La energía solar es la energía radiante producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión que llegan a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres. El Sol, en concreto la radiación solar interceptada por la tierra en su desplazamiento a su alrededor, constituye la principal fuente de energía renovable a nuestro alcance. Nuestro planeta recibe del Sol la asombrosa cantidad de energía anual de $5,4 \times 10^{24}$ J, una cifra que representa 4.500 veces el consumo mundial de energía. Aunque es muy abundante el aprovechamiento de la radiación solar está condicionada por tres aspectos: la intensidad de radiación solar recibida por la tierra, los ciclos diarios y anuales a los que está sometida y las condiciones climatológicas de cada emplazamiento.

El aprovechamiento de la energía solar requiere de la utilización de dispositivos que capturen la energía proveniente del sol y la transformen en otra forma de energía compatible con la demanda que se pretende satisfacer. Existen dos alternativas posibles para realizar estas transformaciones: la conversión fototérmica y la conversión fotovoltaica.

La energía solar que recibe nuestro planeta es resultado de un proceso de fusión nuclear que tiene lugar en el interior del sol. Esa radiación solar se puede transformar directamente en electricidad

(solar eléctrica) o en calor (solar térmica). El calor, a su vez, puede ser utilizado para producir vapor y generar electricidad.

Cada año el sol arroja 4 mil veces más energía que la que consumimos, por lo que su potencial es prácticamente ilimitado. La energía solar es una fuente de vida y origen de la mayoría de las demás formas de energía en la tierra. Cada año la radiación solar aporta a la tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad.

Mediante colectores solares, la energía solar puede transformarse en energía térmica, y utilizando paneles fotovoltaicos la energía luminosa puede transformarse en energía eléctrica. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí en cuanto a su tecnología. Asimismo, en las centrales térmicas solares se utiliza la energía térmica de los colectores solares para generar electricidad.

Se distinguen dos componentes en la radiación solar: la radiación directa y la radiación difusa. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes, y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas direcciones. Sin embargo, tanto la radiación directa como la radiación difusa son aprovechables.

Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de energía en el mismo lugar de consumo mediante la integración arquitectónica. Así, podemos dar lugar a sistemas de generación distribuida en los que se eliminen casi por completo las pérdidas relacionadas con el transporte que en la actualidad suponen aproximadamente el 40% del total- y la dependencia energética.

La intensidad de energía disponible en un punto determinado de la tierra depende, del día del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor.

La energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio Peruano. En la gran mayoría de localidades del Perú, la disponibilidad de la energía solar es bastante grande y bastante uniforme durante todo el año, comparado con otros países, lo que hace atractivo su uso. En términos generales, se dispone, en promedio anual, de 4-5 kWh/m² día en la costa y selva y de 5-6 kWh/m² día, aumentando de norte a sur. Esto implica que la energía solar incidente en pocos metros cuadrados es, en principio, suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de una familia. El problema es transformar esta energía solar en energía útil y con un costo aceptable.

Por otro lado, con los paneles fotovoltaicos, o simplemente llamados “paneles solares”, se puede transformar la energía solar directamente en electricidad. La fabricación de los paneles

Fotovoltaicos requiere alta tecnología y pocas fábricas en el mundo (en países desarrollados) lo hacen, pero su uso es sumamente simple y apropiado para la electrificación rural, teniendo como principal dificultad su (todavía) alto costo.

FUENTE: www.fonamperu.org/general/energia/renovable.php, 2 de junio del 2010. Manfred Horn. El estado actual del uso de la energía solar en el Perú. Publicado en “perúeconómico”, Lima, Vol XXIX, Nr.11, Nov. 2006: Los retos energéticos del Perú, pag 10 – 11 .

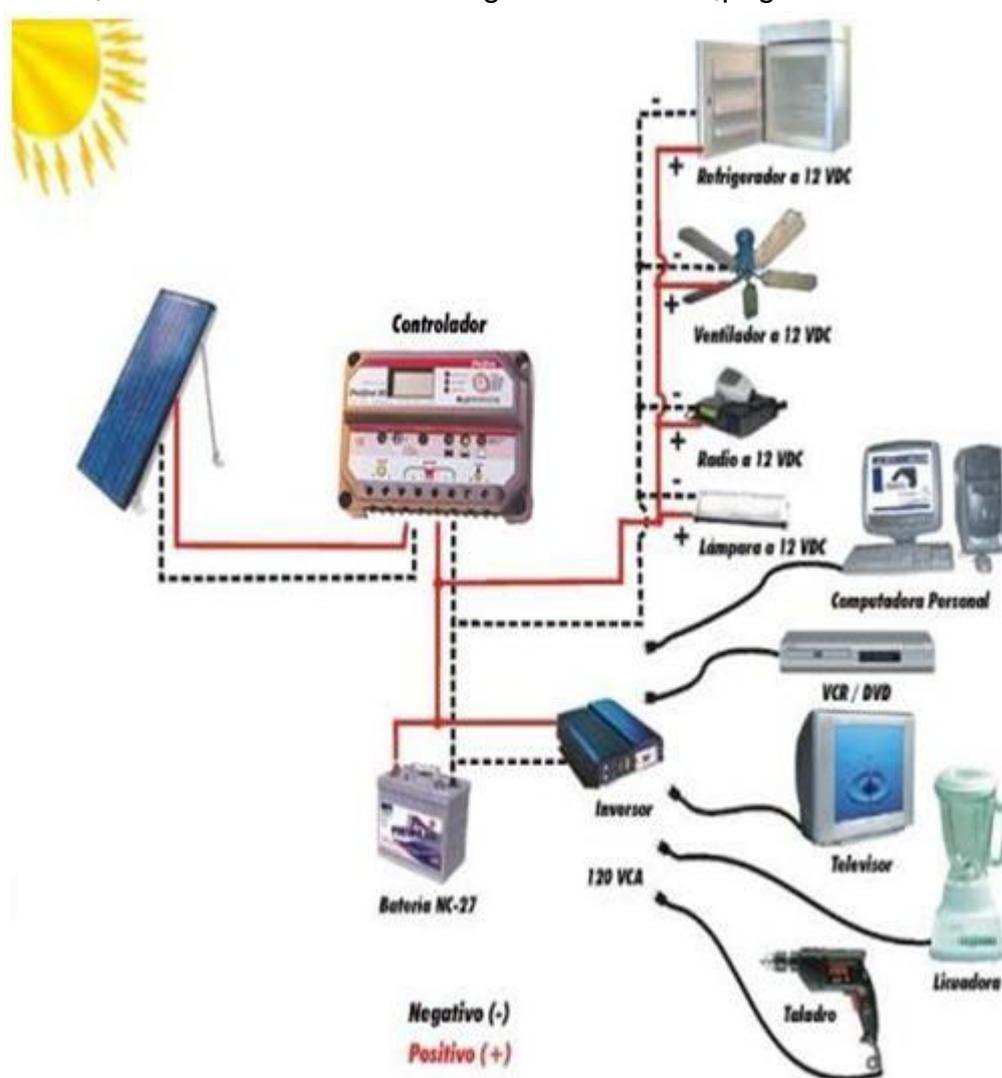


Figura 1 Aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica
Fuente: www.fonamperu.org/general/energia/renovable.php, 2 de junio del 2010. Manfred Horn. El estado actual del uso de la energía solar en el Perú. Publicado en “Perú económico”, Lima, Vol XXIX, Nr.11, Nov. 2006: Los retos energéticos del Perú, pag 10 – 11.



Figura 2. Retos Energéticos

Fuente: www.fonamperu.org/general/energia/renovable.php, 2 de junio del 2010. Manfred Horn. El estado actual del uso de la energía solar en el Perú. Publicado en "Perú económico", Lima, Vol XXIX, Nr.11, Nov. 2006: Los retos energéticos del Perú, pag 10 – 11.

2.2.2. Energía solar fotovoltaica

La tecnología fotovoltaica busca convertir directamente la radiación solar en electricidad. Basada en el efecto fotoeléctrico, en el proceso emplea unos dispositivos denominados celdas fotovoltaicas, los cuales son semiconductores sensibles a la luz solar; de manera que cuando se expone a esta, se produce en la celda una circulación de corriente eléctrica entre sus dos caras.

Los componentes de una sistema fotovoltaico dependen del tipo de aplicación que se considera (conectada o no a la red) y de las características de la instalación.

Una instalación fotovoltaica aislada está formada por los equipos destinados a producir, regular, acumular y transformar la energía eléctrica. Y que son los siguientes:

Los sistemas fotovoltaicos (FV) convierten la luz solar directamente en electricidad, mediante el uso de lo que es conocido como “células solares”. Una célula solar está hecha de material semiconductor dispuesto en dos capas: P y N (ver figura 3).

Cuando la radiación del sol incide en la célula fotovoltaica en forma de luz solar, la línea de separación entre P y N actúa como un diodo. Los fotones con suficiente energía que inciden en la célula provocan que los electrones pasen de la capa P a la capa N. Un exceso de electrones se acumula en el lado N mientras que en el lado P se produce un déficit. La diferencia entre la cantidad de electrones es la diferencia de potencial o voltaje, que puede ser usado como una fuente de energía. Con tal de que la luz siga incidiendo en el panel, la diferencia de potencial se mantiene, incluso en días nublados, debido a la radiación difusa de luz.

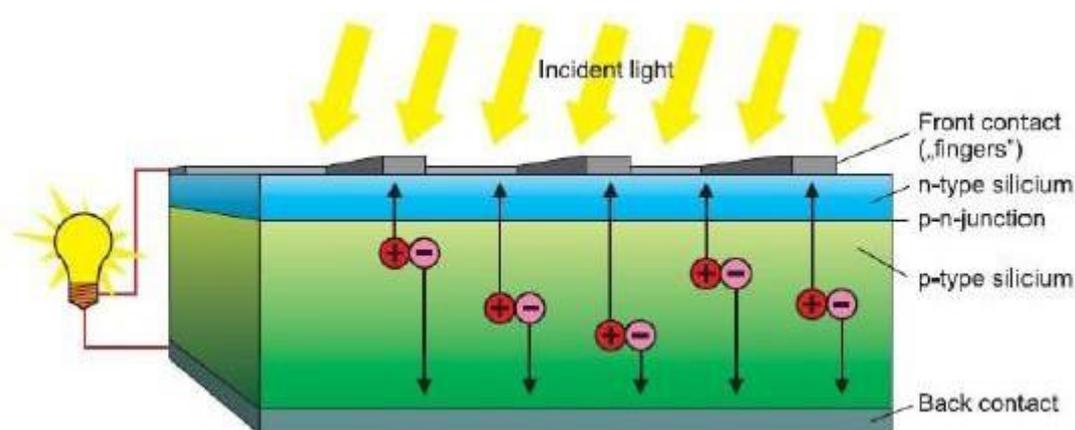


Figura 3. Esquema general del proceso en una célula fotovoltaica
Fuente: CPE Ingenieros – www.cpe.cl

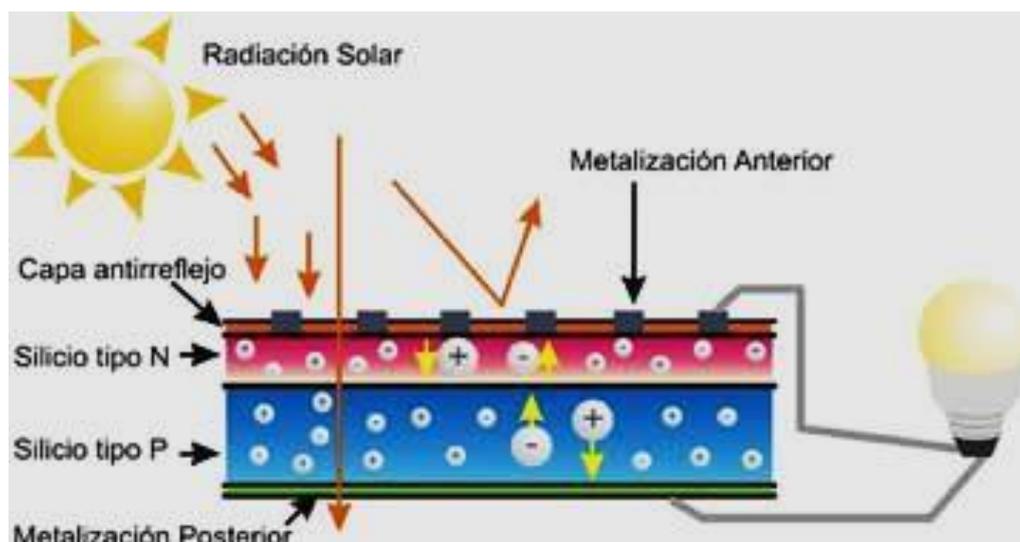


Figura 4. Efecto Fotovoltaico

Fuente: Curso de especialización en energía Solar fotovoltaico y térmico SENCICO – CARELEC

2.2.3. Generador Fotovoltaico

Las células fotovoltaicas, por lo general de color negro o azul oscuro, se asocian en grupos y se protegen de la intemperie, formando módulos fotovoltaicos. Varios módulos fotovoltaicos junto con los cables eléctricos que los unen y con los elementos de soporte y fijación, constituyen lo que se conoce como generador fotovoltaico.

El generador fotovoltaico es el elemento encargado de transformar la radiación solar en energía eléctrica. Esta electricidad se produce en corriente continua, y sus características dependen de la intensidad energética de la radiación solar y de la temperatura ambiente.

2.2.4. Inversor

El inversor es el elemento que transforma la energía eléctrica (corriente continua) producida por los paneles en corriente alterna de las mismas características la de la red eléctrica. Existen diferentes tipos de inversores, pero se considera recomendable escogerlo en función del tamaño de la instalación a realizar.

Las células fotovoltaicas y módulos generan corriente continua (CC). Dado que la mayoría de los electrodomésticos usan corriente alterna (CA), el inversor se usa para convertir la corriente continua en alterna, adecuando también la frecuencia y la tensión a la red local. Los inversores para aplicaciones fotovoltaicas incluyen funciones de control para optimizar la potencia de salida, a la que nos referiremos como MPPT (maximum power point tracking).

La potencia de salida es igual a la tensión multiplicada por la corriente ($P=V \times I$), y la función MPPT continuamente ajusta la impedancia de la carga para garantizar la potencia óptima.

En el pasado, se utilizaba un único inversor para una matriz o sistema FV completo.

Actualmente, la práctica común es instalar un inversor por cada línea de módulos, o incluso dotar a cada módulo de su propio inversor, un proceso al que también nos referimos como crear “módulos CA”.

Para reducir las pérdidas entre los paneles FV y el inversor, se recomienda que éste se sitúe lo más cerca posible de los paneles FV. Además, asegúrese de que dicho inversor está suficientemente refrigerado y no lo exponga a la luz solar directa.

La potencia de salida es igual a la tensión multiplicada por la corriente ($P=V \times I$), y la función MPPT continuamente ajusta la impedancia de la carga para garantizar la potencia óptima.

En el pasado, se utilizaba un único inversor para una matriz o sistema FV completo.

Actualmente, la práctica común es instalar un inversor por cada línea de módulos, o incluso dotar a cada módulo de su propio inversor, un proceso al que también nos referimos como crear “módulos CA”.

Para reducir las pérdidas entre los paneles FV y el inversor, se recomienda que éste se sitúe lo más cerca posible de los paneles FV. Además, asegúrese de que dicho inversor está suficientemente refrigerado y no lo exponga a la luz solar directa.

Las partes fundamentales en un inversor son:

- Control principal. Incluye todos los elementos de control general, los sistemas de generación de onda basados en sistemas de modulación de anchura de pulsos (PWM) y parte del sistema de protecciones.
- Etapa de potencia. Esta etapa puede ser única o modular en función de la potencia deseada. Se opta por la tecnología en baja frecuencia ya que ofrece buenos resultados con una alta fiabilidad y bajo coste. Además, debe incorporar un filtro de salida (LC), para filtrar la onda y evitar el rizado en la tensión procedente de los módulos.
- Control de red. Es la interface entre la red y el control principal. Proporciona el correcto funcionamiento del sistema al sincronizar la forma de onda generada a la de la red eléctrica, ajustando tensión, fase, sincronismo, etc.
- Seguidor del punto de máxima potencia (MPPT). Es uno de los factores más importantes en un inversor. Su función es acoplar la

entrada del inversor a los valores de potencia variables que produce el generador, obteniendo en todo momento la mayor cantidad de energía disponible, la máxima potencia.

- Protecciones. De manera general, los inversores deben estar protegidos ante tensión de red fuera de márgenes, frecuencia de red fuera de márgenes, temperatura de trabajo elevada, tensión baja del generador, intensidad del generador fotovoltaico insuficiente, fallo de la red eléctrica y transformador de aislamiento, además de las protecciones pertinentes contra daños a personas y compatibilidad electromagnética.
- Monitorización de datos. Los inversores dispondrán de microprocesadores que les facilite una gran cantidad de datos tanto de los parámetros habituales (tensión, corriente, frecuencia, etc.) como de parámetros externos (radiación, temperatura ambiente, etc.) e internos (p.e. temperaturas de trabajo).
- Debido al elevado coste de las instalaciones solares fotovoltaicas, durante la explotación los inversores deben ofrecer un alto rendimiento y fiabilidad. Dicho rendimiento depende de la variación de la potencia de la instalación, por lo que debe procurarse trabajar con potencias cercanas o iguales a la nominal, puesto que si la potencia procedente de los paneles fotovoltaicos a la entrada del inversor varía, el rendimiento disminuye.
- Los principales parámetros habituales a tener en cuenta en un inversor son:

- Tensión nominal (V). Tensión que debe aplicarse en bornes de entrada del inversor.
- Potencia nominal (VA). Potencia que suministra el inversor de forma continuada.
- Potencia activa (W). Potencia real que suministra el inversor teniendo en cuenta el desfase entre tensión y corriente.
- Capacidad de sobrecarga. Capacidad del inversor para suministrar una potencia superior a la nominal y tiempo que puede mantener esa situación.
- Factor de potencia. Cociente entre potencia activa y potencia aparente a la salida del inversor. En el caso ideal, donde no se producen pérdidas por corriente reactiva, su valor máximo es 1, es decir, estas condiciones son inmejorables para el suministro de corriente del inversor.
- Eficiencia o rendimiento. Relación entre las potencias de salida y entrada del inversor.

2.2.5. Características de los inversores para instalaciones conectadas a red

Los tipos de inversores y su conexión dependen, fundamentalmente, de su potencia nominal, según el RD 1699/2011 de la norma española, para aquellos inversores o suma de inversores cuya potencia nominal sea menor o igual a 5kW, la conexión a red debe ser monofásica, mientras que si excede los 5kW de potencia nominal la conexión deberá ser trifásica con un desequilibrio entre fases inferior a dicho valor.

La conexión trifásica puede realizarse con un único inversor o con la conexión en paralelo de tres inversores monofásicos.

Atendiendo a la forma de onda, los inversores en instalaciones conectadas a red deben presentar una onda senoidal pura.

Esto es debido a que a la salida, la forma de onda debe ser prácticamente idéntica a la de la red eléctrica general, para permitir la conexión a la misma.

Atendiendo a la instrucción técnica complementaria para baja tensión ITC-BT-40. (Lalupu H. A., 2013)

Del reglamento eléctrico de baja tensión (REBT), para instalaciones en las que existe conexión a red, deben instalarse sistemas de conmutación que impidan la conexión simultánea entre la instalación generadora y la red eléctrica Existen dos grupos:

A) Inversores conmutados por la red.

Tienen como principio básico un puente de tiristores. Se utilizan principalmente en automatización y son los más utilizados en grandes plantas fotovoltaicas.

Entre las ventajas de estos inversores destacan su sencillez de instalación, la fiabilidad que presentan, son más baratos que los auto conmutados, pueden trabajar con grandes potencias y sus desventajas pueden resolverse con sistemas de filtrado más sencillos.

Entre las desventajas están el nivel de corriente reactiva que presenta, lo que supone factores de potencia por debajo de la

unidad, un alto nivel de distorsión armónica y presentan fallos de conmutación en caso de que se produzcan fallos de red.

B) Inversores autoconmutados

Se basan en un puente de materiales semiconductores que se pueden conectar y desconectar. Tienen ventajas como su alta seguridad, ya que un cortocircuito a la salida no les afecta, la señal de salida es claramente sinusoidal, no precisa de grandes sistemas de filtrado de la señal, generan una tensión y una corriente totalmente en fase con la tensión de red y pueden compensar potencia reactiva, adelantando o retrasando la corriente respecto a la tensión de red.

Como inconvenientes están una potencia máxima menor, aunque pueden conectarse en paralelo, un rendimiento más pequeño, lo que supone mayores pérdidas, y son más caros que los anteriores.

Los inversores, además de proporcionar una frecuencia correcta, deben regular la tensión de salida, haciéndola coincidir con unos valores de trabajo determinados. Para ello, dependiendo de la potencia y el nivel de funcionamiento, se emplean convertidores CC/CC antes del inversor, sistemas que regulen las ondas senoidales mediante la modulación de ancho de pulso (PWM), o bien, utilizando un auto-transformador variable que ajuste el voltaje de salida.

Todo esto es posible mediante la utilización de materiales semiconductores como:

- Mosfet: transistores de efecto de potencia,
- Transistores bipolares,
- GTO: tiristores desconectables de hasta 1K,
- IGBT: transistores bipolares de puerta aislada.

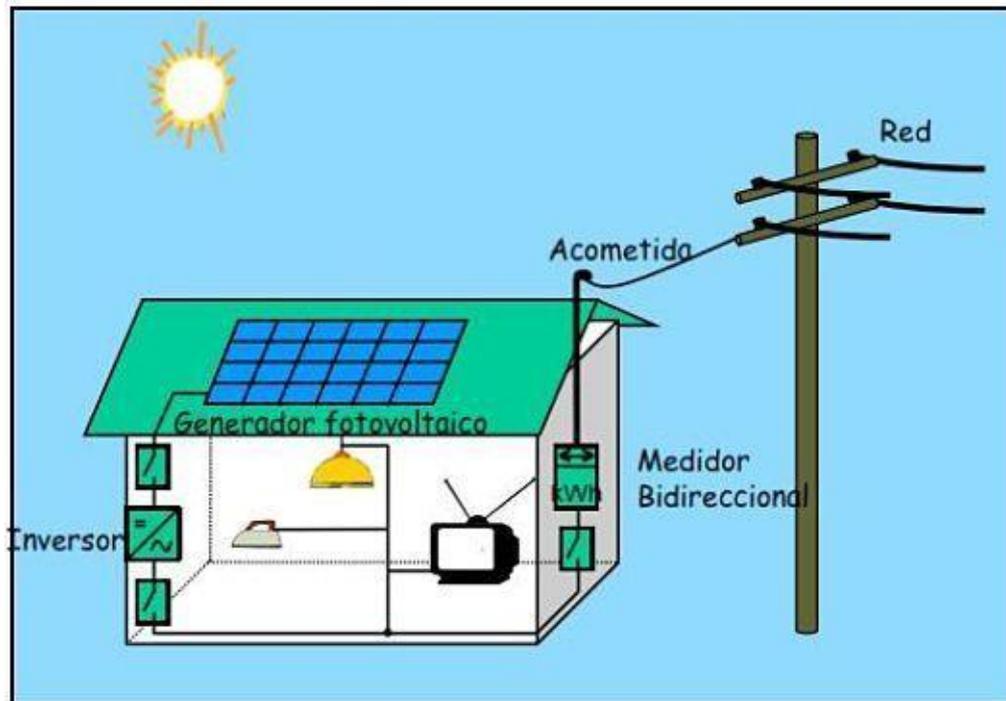


Figura 5. Instalación Fotovoltaica Conectada a la Red
Fuente: www.suelosolar.es/newsolares/newsol.asp

C) Calidad de energía eléctrica

En condiciones ideales de operación, las formas de onda de tensión y corriente que fluyen en un sistema eléctrico de potencia son sinusoidales de frecuencia única y constante. En la práctica, la calidad de la energía generada y distribuida es deteriorada por perturbaciones eléctricas que distorsionan las formas de estas ondas sinusoidales. Un tipo de perturbación que deteriora la calidad de la energía es producida por la adición de armónicos a la red eléctrica.

Los armónicos son señales eléctricas de frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia fundamental a la que opera el sistema. Estos son producidos por dos clases de elementos: las cargas no lineales y las cargas cuya impedancia depende de la frecuencia. Cuando alimentamos con una tensión sinusoidal a las cargas no lineales estas inyectan armónicos eléctricos a la red al absorber una intensidad no sinusoidal. Las cargas cuya impedancia depende de la frecuencia pueden generar armónicos también si son energizadas con una tensión sinusoidal distorsionada. El efecto de ambas distorsiones puede originar una interacción compleja en la cual la energía de los armónicos es transformada o multiplicada de una frecuencia a otra (Noriega, 2005)

Parte importante de un sistema de conversión de energía de viento con conexión indirecta son los inversores, los cuales permiten convertir una tensión de corriente continua (DC) proveniente de la celda de acumulación a una tensión de corriente alterna simétrica (AC) que alimentará a la carga. En general el uso de inversores en los procesos de conversión de energía eléctrica inyecta a la carga un contenido armónico que reduce su tiempo de vida útil así como la degradación de su funcionamiento al generar un consumo de potencia ineficiente.

2.2.6. Normas nacionales y estándares internacionales de calidad de energía

El Gobierno del Perú ha designado al Ministerio de Energía y Minas (MINEM) como la autoridad competente encargada de promover, dirigir y ejecutar proyectos de electrificación rural basados en el uso de energías renovables no convencionales. En este contexto, el Ministerio de Energía y Minas, a través de la Dirección General de Electricidad, ha emitido la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Peruana cuya última modificación ha sido aprobada por Decreto Supremo 026-2006-EM.

El título quinto de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Peruana determina la calidad del producto en base a las transgresiones de las tolerancias permitidas en los niveles de tensión, frecuencia y perturbaciones en los puntos de entrega.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si los indicadores de las perturbaciones medidas se encuentran fuera del rango de tolerancias por un tiempo superior al cinco por ciento del periodo de medición.

La norma estadounidense IEEE 519-1992 reúne las recomendaciones, prácticas y requerimientos para el control de armónicas en sistemas eléctricos de potencia. (Vasquez, 1998)

2.2.7. Técnica de edificación EM080 instalaciones con energía solar en el Perú

A) Generalidades

En el aprovechamiento de la energía solar está contemplada la adopción de nuevas tecnologías para optimizar su uso.

La transformación para obtener el calentamiento de agua o de ambientes así como suministro eléctrico son formas de economizar energía y contribuir a disminuir la contaminación ambiental.

B) Objeto

El presente Proyecto de Actualización establece las mínimas condiciones técnicas que se deben incluir en el diseño y construcción de una vivienda en las que se incluya el aprovechamiento de energía solar.

C) Campo de aplicación

La presente norma de aplicación obligatoria a nivel nacional describe las especificaciones técnicas y los procedimientos constructivos básicos que deben cumplir las viviendas que incluyan sistemas solares fotovoltaicos y fototérmicos (para el calentamiento del agua).

Se recomienda a aquellos que realicen acuerdos basándose en ella, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas en las referencias normativas.

D) Referencias normativas

Norma Técnica de Edificación IS.010 Instalaciones sanitarias para edificaciones.

Norma Técnica Peruana NTP 399.482 2007: Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar. Procedimiento para su instalación eficiente.

Norma Técnica Peruana NTP 399.404 2006: Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar. Fundamentos para su dimensionamiento eficiente.

Norma Técnica Peruana NTP 399.403 2006: Sistemas Fotovoltaicos hasta 500 Wp. Especificaciones Técnicas y Método para la Calificación Energética.

Norma Técnica Peruana NTP 399.400 2001: Colectores Solares. Método de ensayo para determinar la eficiencia de los colectores solares.

Resolución Ministerial R.M. N° 037-2006-MEM/DM Código Nacional de Electricidad

Resolución Directoral N° 003-2007-EM/DGE: Reglamento Técnico Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural.

Resolución Ministerial R.M. N° 091-2002-EM/VME Norma DGE Terminología en Electricidad y Símbolos Gráficos en Electricidad.

E) Sistemas fotovoltaicos y datos técnicos

En las siguientes tablas se muestran las características técnicas mínimas de los módulos fotovoltaicos que deberán ser proporcionados por el proveedor.

CARACTERISTICAS FISICAS	UNIDADES
Altura	Milímetros (mm)
Ancho	Milímetros (mm)
Espesor	Milímetros (mm)
Peso	Kilogramos (kg)

CARACTERISTICAS ELECTRICAS	UNIDADES
Potencia pico (Pmax).	Watt(W)
Corriente cortocircuito (Isc.).	ampere (A)
Tensión circuito abierto (Voc.).	Volt (V)
Corriente máxima potencia (Imax.).	ampere (A)
Tensión máxima potencia (Vmax.).	Volt (V)

F) Lugar de ubicación

Los paneles o módulos fotovoltaicos se pueden instalar en terrazas, tejados, patios, ventanas, balcones, paredes, cornisas, postes, etc. teniendo muy en cuenta que no deben existir obstáculos que les puedan dar sombra (como vegetación, nieve, tierra, elementos constructivos, otras edificaciones cercanas, otros módulos, etc.) al menos durante las horas centrales del día.

Si se permite el montaje en los tejados, considere una separación adecuada entre los módulos y el tejado ó cubierta para permitir la circulación del aire.

Los paneles deben ser montados de tal manera que tengan un fácil acceso a los servicios de limpieza, mantenimiento así como los espacios mínimos para una buena circulación de los usuarios. Esto también se aplica a la batería y al controlador.

Los paneles no deben colocarse cerca de fuentes contaminantes como chimeneas industriales de combustión, carreteras polvorientas, etc. así como de elementos de almacenamiento de agua para evitar el deterioro del panel fotovoltaico.

De preferencia los paneles deben ubicarse cerca de los lugares donde se ubicaran la unidad de control, la batería y el uso final, para evitar cables largos que elevan el costo y originan pérdidas de disipación.

La unidad de control y batería de almacenamiento deben instalarse dentro de un espacio que pueda soportar las inclemencias del clima, los golpes, etc. y que tenga suficiente ventilación natural. Evitar los lugares expuestos directamente a la luz del sol.

Si la batería de almacenamiento tiene electrolito líquido debe ubicarse en un ambiente aislado que evite el contacto de los gases emanados con los componentes electrónicos.

Deben tomarse precauciones para evitar el cortocircuito accidental de los terminales de la batería.

La instalación de los cables debe cumplir con lo estipulado en el Código Nacional de Electricidad.

Los cables deben asegurarse a las estructuras de soporte o a las paredes, para evitar esfuerzos mecánicos sobre otros elementos de la instalación eléctrica (cajas de conexión, balastos, interruptores, etc.).

Así mismo, su ubicación no debe conllevar ningún riesgo para la seguridad y la salud de las personas por lo que se tiene que dejar libre las rutas de escape en caso de emergencias.

G) Orientación e instalación

La orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos debe analizarse de tal modo que reciba una óptima radiación solar para el abastecimiento eléctrico de la vivienda de acuerdo con los usos y necesidades.

Los paneles fotovoltaicos estacionarios deben estar orientados hacia el norte y mantener un ángulo de inclinación equivalente a la latitud del lugar de instalación más 10 grados.

H) Estructura y soporte.

Si el montaje se hace sobre la cobertura o tejado, las estructuras de soporte no deberán fijarse a las tejas o a las calaminas, sino a las vigas u otro elemento de la estructura de la vivienda.

La estructura del techo o marco de soporte así como el anclaje de los paneles deben ser lo suficientemente fuertes para soportar las cargas extras como las del viento (especialmente en áreas donde se dan ventiscas o tormentas). Como el panel es rectangular, la mínima fuerza de palanca ejercida por el viento se tiene cuando el lado más largo es paralelo a la superficie de montaje (suelo o techo).

En caso de utilizarse estructuras metálicas, éstas deberán pintarse con un esmalte anticorrosivo no contaminante para proteger la integridad del panel fotovoltaico. Si se quiere utilizar ángulos de acero galvanizados y no vive cerca del mar (aire salino) puede usar ferretería de acero. En todos los casos se deberán sellar adecuadamente las perforaciones hechas en las azoteas para no perjudicar la impermeabilización del mismo.

Si ubica una estructura de soporte sobre el techo, considere una separación adecuada entre los paneles y el techo, para facilitar su ventilación.

Esta recomendación es muy importante si el techo es metálico. Para techos que no son planos, el ángulo de inclinación del soporte debe incluir el del techo. Si vive en la montaña y nieva considerablemente, el sostén debe tener una altura superior al máximo previsto para la acumulación de nieve, para evitar el sombreado de las células. En estos lugares, coloque el lado más corto del panel fotovoltaico paralelo al suelo, a fin de que la nieve resbale al calentarse el mismo.

Debe tomarse en cuenta que el cálculo y la construcción de la estructura y el sistema de fijación de módulos permita las necesarias dilataciones térmicas sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los paneles fotovoltaicos.

El diseño de las estructuras de soporte debe facilitar la limpieza de los módulos fotovoltaicos y la inspección de las cajas de conexión.

I) Superficie y peso

- La superficie que se requiere para una instalación con paneles fotovoltaicos depende de la irradiación solar del lugar, de la potencia y energía que se requiere suministrar así como de las características técnicas del módulo fotovoltaico.
- Para cálculos preliminares de diseño arquitectónico se puede considerar que para cada kWp de paneles fotovoltaicos se requiere una superficie aproximada de 10 m².
- El peso del panel fotovoltaico varía de acuerdo a la superficie que ocupa. Se puede considerar un aproximado de 15 kg/m².
- Por otro lado la estructura de soporte del panel fotovoltaico varía de acuerdo al material empleado (hierro, aluminio, madera, etc.), a la forma de anclaje, etc.

- Hay que prever la resistencia de la superficie que la soporta como techos de torta de barro, concreto, paja, etc.

J) Protección y elementos de seguridad eléctrica

La instalación fotovoltaica incorporará los elementos y las características necesarias para garantizar en todo momento la calidad y la seguridad del suministro eléctrico (frente contactos directos e indirectos, cortocircuitos, sobrecargas, etc.) de modo que cumplan las directivas del Código Nacional de Electricidad.

La Toma a Tierra debe ser conectada al marco metálico del panel fotovoltaico.

De haber más paneles, conecte los marcos metálicos entre sí utilizando alambre conductor para puesta a tierra. El propósito de esta conexión es conducir cualquier carga eléctrica inducida en la superficie del panel a tierra, cuando se producen tormentas eléctricas.

La misión de esta tierra no es actuar como pararrayo, sino conseguir que las cargas inducidas sobre la superficie del panel fotovoltaico se redistribuyan en una mayor superficie (tierra).

Blindaje, si se quiere proteger los cables contra roedores puede usarse un blindaje mecánico usando una cobertura espirada flexible, estos blindajes deben ser cortados diagonalmente, paralelo al espiral, como los bordes son filosos y dispares se hace necesario terminar el blindaje usando conectores que protejan la zona del corte y, a la vez, puedan ser insertados en

Una de las partes removibles de las cajas de conexiones.
(Tacuri, 2011).

2.2.8. Calidad de la energía eléctrica generada a partir de fuentes solares fotovoltaicas en el Perú

El Perú ha experimentado un crecimiento económico en los últimos años, sin embargo, este crecimiento no se ha visto reflejado en los sectores de extrema pobreza ubicados en las zonas rurales de nuestro país.

Proveer de servicio eléctrico a las áreas rurales podrá mejorar entonces el estado económico y social de las comunidades más pobres del país. El acceso a la electricidad en estas comunidades permitirá en general mejorar la calidad de vida de sus habitantes al generar oportunidades para la implementación de actividades industriales basadas en la agricultura, mejorar las condiciones de infraestructura que permitan el desarrollo de actividades turísticas, generar nuevos puestos de trabajo, mejorar los niveles de ingresos familiares, mejorar los servicios de salud y de educación e interconectar a estas comunidades con el resto del país y del mundo a través de las telecomunicaciones.

2.2.9. El Inversor

Los inversores electrónicos son equipos de conversión de potencia eléctrica que transforman una tensión de corriente continua en una tensión de corriente alterna, su funcionamiento está basado en la conmutación de semiconductores de potencia.

Las tecnologías empleadas en el diseño y la fabricación de estos equipos son variadas, se muestran las tecnologías más importantes utilizadas en el diseño de inversores monofásicos enfocándose en aquellas que buscan incrementar la eficiencia del inversor y la calidad de energía entregada.

Se empezará describiendo las clases de inversores, luego se señalarán las diferentes tecnologías empleadas en su diseño y finalmente se compararán las tecnologías presentadas.

Se desarrollaron tres tipos de inversores electrónicos como son los inversores de tipo pulso resonante, los inversores modulados por ancho de pulso y los inversores multinivel. Muhammad Rashid.

(Rashid M. , 2004)

Se realiza un análisis en el cual coinciden en que se utilizan los inversores en aplicaciones de alta frecuencia, entre ellas como alimentación de lámparas de descarga, procesos electrostáticos, reguladores de corriente continua y la alimentación de cargas ultrasónicas en el cual existe una coincidencia. (Rashid M. , 2004)

También se ha desarrollado tres tipos de topologías utilizadas en el diseño de inversores modulados por ancho de pulso, el inversor de puente completo, el inversor de medio puente y el inversor push – pull. (Rashid M. , 2004)

El inversor de tipo puente completo requiere del doble de transistores y diodos usados en la configuración del inversor de medio puente. El uso de un mayor número de transistores por rama permite que estos soporten una menor tensión inversa y se

pueda elevar la tensión a la entrada del inversor para entregar una mayor potencia a la carga. (Rashid M. , 2004)

Se presentan varias topologías en referencia a las técnicas de modulación basadas en el control de ancho de pulsos, que permiten reducir el contenido armónico a la salida del inversor.

Entre estas técnicas se encuentran la modulación por ancho de pulso múltiple (UPWM), la modulación por ancho de pulso sinusoidal (SPWM), la modulación por ancho de pulso sinusoidal modificada (MSPWM), la modulación por escalera, la modulación por inyección de armónica y la modulación delta. (Rashid M. , 2004)

Se destaca a la modulación por ancho de pulso sinusoidal como la más eficaz en la reducción de armónicos de orden inferior. (Rashid M. , 2004)

Respecto al tipo de semiconductores usados en la fabricación de inversores, esto se debe al desarrollo de semiconductores de potencia de conmutación rápida, como el GTO, IGBT y el MOSFET, el uso de tiristores en conmutación. (Rashid M. , 2004)

De acuerdo al análisis se tiene que las técnicas de eliminación de armónicos basadas en el control de ancho de pulsos, aumentan el orden de las armónicas y reducen el tamaño de los filtros de salida a costa de una mayor pérdida por conmutación de los dispositivos de potencia y mayores pérdidas magnéticas en el transformador del filtro, estas últimas debidas a las mayores frecuencias armónicas (Rashid M. , 2004)

2.2.10. Inversores basados en dispositivos semiconductores

Los inversores basados en dispositivos semiconductores son los más eficientes. Mientras menor sea la frecuencia de conmutación de estos dispositivos menores serán las pérdidas de energía y mayor será la eficiencia del equipo.

Dentro de las tecnologías empleadas en el diseño de inversores electrónicos monofásicos destaca la topología multinivel en cascada pues menores pérdidas de energía por conmutación de semiconductores y permite obtener una mejor calidad de energía al maximizar el número de niveles en la tensión de salida del inversor.

2.2.11. Inversor multinivel

Los inversores electrónicos son equipos que permiten convertir una tensión de corriente continua en una tensión de corriente alterna. El funcionamiento de estos equipos está basado en la conmutación de transistores de potencia como el MOSFET y el IGBT, de forma que ante una adecuada polarización de sus terminales permite el paso alternado de la tensión de corriente directa hacia la carga.

De esta manera a partir de una tensión de corriente directa " V_{cd} " es posible obtener en la carga tres niveles de tensión: cero, " $+V_{cd}$ " y " $-V_{cd}$ ".

Un inversor multinivel permite obtener más de estos tres niveles de tensión en la carga. Un mayor número de niveles en la tensión de salida del inversor mejorará la calidad de energía entregada y

permitirá reducir el tamaño del filtro entre la salida del inversor y la carga.

A partir de una rama conformada por condensadores conectados en serie dispuesta en paralelo con la fuente de tensión de corriente directa es posible dividir la tensión en varios niveles.

El inversor multinivel con diodo fijador utiliza una red compuesta por diodos y transistores para entregar la tensión de cada condensador alternadamente hacia la carga, mientras que el inversor multinivel con condensadores volantes utiliza una red compuesta por condensadores para reemplazar a los diodos fijadores.

Los semiconductores utilizados en un inversor multinivel con diodo fijador deben soportar altos niveles de tensión inversa, esta tensión es variable y depende de la posición del semiconductor en la red.

En los inversores con diodo fijador las tensiones y niveles de corriente en los condensadores no son iguales, por ello se suelen reemplazar a los condensadores por fuentes controladas de tensión de corriente directa, reguladores de voltaje PWM.

Los inversores con capacitores volantes requieren de una gran cantidad de condensadores, esto permite tener redundancia en la generación de los niveles de tensión internos que pueden obtenerse a través de las combinaciones de activación de diversos transistores.

Los inversores multinivel en cascada son ampliamente utilizados en la industria para el control de la velocidad en motores y aun cuando los inversores son muy confiables en su operación, diversas fallas en ellos pueden ocurrir, llegando a degradar el comportamiento de los motores o incluso producirse el paro total del sistema. Cuando una falla se presenta es deseable mantener en operación el sistema aun en régimen degradado y la implementación de sistemas tolerantes a fallas en ese tipo de dispositivos son una buena opción. En este trabajo se ofrece una estrategia generalizada relativa a tolerar fallas en los dispositivos semiconductores de un inversor multinivel en cascada de siete niveles y se incluyen los resultados en simulación y experimentales para la validación del método.

En aplicaciones de mediano voltaje (2,3 kV a 13,8 kV) y alta potencia (0,4 MW a 40 MW) los inversores multinivel ofrecen ventajas particulares de operación al incrementar el número de niveles de voltaje a la salida, por ejemplo: un menor contenido armónico, una disminución en los transitorios dv/dt de las conmutaciones y reducción de pérdidas eléctricas. Los inversores multinivel más utilizados en la industria son: diodos de enclavamiento, cascada y condensadores flotantes. Sin embargo, al incrementarse el número de niveles aumenta también el número de interruptores en la topología y se eleva la probabilidad de falla en el sistema. Cuando se presenta una falla se genera un

voltaje desbalanceado que puede ocasionar daño permanente en la carga o un paro total del sistema.

Los estudios relacionados con la tolerancia a fallas en los inversores multinivel contemplan diversas estrategias para obtener un voltaje línea-línea balanceado a la salida, estudiaron el inversor con condensadores flotantes de cuatro niveles empleando la estrategia de redundancia material (uso de componentes extras). Analizaron el inversor con diodos de enclavamiento de tres niveles y también usaron componentes extras para tolerar fallas. (Francois, 2001)

Presentaron el inversor multinivel en cascada con una rama adicional para intercambiar las señales de conmutación cuando ocurre una falla. Se analizaron el inversor en cascada y la técnica de tolerancia a fallas empleada en la variación de las modulaciones de los dispositivos semiconductores. (Barrius P. , 2012)

Presentaron sistemas tolerantes a fallas para un convertidor multinivel asimétrico empleando redundancia material. (Mingyao M. , 2007), (Leihu, 2005)

Se despliega un sistema tolerante a fallas en máquinas eléctricas, con énfasis en aplicaciones aeroespaciales, en el cual la aplicación es un vehículo eléctrico. (Xiong Y. , 2008)

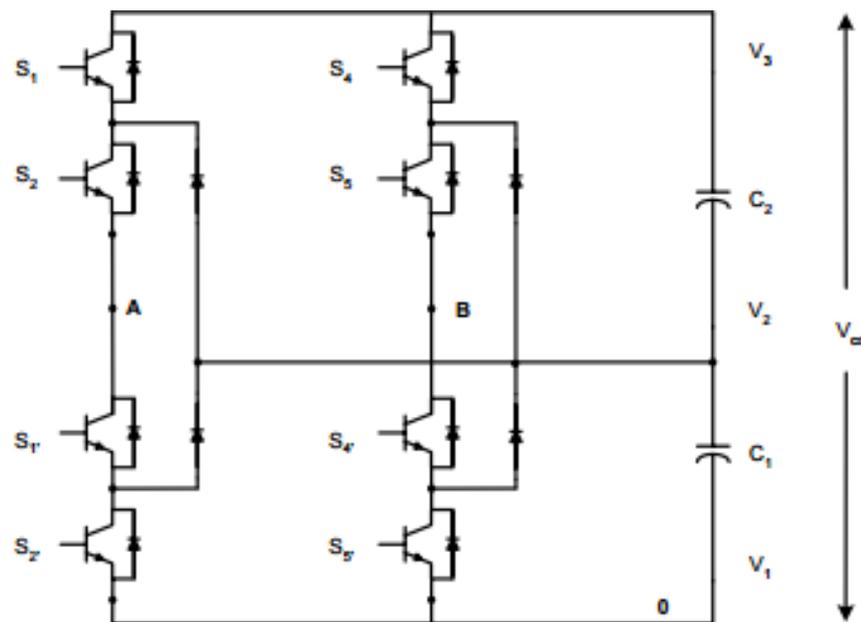


Figura 6. Inversor Multinivel de 3 niveles

Fuente: Tesis Ingeniero Ernesto Barcenás Barcenás.

2.2.12. Modelo teórico del inversor

Los sistemas eléctricos de potencia pueden clasificarse en sistemas trifásicos y sistemas monofásicos. Los sistemas monofásicos se utilizan para alimentar cargas domésticas de pequeña potencia.

Para poder realizar un análisis de los sistemas eléctricos es necesario representar matemáticamente las señales eléctricas que se generan. Estas señales pueden ser representadas a través de una serie de Fourier, la cual es una sumatoria infinita de funciones sinusoidales armónicamente relacionadas.

Idealmente una señal eléctrica transmitida en un sistema monofásico puede ser representada matemáticamente a través de una sola función seno o coseno de frecuencia constante, sin embargo, en la realidad esta señal es la sumatoria de infinitas

funciones sinusoidales cuyas frecuencias son múltiplos de la frecuencia constante de la señal ideal, a esta frecuencia se le denominará frecuencia fundamental y a sus múltiplos frecuencias armónicas. El componente armónico de una señal estará determinado por los coeficientes que acompañan a cada función sinusoidal de frecuencia armónica que conforman la serie de Fourier.

El inversor multinivel en cascada está constituido por varios inversores de puente completo conectados en serie, su funcionamiento está basado en la activación secuencial de transistores de potencia como el MOSFET y el IGBT. Un control adecuado de los tiempos de activación de los transistores permite reducir el contenido armónico en la tensión generada a la salida del inversor.

Como el problema a solucionar es la eficiencia del inversor, se necesita obtener la potencia de salida de cada uno de los elementos del sistema. Así que el modelo del inversor a seleccionar deberá ser tal que indique al controlador cuanta potencia requiere para poder alimentar a la carga demandada para un instante determinado.

2.2.13. Criterios para la selección del modelo

De acuerdo a lo anterior, los criterios considerados para la selección del modelo del inversor son los siguientes:

El modelo deberá contemplar como salida la potencia demandada por el inversor para satisfacer a la carga.

Debido a que la eficiencia del inversor varía con la carga suministrada, el modelo deberá contemplar dicho valor

2.2.14. Modelo matemático para el inversor

La potencia de salida de un inversor está dado por:

$$P_{out} = \frac{(P_{IN} - P_{NL})}{B_{out}}$$

De acuerdo a (Manwell et al, 1998)

Dónde:

P_{out} = Potencia de salida en KW.

P_{in} =Potencia de entrada en KW.

P_{NL} =Potencia sin carga del inversor en KW.

B_{out} = Constante de relación entre la potencia de entrada y salida.

La constante de relación B_{out} está dada por:

$$B_{out} = \left(\frac{\frac{P_R}{\eta_R} - P_{NL}}{P_R} \right)$$

Donde:

P_R = Potencia de salida nominal en KW

η_R = Eficiencia nominal.

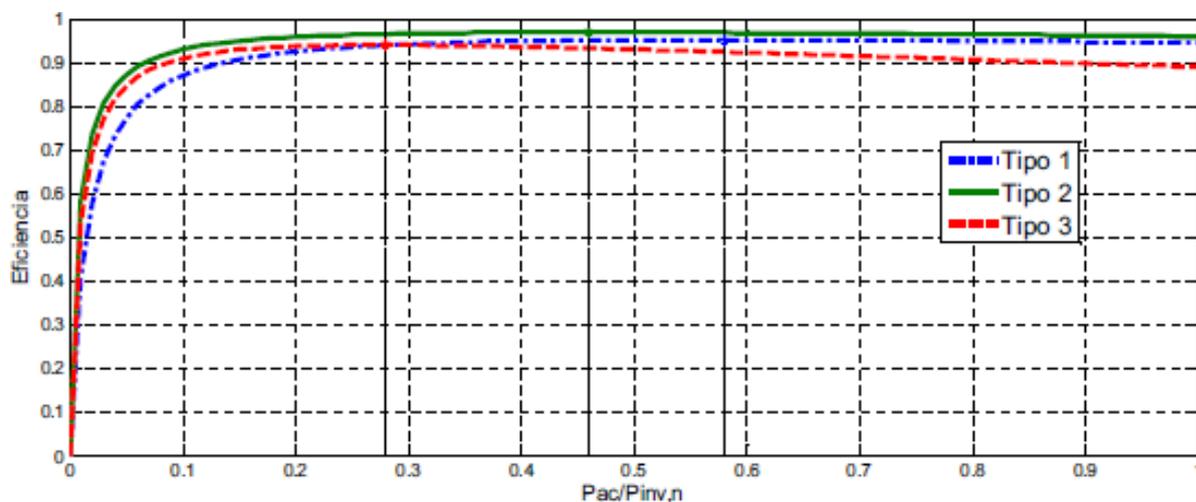


Figura 7. Curva de eficiencia de inversores

Fuente: Guillermo Velasco Quesada (Tesis: Electricidad: Enero de 2011) banproyecte.pdf.

2.2.15. Eficiencia del inversor

La potencia entregada a la red por el sistema FV puede ser estimada multiplicando la potencia del generador FV por la eficiencia del inversor (despreciando las pérdidas) de manera que este se puede definir como la relación entre la potencia AC entregada a la red (P_{ac}) y la potencia de entrada al inversor (P_{dc}).

Esta dependencia se suele representar en función de unos parámetros característicos del inversor que definen el comportamiento de este a partir de su propio consumo y de pérdidas que dependen linealmente (caída de tensión en los diodos, etc.) o cuadráticamente (Pérdidas resistivas, en el cableado, etc.) de la corriente.

El rendimiento del inversor es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada al mismo.

Para obtener su valor real deben tenerse en cuenta los sistemas de filtrado, las protecciones o los transformadores, por ejemplo. Es decir, el rendimiento total real depende de las pérdidas producidas por los componentes internos del propio inversor.

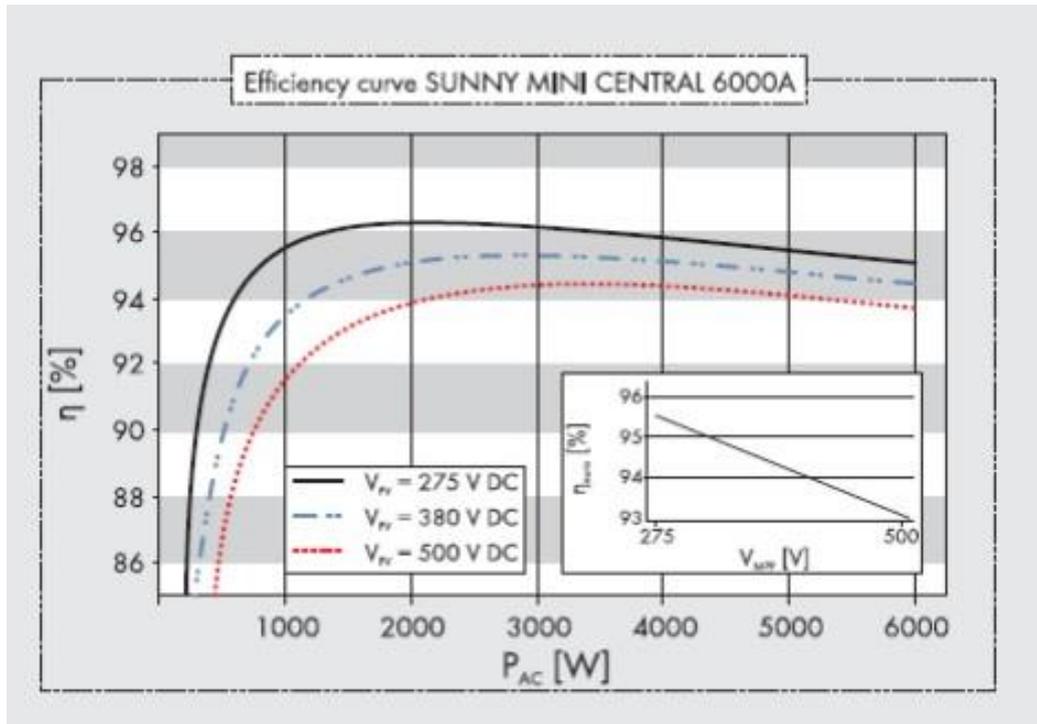


Figura 8. Rendimiento de un inversor SUNNY MINI CENTRAL 4600A
Fuente: www.SMA-Iberica.com

El rendimiento del inversor queda definido:

$$\eta_{inv} = \frac{p}{p + p_o + kp^2}$$

Donde la potencia normalizada p se describe como la relación entre la potencia entregada a la red y la potencia nominal del inversor ($P_{INV,N}$):

$$p = \frac{P_{AC}}{P_{inv,N}}$$

Los parámetros adimensionales y se puede obtener a partir de la curva de eficiencia del inversor y dependen de la calidad de este,

de la tensión de entrada y de la potencia nominal. Para calcular estos parámetros se pueden usar la eficiencia del inversor al 10% y al 100% de la potencia nominal de este.

$$p_o = \frac{1}{99} \left(\frac{10}{\eta_{10}} - \frac{1}{\eta_{100}} - 9 \right)$$

$$k = \left(\frac{1}{\eta_{100}} \right) - p_o - 1$$

22.16. Curvas de eficiencia de los inversores

En la figura 9 se pueden observar las curvas de eficiencia para los inversores. Y también se han representado los puntos de máxima eficiencia.

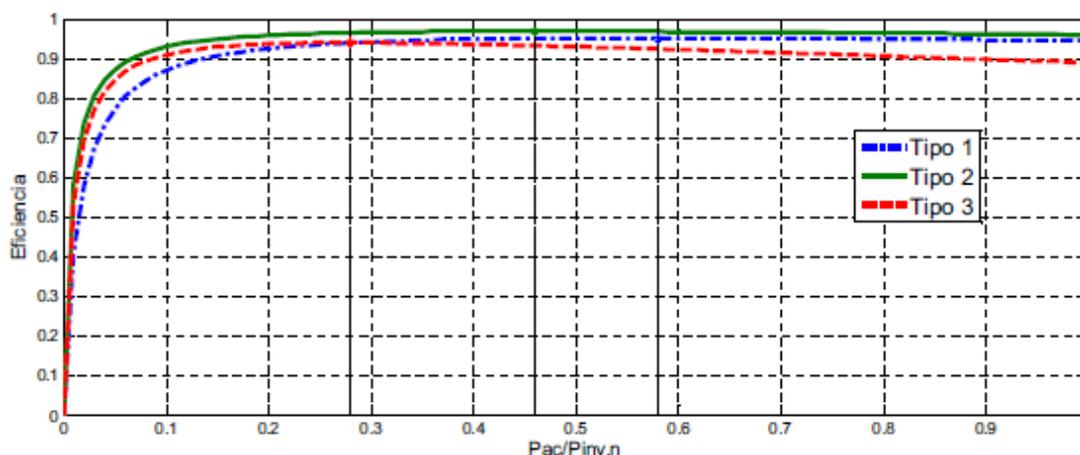


Figura 9. Curvas de eficiencia para los tres tipos de inversores seleccionados

Fuente: Guillermo Velasco Quesada (Tesis: Electricidad: Enero de 2011) Abanprojecte.pdf

22.17. Conexión a la red

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (SFCR) constituyen una de las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica que más atención están recibiendo en los últimos

años, dado su elevado potencial de utilización en zonas urbanizadas próximas a la red eléctrica. Estos sistemas están compuestos por un generador fotovoltaico que se encuentra conectado a la red eléctrica convencional a través de un inversor, produciéndose un intercambio energético entre ésta y el sistema fotovoltaico.

La diferencia fundamental entre un sistema fotovoltaico autónomo y los conectados a red, consiste en la ausencia, en este último caso, del subsistema de acumulación, formado por la batería y la regulación de carga. Además, el inversor, en los sistemas conectados a red, deberá estar en fase con la con la tensión de la red.

2.2.18. Tipos de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red

Como se ha venido comentando hasta ahora, existen dos tipos de aplicaciones de la energía solar fotovoltaica: los sistemas aislados y los conectados a la red.

Aun conociendo la variedad de posibilidades que ofrece el primer tipo de instalaciones, es importante considerar los sistemas conectados a red, ya que pueden ofrecer una diferenciación en lugares (por ejemplo: Europa) donde los niveles de electrificación están llegando a un nivel de saturación.

La ventaja de esta tecnología fotovoltaica está en la posibilidad de crear una instalación a partir de un gran número de sistemas descentralizados, distribuidos en los puntos de consumo, frente a

la instalación en grandes superficies, con lo que se consigue eliminar las pérdidas por transporte.

Se enumeraron anteriormente las aplicaciones de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red: instalaciones de energía fotovoltaica para edificación bioclimática, en edificios para posterior suministro a la red eléctrica, para la creación de centrales eléctricas y para refuerzo a finales de línea. Todas estas aplicaciones pueden dividirse en dos grandes subgrupos: los sistemas fotovoltaicos en edificios y las centrales o huertos solares.

22.19. Sistemas fotovoltaicos en edificios

Los edificios que integran sistemas fotovoltaicos se conocen como Sistemas Fotovoltaicos Integrados en Edificios (SFIE) o Edificios Fotovoltaicos Conectados a Red (EFCR) (Building Integrated Photovoltaic Systems, BIPV). Tienen como función específica entregar toda la energía generada por el sistema a la red eléctrica.

Los primeros EFCR instalados en Europa surgieron al final de los años 80 en Alemania, Austria y Suiza. En España, por ejemplo el primer edificio institucional que funcionó fue el Instituto Solar de la Universidad Politécnica de Madrid, en 1994. A día de hoy, los edificios fotovoltaicos significan un 42% del total de la energía consumida en Europa. La mayoría de los sistemas fotovoltaicos en edificios (viviendas, centro comerciales, naves industriales...) se montan sobre tejados y cubiertas, pero se espera el aumento

de instalaciones integradas en tejas y otros materiales de construcción. Estos sistemas fotovoltaicos son de pequeño a mediano tamaño, lo que supone una potencia de 5 kW a 200 kW, aunque a veces se supere este valor y se llegue al orden de los MW.

Otros sistemas pueden reemplazar a los componentes de las fachadas. Las fachadas fotovoltaicas son elementos muy fiables y aportan un diseño moderno e innovador al edificio mientras producen electricidad.



Figura 10. Edificio con fachada fotovoltaica.
Fuente: www.saecsaenergiasolar.com

2.2.20. Huertos o centrales eléctricas fotovoltaicas

Los huertos fotovoltaicos son agrupaciones de instalaciones fotovoltaicas individuales, pertenecientes a distintos titulares, situados en un terreno o parcela que reúne unas condiciones óptimas para producir energía fotovoltaica.

Los huertos fotovoltaicos ofrecen varias ventajas como:

El incremento de la rentabilidad del proyecto al abaratar costes en infraestructura, mantenimiento, limpieza, vigilancia y gestión administrativa.

Los generadores fotovoltaicos se pueden adquirir a precios inferiores debido al volumen de unidades de compra.

Los pocos efectos medioambientales negativos se concentran en zonas con escaso valor medioambiental.

Se generan nuevos puestos de trabajo alrededor de las zonas de instalación.

Permite la inversión en instalaciones fotovoltaicas de cualquier persona, aún sin disponer de un terreno propio adecuado.

Los elementos comunes en un huerto son los paneles fotovoltaicos, que pueden ser fijos o con rotores giratorios para seguir el movimiento del sol, lo cual permite un aumento en la capacidad de captación de la radiación. La mayoría de los fabricantes de paneles solares garantizan un 80% de producción de energía durante los primeros 25 años de vida. La electricidad generada por los paneles fotovoltaicos es corriente continua y debe convertirse en corriente alterna, para su vertido a la red, mediante el empleo de un inversor. En cuanto a la rentabilidad económica que ofrecen los huertos solares, debe tenerse en cuenta que ésta dependerá de la cantidad de kWh inyectados a la red, concepto relacionado directamente con la radiación solar que recibe y recoge la instalación, en un determinado lugar. Por lo general, la rentabilidad aproximada oscila entre el 10 y el 12%

anual, y está garantizada porque la fuente de energía, el Sol, es inagotable.



Figura 11. Central solar repartición 22MWP (Arequipa-Perú)

Fuente: www.sectorelectricidad.com/3033/peru-inauguran-primera-central-electrica-solar-de-sudamerica-22mw/

El gobierno peruano a través de los siguientes decretos ha creado un marco legal de energías renovables:

El decreto legislativo 1002 (02 de mayo de 2008): Ley de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.

El decreto supremo 012 – 2011 (marzo 2011): Reglamento de generación de electricidad con energías renovables.

Con lo dispuesto por el marco normativo de la promoción de recursos energéticos renovables (RER), el Perú ha optado por subastar la energía requerida en MWh/año (tecnologías biomasa, eólica, solar, geotérmica y mareomotriz) más un adicional de

pequeñas hidroeléctricas (menores a 20MW). Estas subastas serán convocadas con una periodicidad no menor a 2 años.

2.2.21. Formas de conectarse a la red

El inversor de conexión a red es una parte fundamental en una instalación fotovoltaica conectada a red, ya que permite la conversión de la energía de corriente continua generada por los paneles en corriente alterna.

El inversor de conexión a red ha de tener las siguientes características:

Suministrar una onda de tensión y corriente de salida lo más perfecta posible a la red y con frecuencia de 60Hz. Y no introducir armónicos o interferencias en la red.

Tener el mayor rendimiento posible, y por tanto las menores pérdidas en la conversión de energía

Tanto los sistemas fotovoltaicos en edificios como en los huertos, logran que la electricidad generada se consuma en el lugar de producción; sin embargo, financiera y administrativamente, podemos diferenciar dos formas de conectarse a la red.

2.2.22. Tarifa fotovoltaica

En los países donde la legislación obliga a las compañías eléctricas a aceptar la generación que conecta a sus redes y existe una tarifa para recompensar el kWh de origen fotovoltaico, el sistema se suele conectar directamente a la red eléctrica, de modo que se inyecta el 100% de la energía producida.

2.2.23. Facturación neta

Esta forma de conexión utiliza la electricidad fotovoltaica para consumo propio y los excedentes se inyectan a la red. El sistema fotovoltaico se conecta cerca del contador, en el lado del consumidor, reduciendo la necesidad de comprar electricidad, con ello disminuye la factura de la compañía eléctrica, ya que solo suministra la energía que no aportan los paneles.

Cuando se produce un excedente, éste se vierte a la red y se puede recibir la tarifa fotovoltaica correspondiente, si lo contempla la regulación.

Llevando a cabo una comparación entre ambos casos, se concluye que la tarifa fotovoltaica, es mucho más eficaz para promover la fuente renovable, exige la emisión de una factura y deben llevarse una contabilidad y los trámites de una actividad económica, con la independencia del tamaño de la instalación.

En la facturación neta se obtiene un ahorro de consumo que no conlleva ninguna carga burocrática.

El sistema en estudio proviene de una fuente considerada inagotable y cuyo uso produce un mínimo impacto ambiental, es decir, que la generación de CO₂ es prácticamente nula.

En el año 1992 la Organización de las Naciones Unidas advirtió que la actividad humana está afectando la temperatura del planeta, debido al incremento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso).

Estos gases se producen naturalmente y son fundamentales para la vida; pues impiden que parte del calor solar regrese al espacio. Pero cuando su volumen aumenta considerablemente, provoca temperaturas artificialmente elevadas que modifican el clima. En un esfuerzo por frenar este problema, se estableció la convención marco de las Naciones Unidas para el cambio climático (UNFCCC), de la cual el Perú es miembro y posteriormente se suscribió el Protocolo de Kyoto, por medio del cual los países desarrollados y economías en transición se comprometieron a reducir las emisiones de GEI en un promedio de 5.2% con respecto a 1990, entre los años 2008 – 2012 (Periodo de compromiso).

La reducción de emisión de gases se cuantifica con los llamados “Bonos de Carbono”, que son muy bien pagados en un mercado que tiene como compradores a los países más desarrollados que están obligados a contar con determinada cantidad de bonos generados dentro o fuera de sus fronteras.

Desde un punto de vista estrictamente tecnológico es posible convertir cada tejado en un pequeño generador eléctrico que aporte a la red de distribución

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación realizada es de un enfoque cuantitativa, de tipo no experimental se puede definir como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente lo que hacemos, es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos. (Hernandez & Charaja, 2011).

El tipo de investigación a realizar es de tipo cuasi - experimental, ya que se hará un profundo estudio analítico para realizar el análisis de la eficiencia del inversor, aprovechando las condiciones de nuestra región, gracias a este método podremos trabajar con orden y obtener resultados para la certificación de la hipótesis planteada.

Las técnicas que se aplicarán son de dos tipos, las de campo; debido a que se requiere acumular información primaria para después analizar y cuantificarla, y las bibliográficas; para obtener información de documentos y libros referentes al tema.

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Se encuentra enmarcada como cuasi - experimental.

3.3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En este Trabajo de investigación se presentan las siguientes Metodologías a utilizar, método descriptivo y deductivo.

A. Método Descriptivo.

Posibilitará la observación, descripción del grado de participación de los agentes en el proceso de elaboración del presupuesto participativo concertado.

B. Método Deductivo.

Nos permitirá determinar el cumplimiento de metas y objetivos a partir de los datos generales aceptados como válidos a situaciones particulares para concluir en suposiciones aceptables.

3.3.2. Técnicas para recolección de datos

A. Observación Directa

Mediante el ensayo de la generación de un sistema fotovoltaico. Esta técnica fue muy importante para identificar el problema, analizar y recoger datos e información importante para investigación realizada.

B. Análisis documental y bibliográfica

La información necesaria para el trabajo de investigación se recopilara en bibliotecas especializadas, Internet, consulta a ingenieros especialistas (Electrónicos, Mecánicos Electricistas) instituciones, personas naturales, universidades y centros de investigación a nivel nacional e internacional que puedan contribuir al desarrollo óptimo del proyecto de Tesis.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. Población

La población está compuesta por todos los proyectos de Generación de Energía Solar fotovoltaica aislada y conectada a la red de distribución.

3.4.2. Muestra:

Proyectos relacionados con la generación de energía solar fotovoltaica en el Perú y aplicados a la región de Puno.

3.5. VARIABLES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

Se considera lo siguiente:

3.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE:

EFICIENCIA DEL INVERSOR

$$\eta_{inv} \equiv \frac{V_{\text{voltaje corriente alterna}}}{V_{\text{VOLTAJE EN CORRIENTE CONTINUA}}} * 100\%$$

$$\eta_{inv} \equiv \frac{V_S * I_S}{V_E * I_E} * 100\%$$

$$\eta_{inv} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

3.5.2 VARIABLE INDEPENDIENTE:

1. POTENCIA DE ENTRADA EN CORRIENTE ALTERNA
2. POTENCIA DE SALIDA EN CORRIENTE CONTINUA

3.5.3 INDICADORES:

A. Variable dependiente.

- Eficiencia.

B. Potencia en corriente alterna.

- Potencia en corriente directa
- Variable independiente.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE UN INVERSOR FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

En el presente capítulo se desarrolla un modelo para inversor conectado a la red.

Para realizar el modelo es necesario realizar cálculos que se presentaron en el capítulo anterior.

4.1.1. Análisis del aprovechamiento energético

Dentro del aprovechamiento energético, hemos considerado las siguientes magnitudes.

- a) Eficiencia
- b) Umbral de arranque
- c) Consumo en espera
- d) Seguimiento del punto de máxima potencia

4.1.2. Eficiencia

La eficiencia nos indica cuanta energía continua se convierte en alterna en el dispositivo.

Dicho de otro modo, indica las pérdidas de energía que se producen sobre la energía total (potencia continua de entrada) para obtener una determinada energía útil (potencia alterna a la salida).

En el caso del inversor, se consideran dos tipos de pérdidas de forma general.

Pérdidas que son independientes de la potencia de entrada, causadas por el funcionamiento de los circuitos del inversor, los mismos que siempre consumirán una parte de la energía puesta en juego.

Pérdidas que dependen de la potencia de entrada, causadas por la conmutación de los interruptores de potencia.

El conjunto de ambos tipos de pérdidas conforman la curva característica de la eficiencia de un inversor.

Las pérdidas independientes de la potencia provocan el pequeño valor de eficiencia para bajas potencias de entrada, debido a que la mayor parte de la energía se utiliza para la alimentación de los circuitos interno.

Las pérdidas dependientes de la potencia provocan el pequeño valor de eficiencia para bajas potencias de entrada, ya que la mayor parte de la energía se utiliza para la alimentación de los circuitos internos.

Las pérdidas dependientes de la potencia de entrada hacen que la eficiencia no crezca, sino que se mantenga casi estable o decrezca para valores de potencia de entrada cercana la nominal.

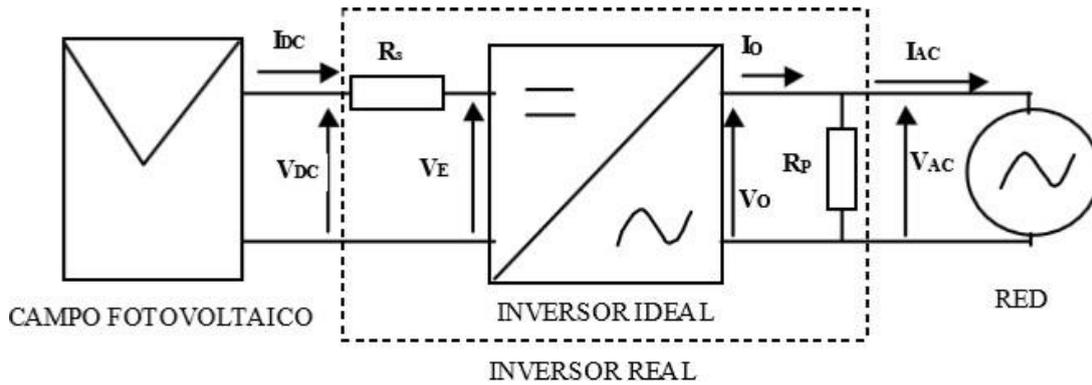


Figura 12. Circuito del inversor para simular la eficiencia.
Fuente: Rashid (2004)

Donde:

V_E : Voltaje de entrada al inversor (voltio)

V_0 : Voltaje de salida del inversor (voltio)

En forma ideal consideramos: $V_E = V_0$

4.1.3. Cálculo del rendimiento

$$n = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} = \frac{V_{AC} I_{AC}}{V_{DC} I_{DC}} \dots\dots\dots(1)$$

Para expresar el rendimiento en función de la potencia de salida y de la tensión de entrada, se despeja IDC.

Para ello, hay que tener en cuenta que en el inversor ideal la potencia a la entrada es igual a la potencia a la salida.

$$V_{DC} I_{DC} = V_0 I_0 = V_{AC} I_{AC} \dots\dots\dots(2)$$

Si se opera en esta ecuación se puede obtener una expresión para la

intensidad en el lado de continua:

$$V_{DC} I_{DC} - V_{DC}^2 R_S = \frac{V_{AC}^2}{R_P} + V_{AC} I_{AC} \dots\dots\dots(3)$$

$$R_S I_{DC}^2 - V_{DC} I_{DC} + \left(\frac{V_{AC}^2}{R_P} + P_{AC} \right) = 0 \dots\dots\dots(4)$$

$$I_{DV} = \frac{V_{DC} \pm \sqrt{V_{DC}^2 - 4R_s \left(\frac{V_{AC}^2}{R_p} + P_{AC} \right)}}{2R_s} \dots\dots\dots(5)$$

De las dos posibles soluciones, operando obtenemos:

$$I_{DV} = \frac{V_{DC} - \sqrt{V_{DC}^2 \left[1 - 4 \frac{R_s}{V_{DC}^2} \left(\frac{V_{AC}^2}{R_p} + P_{AC} \right) \right]}}{2R_s} \dots\dots\dots(6)$$

$$I_{DV} = \frac{V_{DC} - V_{DC} \sqrt{\left[1 - 4 \frac{R_s}{V_{DC}^2} \left(\frac{V_{AC}^2}{R_p} + P_{AC} \right) \right]}}{2R_s} \dots\dots\dots(7)$$

introduciendo en la ecuación (1) da:

$$n = \frac{P_{AC}}{V_{DC} I_{DDC}} = \frac{P_{AC}}{V_{DC} \left[\frac{V_{DC} - V_{DC} \sqrt{\left[1 - 4 \frac{R_s}{V_{DC}^2} \left(\frac{V_{AC}^2}{R_p} + P_{AC} \right) \right]}}{2R_s} \right]} \dots\dots\dots(8)$$

Resultando una ecuacion final para el rendimiento como sigue:

$$n = \frac{P_{AC}}{V_{DC} I_{DDC}} = \frac{2R_s P_{AC}}{V_{DC}^2 \left[1 - \sqrt{\left[1 - 4 \frac{R_s}{V_{DC}^2} \left(\frac{V_{AC}^2}{R_p} + P_{AC} \right) \right]} \right]} \dots\dots\dots(9)$$

Análisis : La ecuación de la eficiencia en función de la tensión de entrada, la tensión de salida y potencia de salida, e incluye los dos parámetros de naturaleza resistiva: Rs y Rp.

Donde:

- Rs : Nos representa las perdidas en el acoplamiento entre el lado de continua.

R_p : Nos representa las pérdidas en el acoplamiento entre el lado de alterna.

La siguiente grafica muestra como varia la eficiencia en función de este parámetro; como puede observarse, si el valor de R_s aumenta, disminuye el rendimiento en la zona plana de la curva.

A demás la forma de la curva se ve afectada por la variación de este parámetro, de modo que para valores altos d este toma la trayectoria descendente hacia su final.

Al ser una resistencia conectada en serie en la entrada, la potencia perdida en ella aumenta con el valor de la intensidad de entrada, y por lo tanto con la potencia de entrada.

Así, su contribución al valor de la eficiencia es mayor cuanto mayor es la potencia puesta en juego.

Se trata por tanto del elemento que representa las pérdidas dependientes de la potencia de entrada.

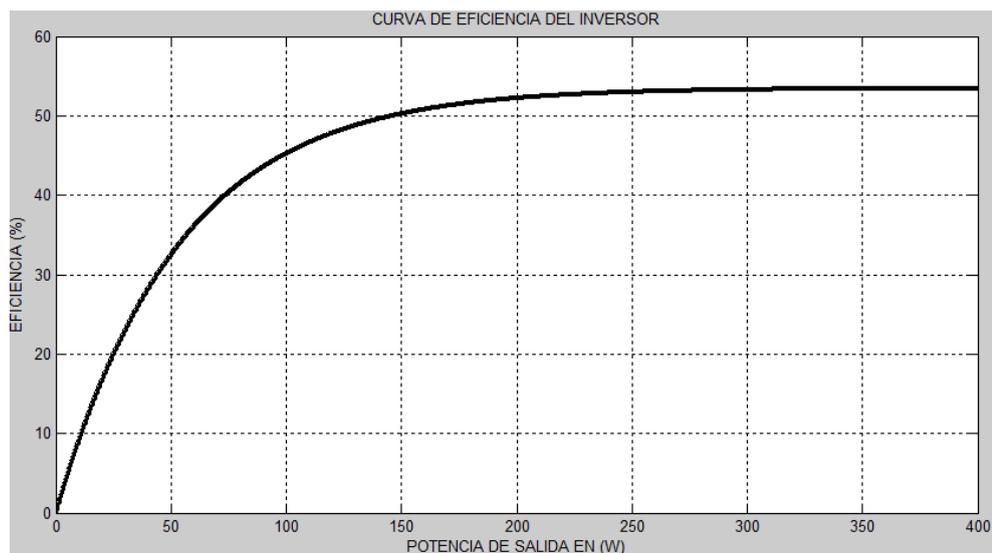


Figura 13. Curva de eficiencia de un inversor.

Fuente. En base a : Rosato (1999).

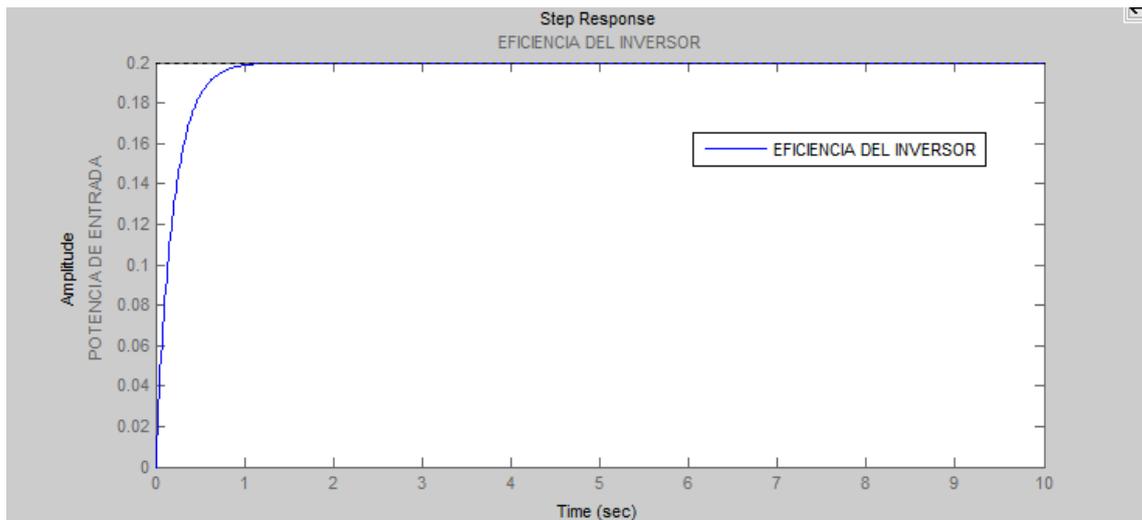


Figura 14. Curva de eficiencia de un inversor en Matlab.
Fuente. En base a : Rosato (1999).

R_p representa las pérdidas por funcionamiento del inversor, y es responsable de la forma de la curva en la zona de bajas potencias, según podemos ver la siguiente grafica.

- Si el valor de R_p aumente, también aumenta la subida de la curva, asemejándose cada vez más al valor ideal de esta ($n=1$ para cualquier potencia de salida).
- Como esta resistencia se encuentra en paralelo con la salida del inversor, sus pérdidas dependerán del cuadrado de la tensión RMS de salida.
- Como la tensión de salida es la de la red, las pérdidas en esta resistencia son constantes para todo el margen de potencias de salida. Esto provoca que su influencia en la eficiencia sea muy acentuada en la zona de potencias bajas, para decrecer conforme aumenta la potencia de salida.

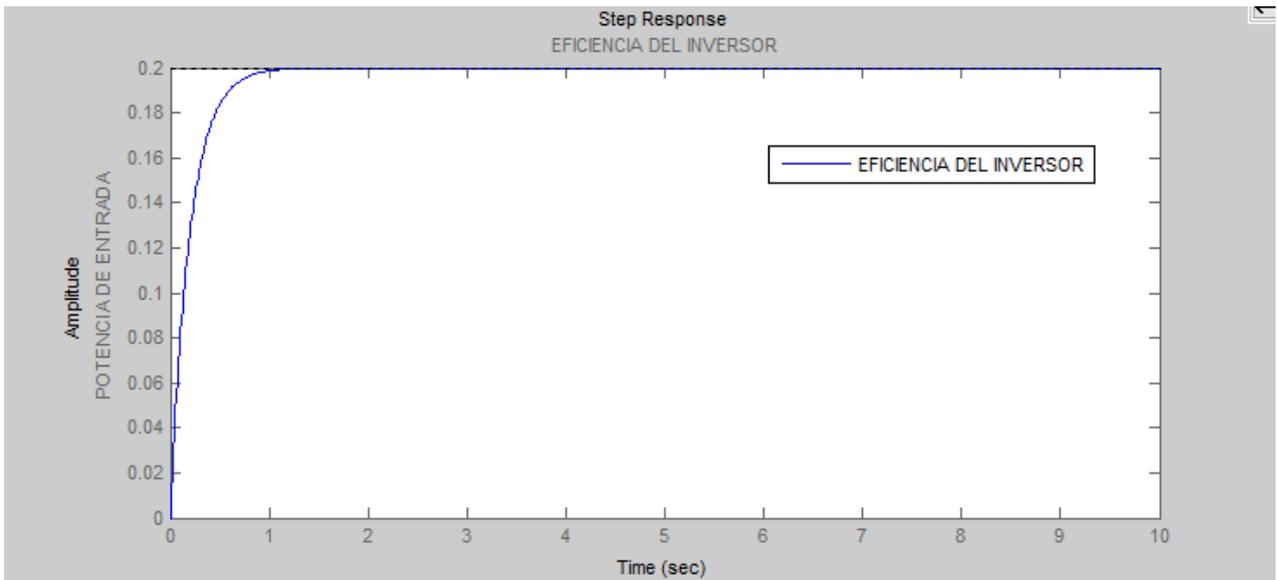


Figura 15. Curva de eficiencia de un inversor en Matlab
 Fuente. En base a : Rosato (1999).

$$R_s = \frac{V_{DC}I_{DC} - \frac{V_{AC}^2}{R_p} - V_{AC}I_{AC}}{I_{DC}^2} \dots\dots\dots(10)$$

Para potencias elevadas, se puede despreciar la contribucion del termina de perdida de Rp.

En este caso nos queda:

$$R_s = \frac{P_{DC} - P_{AC}}{I_{DC}^2} \dots\dots\dots(11)$$

Para calcular Rs se utilizaran un conjunto de valores P_{DC}, P_{AC} e IDC elevados de entre los que se hayn obtenido en las medidas.

Del mismo modo, para calcular el valor de Rp, se tomara en este caso la ecuacion (3) y despejando obtenemos:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{V_{DC}I_{DC} - I_{DC}^2R_s - V_{AC}I_{AC}}{V_{AC}^2} \dots\dots\dots(12)$$

Para potencias bajas, puede despreciarse ahora la contribucion del teemino de perdidas de Rs, obteniendose.

$$\frac{1}{R_P} = \frac{P_{DC} - P_{AC}}{V_{AC}^2} \dots\dots\dots(13)$$

Se observa que el conjunto de valores PDC, PAC y VAC mas adecuados para el calculo de Rp eran los obtenidos en la zona de cambio de pendiente de la curva de rendimiento .

La eficiencia isntantanea se determina como (koizumi, 2001).

$$n_{MPPT} = \frac{P_{DC}}{P_{MAX}} = \frac{V_{DC}I_{DC}}{V_{MAX}I_{MAX}} \dots\dots\dots(14)$$

Expresamos la eficiencia en funcion de la potencia contiuna y de la tension en el punto de maxima potencia, para esto despejamos IMAX.

Para ello, teniendo en cuenta que el sguidor ideal la potencia a la entrada es igual a la potencia de salida:

$$V_I I_{MAX} = V_{0S} I_{0S} = V_{DC} I_{0S} \dots\dots\dots(15)$$

Operando esta ecuacion se puede obtener una expresion para la intensidad en el punto de maxima potencia:

$$V_{MAX} I_{MAX} - I_{MAX}^2 R_{SM} = \frac{V_{DC}^2}{R_{PM}} + V_{DC} I_{DC} \dots\dots\dots(16)$$

$$R_{SM} I_{MAX}^2 - V_{MAX} I_{MAX} = \left(\frac{V_{DC}^2}{R_{PM}} + P_{DC} \right) \dots\dots\dots(17)$$

$$I_{MAX} = \frac{V_{MAX} + \sqrt{V_{MAX}^2 - 4R_{SM} \left(\frac{V_{DC}^2}{R_{PM}} + P_{DC} \right)}}{2R_{SM}} \dots\dots\dots(18)$$

Obtenemos:

$$I_{MAX} = \frac{V_{MAX} - \sqrt{V_{MAX}^2 \left(1 - 4 \frac{R_{SM}}{V_{MAX}^2} \left(\frac{V_{DC}^2}{R_{PM}} + P_{DC} \right) \right)}}{2R_{SM}} \dots\dots\dots(19)$$

$$I_{MAX} = \frac{V_{MAX} - V_{MAX} \sqrt{\left(1 - 4 \frac{R_{SM}}{V_{MAX}^2} \left(\frac{V_{DC}^2}{R_{PM}} + P_{DC}\right)\right)}}{2R_{SM}} \dots\dots\dots (20)$$

Reemplazando en la ecuación (14)

$$\eta_{MPPT} = \frac{P_{DC}}{V_{MAX} I_{MAX}} = \frac{P_{DC}}{V_{MAX} \left[\frac{V_{MAX} - V_{MAX} \sqrt{\left(1 - 4 \frac{R_{SM}}{V_{MAX}^2} \left(\frac{V_{DC}^2}{R_{PM}} + P_{DC}\right)\right)}}{2R_S} \right]} \dots\dots\dots (21)$$

Obtenemos la ecuacion para la eficiencia:

$$\eta_{MPPT} = \frac{P_{DC}}{V_{MAX} I_{MAX}} = \frac{2R_S P_{DC}}{V_{MAX}^2 \left(1 - \sqrt{\left(1 - 4 \frac{R_{SM}}{V_{MAX}^2} \left(\frac{V_{DC}^2}{R_{PM}} + P_{DC}\right)\right)}\right)} \dots\dots\dots (22)$$

- Se cuenta con los datos proporcionados por el fabricante en las hojas de características en la cual podemos encontrar algunos de ellos, como por ejemplo el valor de la potencia autoconsumida, la misma que nos permite calcular la resistencia de autoconsumo.
- Los valores difieren de un inversor a otro, siendo excluidos parametros de las hojas de características.

Calculamos:

$$R_S = \frac{P_{DC} - P_{AC}}{I_{DC}^2} \dots\dots\dots I$$

$$\frac{1}{R_P} = \frac{P_{DC} - P_{AC}}{V_{AC}^2} \dots\dots\dots II$$

Los pasos que siguen son:

$$\eta_C = \frac{2R_S P_{AC}}{V_{DC}^2 \left(1 - \sqrt{\left(1 - 4 \frac{R_S}{V_{DC}^2} \left(\frac{V_{AC}^2}{R_P} + P_{AC}\right)\right)}\right)} \dots\dots\dots III$$

$$\eta_{inv} = \frac{\frac{P_{CA}}{P_{NOM}}}{\frac{P_{CA}}{P_{NOM}} + \left(K_0 + K_1 \frac{P_{CA}}{P_{NOM}} + K_2 \left(\frac{P_{CA}}{P_{NOM}} \right)^2 \right)} \dots\dots IV$$

Los inversores son uno de los elementos fundamentales de un sistema fotovoltaico conectado a la red, en los últimos años, tanto el tipo de topología como la electrónica de potencia utilizados han sufrido importantes cambios y avances, que han permitido optimizar la función del inversor en el conjunto de la instalación y solucionar las limitaciones de las tecnologías pasadas.

Las funciones principales de un inversor son la inversión DC/AC, la modulación de la onda de alterna de salida, además el inversor debe ser capaz de trabajar al máximo rendimiento y generar energía con la máxima calidad posible (baja distorsión armónica).

Uno de los parámetros más representativos y que mejor representa el funcionamiento de un inversor fotovoltaico es su curva de eficiencia.

El rendimiento del inversor es un parámetro determinante y fundamental en el objetivo de lograr una instalación fotovoltaica eficiente y que funcione de una forma óptima.

La eficiencia (η) es el cociente entre la potencia de salida AC del inversor, entregada a red, y la potencia de entrada DC, procedente del generador FV.

$$\eta_{inv} = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

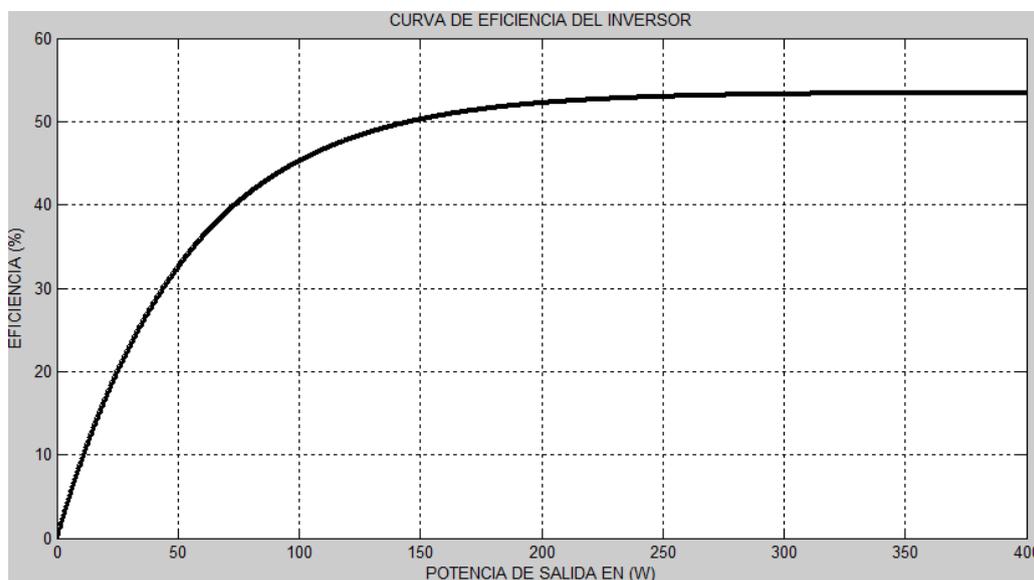


Figura 16. Eficiencia del Inversor

Fuente. En base a : Rosato (1999).

En este sentido, la elección del inversor adecuado está estrechamente ligada a la eficiencia del inversor, indicando que también se puede caracterizar un inversor por medio de su curva de eficiencia.

Como se observa en la figura anterior existen diferentes tipos de curva que demuestran las diferencias de diseño y funcionamiento de cada inversor. De esta manera, se demuestra que es necesario realizar un análisis de la curva de rendimiento de un inversor en particular, para poder decidir si es el más adecuado para la instalación donde va a ser utilizado.

La curva de frente a su potencia de salida es un parámetro a priori fundamental.

Los fabricantes de inversores no ofrecen en ocasiones suficientes datos sobre las curvas de rendimiento. En los últimos años se han incorporado progresivamente a las hojas de características. Sin embargo todavía existen fabricantes que no facilitan algún tipo de información.

La eficiencia de un inversor se puede expresar en función de la relación entre la potencia suministrada a la red (P_{out}) y su potencia de entrada (P_{in}).

Sin embargo, resulta conveniente normalizar ambas potencias, con el fin de facilitar la comparación de los resultados obtenidos de un inversor con otros.

La potencia normalizada de entrada (p_i), se define como la relación entre la Potencia DC de entrada al inversor (P_{in}) y su potencia de salida nominal (P_{inv}).

$$\eta_{inv} = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

Por su parte la potencia normalizada de salida (p_o), se define como la relación entre la potencia de salida del inversor (P_{out}) y su potencia de salida nominal (P_{inv})

$$p_o = \frac{P_{out}}{P_{inv}}$$

En todos los métodos a la hora de cálculo de la curva de eficiencia del inversor, el primer paso consiste en modelar el mismo. La eficiencia de todo inversor puede ser caracterizada por medio de una ecuación polinómica de segundo orden y la normalización de su potencia de salida.

$$\eta_{inv} = \frac{p_o}{p_o + k_o^0 + k_1^0 p_o + k_2^0 p_o^2}$$

k_o^0, k_1^0, k_2^0 Son parámetros adimensionales, referidos a la potencia de salida, que definen el comportamiento del inversor.

k_o^0 : Representa las pérdidas en vacío.

k_1^0, k_2^0 : Representa las perdidas lineales y cuadraticas con la corriente respectivamente

En dependencia de los componentes utilizados, su topología y su funcionamiento, se obtienen unos parámetros determinados y es posible construir la curva de eficiencia del inversor.

Para el cálculo de la curva de eficiencia a partir de estos datos, como son la potencia de salida del inversor, P_{out} , los cuales han sido normalizados a p_o ,

siendo $P_{inv}=5000W$.

Los resultados obtenidos para el inversor de estudio se muestran a continuación en la tabla.

Cuadro 1. Parámetros referidos a la salida del inversor.

PARÁMETROS	VALOR
k_o^0	0.00660
k_1^0	0,01706
k_2^0	0,02620

Fuente: Inversor IA-2700

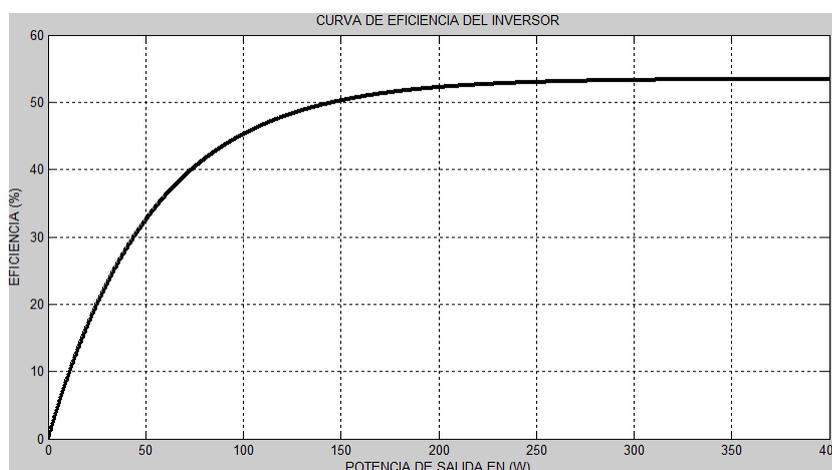


Figura 17. Curva de eficiencia de los datos de la tabla anterior. Fuente. En base a : Rosato (1999).

Cuadro 2. Eficiencia Obtenida

Parámetro	Valor
η_{inv}	95,84%

Fuente. En base a : Rosato (1999).

Se obtiene un valor de eficiencia que alcanza el 95,84%

La eficiencia está relacionada con las pérdidas de conversión del inversor (p_L)

A mayor valor de perdidas, menor es la eficiencia. De esta forma, también es posible calcular la curva de eficiencia del inversor con relación a las pérdidas que se producen en el proceso de conversión DC/AC.

En la actualidad la diferencia entre inversores no radia tanto en el valor de la eficiencia alcanzada, como en la forma de sus curvas.

Cada inversor se diseña en base a una estrategia de funcionamiento, o por el contrario asegurando un gran rendimiento para potencias cercanas a la nominal.

Se ha realizado un nuevo cálculo de la curva de eficiencia del inversor en el cual se consideran las perdidas eléctricas las mismas que se pueden descomponer en la suma de una parte independiente de la carga (p_{Lo}) y otra parte proporcional a ella (kp_o).

Siendo estas pérdidas por conducción del inversor y las pérdidas de conmutación de los interruptores de potencia.

$$\eta_{inv} = \frac{P_o}{P_o + p_{LO} + Kp_o^2}$$

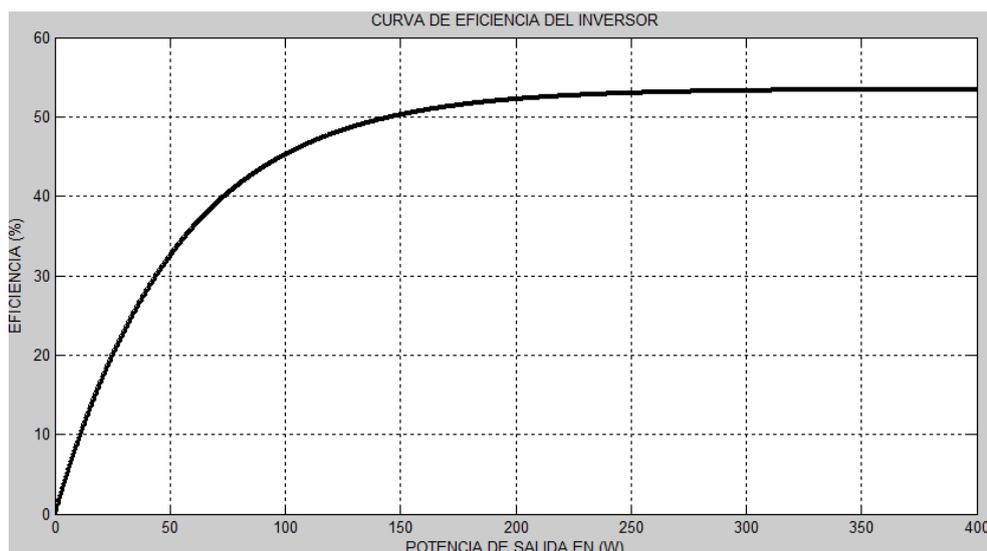


Figura 18. Curva de eficiencia de los datos de la tabla anterior.
Fuente. En base a : Rosato (1999).

Cuadro 3. Eficiencia Obtenida

Parámetro	Valor
η_{inv}	96,16%

Se obtiene un valor de eficiencia que alcanza el 96,16%

Se comprueba que existen diferencias entre las curvas de eficiencia de cada inversor.

Considerando un valor de 30% al 40% de la potencia nominal esto para valores de p_o

A continuación tenemos los coeficientes de pérdidas del inversor SMA – SMC 5000A y los coeficientes de los inversores de la figura anterior en la tabla anterior.

Parámetros	SMA – SMC 5000A	Inversor tipo 1	Inversor tipo 2	Inversor tipo 3
p_{Lo}	0,008	0,014	0,007	0,008
k	0,047	0,043	0,034	0,114
η_{10}	0,917	0,870	0,930	0,910
η_{100}	0,947	0,945	0,960	0,890

Cuadro 4. Coeficientes de pérdidas del inversor de estudio y de tres tipos distintos de inversores

Fuente: Coeficientes de pérdidas de inversores SMA – SMC

Según los datos de la tabla y tal y como se observa en la figura, la forma de curva de la eficiencia del inversor estudiado, se comporta de manera similar a la del inversor tipo2.

Para valores bajos de p_o , las pérdidas en el tramo del codo de la curva del inversor no son excesivamente elevadas.

Para valores de p_o , mas elevados, la curva del inversor cae progresivamente a valores de eficiencia inferiores, situandose prácticamente al mismo nivel que el inversor tipo 1, para valores de potencia igual al nominal.

El inversor SMA - SMC 5000A, por lo tanto, posee una estrategia de Optimización de curva similar a la del inversor tipo 2 en el cual se obtiene altas eficiencias para todo el rango de p_o

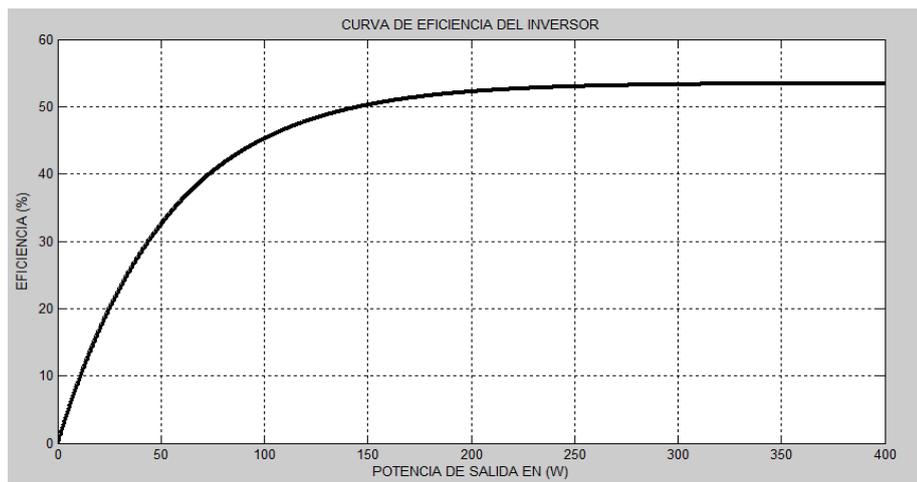


Figura 19. Curva de eficiencia del Inversor SMA-SMC 500A
Fuente. En base a : Rosato (1999).

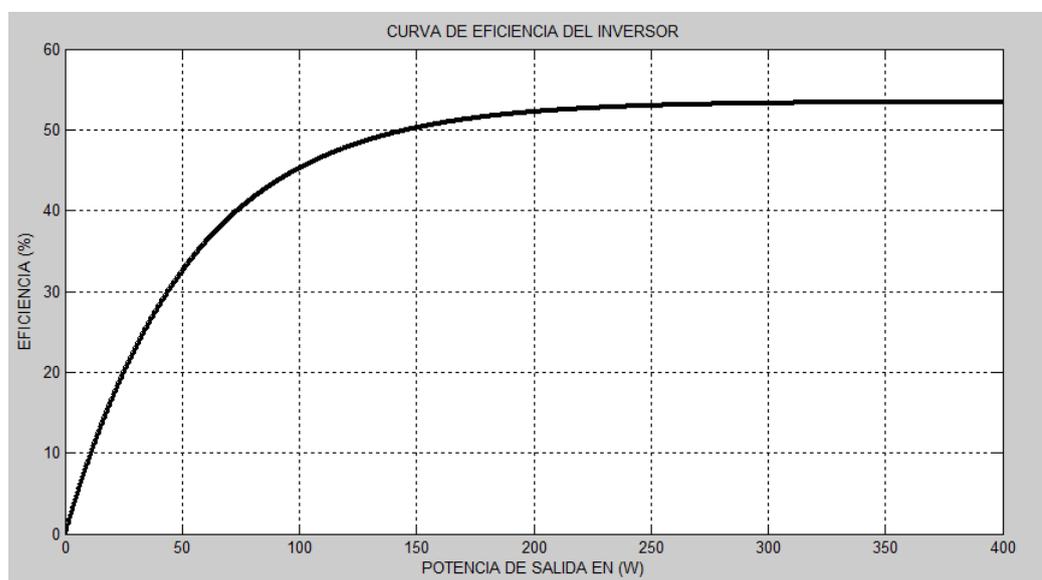


Figura 20. Curva de eficiencia global.
Fuente. En base a : Rosato (1999).

Se observa de la figura anterior, los puntos amarillos representan la eficiencia global registrada.

Se obtienen eficiencias entre el 90% y 98% aproximadamente, para valores de p_o inferiores a 0,15 las curvas de eficiencia de todos los cálculos se comportan de manera similar y siguen la tendencia del grueso de la curva global.

Sin embargo para valores más elevados de potencia, los distintos cálculos se comportan de manera diferente.

Así los cálculos (tanto en el que se calculan los parámetros adimensionales de salida, como en el que se calculan los de entrada) se trazan por la zona superior del grueso de la curva de eficiencia global (puntos amarillo).

Para valores de potencia cercanos al nominal, la curva azul (parámetros adimensionales de salida) tiende a valores de eficiencia superiores al resto de métodos e incluso a la propia curva de eficiencia global.

Por el contrario la curva de color verde (parámetros adimensionales de entrada) sigue con bastante precisión el grueso de puntos amarillos durante todo el rango de potencias.

Por último la curva de color rojo para valores de entre 0,2 y 0,6 tiende a calcular valores de eficiencia superiores al grueso de la curva de eficiencia global.

CONCLUSIONES

- Se concluye que si es posible realizar el análisis de la relación de potencia de entrada y salida de un inversor como el parámetro más importante en la selección para un sistema solar fotovoltaico adaptado a la red eléctrica.
- Se concluye que si es posible la inyección a la red de distribución a través de inversores multinivel, con una eficiencia del inversor del 90% al 98% como lo planteado en la hipótesis.

RECOMENDACIONES

Impulsar la aplicación de sistemas de generación con tecnología en energías renovables y una de ellas que es aplicable a nuestra zona es la Generación de Energía Solar fotovoltaica en las zonas rurales aisladas de la región de Puno en virtud a que obtenemos una energía limpia y que se su uso es múltiple y al mismo tiempo la energía eléctrica es sinónimo de progreso y desarrollo de un país.

Se recomienda el uso de herramientas computacionales como es el caso del MATLAB, como herramienta de diseño y análisis en los sistemas de generación con energías alternativas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, J. (2004). *Ingenieria electroica opcion potencia*. Palmira Cuernavaca: CENIDET.
- Alvarez, A. (2012). *Presupuesto Público comentado 2012, presupuesto por resultados y presupuesto participativo*. Lima: Instituto Pacífico S.A.C.
- Anticona, B. M. (2016). *Proyecto de prefactibilidad para la implementacion de energia solar fotovoltaica. Tesis de pregrado*. Lima: UPC.
- Anticona, D. F. (2005). *Aplicacion de la Energia Solar para electrificacion rural en zonas marginales del pais. Tesis de pregrado*. Lima: Universidad Nacional de Ingenieria.
- Barrius, P. (2009). *Fault tolerant reconfiguration system for asymmetric multilevel vonerters using bi directional powerswitches*. España: IEEE.
- Barrius, P. (2012). *Fault tolerant reconfiguration system for asymmetric multilevel vonerters using bi directional powerswitches*. España: IEEE.
- Cabrera, J. V. (2014). *Plan maestro de electrificacion rural con energia solar fotovoltaica*. Lambayeque: Universidad Pedro Ruiz Gallo.
- Cabrera, J. V. (2014). *Plan Maestro de electrificacion rural con energia solar fotovoltaica*. Lambayeque: Universidad Pedro Ruiz Gallo.
- Carrillo, F. (1998). *Como hacer la tesis y el trabajo de investigacion universitario*. Lima: Horizonte.
- Chapman, P. (2007). *Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques*. España: ENERGY.
- Charaja, F. (2011). *El MAPIC en la investigacion cientifica*. Puno: Nuevo Mundo.
- Charaja, F. (2015). *Metodologia de la Investigación*. Puno: Sagitario impresores.

- De Jesus de Prieto, S. (2005). *Tecnologías de informacion y la nueva gestión pública por tales del gobiernos estatales para promover la transparencia*. Mexico.
- Decreto Supremo N° 142 - 2009 .EF. (23 de 06 de 2009). Reglamento de la ley N° 28056 - ley arco del presupuesto participativo. *Diario oficial el peruano*.
- Fonseca, S. (2000). *Energia Solar Fotovoltaica*. Colombia D.C.: Prentice Hall.
- Francois B, H. (2001). *Design of a fault tolerant control system for a NPC multiniel inverter*. Sevilla: Prentice Hall.
- Francois, B. (2001). *Desing of a fault tolerant control system for a NPC multinivel inverter*. Sevilla : Prentice Hall.
- Fresneda Garcia, A. (2005). *La energia solar termica en el Nuevo codigo tecnico de la edificacion*. España: Prentice Hall.
- Goldfrank, B. (2006). Los procesos de Presupuesto participo en america latina: Éxito, Fracaso y Cambio. *Ciencia Política*, 26.
- Gutierrez, N. (1997). *Analisis de alternativas para la implementacion del filtro de potencia con alta eficiencia, aplicado a convertidore cd/ca utilizando un sistema de alimentacion no convencional*. España: Marcombo.
- Hernadez, R., & Charaja, F. (2011). *Metodologia de Investigacion*. Lima: Sagitario Impresiones.
- Hernande. (2003). *Hernandez Roberto*. Peru: Mac graw Hill.
- Hernandez Sampiere, R. (2015). *Metodologia de Investigacion*. Lima: San Marcos.
- L, G. O. (2007). *100% Renovables Resumen de Conclusiones*. Mexico: Prentice Hall.
- Ladino Peralta, R. (2013). *Analisis del rendimiento de un Banco Solar Fotovoltaico*. Colombia: Prentice Hall.
- Lalupu, H. A. (2013). *Sistema Solar Fotovoltaico de conexion a red en el centro materno infantil. Tesis de pregrado*. Piura: Universidad de Piura.
- Lalupu, H. A. (2013). *Sistema solar fotovoltaico de conexion a red en el centro materno infantil. Tesis de pregrado*. Piura: Universidad de Piura.
- Lei, H. (2005). *Reconfiguracion of carrier based modulation strategy for fault tolerant multilevel inverterss* . Carolina, USA: IECON.

- Leihu, H. (2005). *Reconfiguration of carrier based modulation strategy for fault tolerant multilevel inverters*. Carolina : EICON.
- Ley N° 28056. (15 de 07 de 2003). Ley marco de presupuesto participativo. *Diario oficial el peruano*.
- Ley N° 28056. (15 de 07 de 2003). Ley marco del presupuesto participativo. *Diario Oficial el peruano*.
- Mamani Mendoza, N. (2002). *Evaluación de Ejecución presupuestaria de los proyectos de inversión de la municipalidad provincial de Azangaro periodo 1999 - 2000*. Puno.
- Marcel, M. (26 de 03 de 2007). Presupuesto por resultados: Aspectos conceptuales y experiencias internacionales.
- Mariano, A. R. (1999). *Diseño de Maquinas Eolicas*. España: PROGENSA,.
- Mariano, A. R. (1999). *Diseño de Maquinas Eolicas*. España: Progenza.
- Mendoza, N. M. (1999-2000). *Evaluacion de Ejecucion presupuestaria de los proyectos de inversion de la Municipalidad Provincial de Azangaro* . Azangaro: Municipalidad provincial de Azangaro.
- Mercado, S. (2009). *Como hacer una tesis*. Mexico: Limusa.
- Mingyao, M. (2007). *Reconfiguration of carrier based modulation strategy for fault tolerant multilevel inverters*. España: Prentice Hall.
- Mingyao, M. (2007). *Reonfiguration of carrier based modulation strategy for fault tolerant multilevel inverters*. España: Electronics.
- Noriega Rodado, C. (2005). *ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA*. BOGOTA: Prentice HALL.
- Noriega, C. R. (2005). *Energia solar fotovoltaica*. Bogota: Prentice Hall.
- Ormachea, O. (2000). *Optimizaion de la eficiencia de sistemas fotovoltaicos a traves de recoleccion solar basada en lentes fresnel*. Bolivia: UPB.
- Peralta, R. E. (2011). *Analisis del rendimiento de un Banco Solar Fotovoltaico. Tesis de Maestria*. Colombia D.C: Pontificia Universidad Javeriana.
- Ramos, J. (2003). *Evaluación y analisis de la informacion Presupuestaria de la municipalidad provincial de Puno, formulado para la cuenta general de la republica 2000-2001*. Puno.
- Rashid, M. (2004). *Electronica de Potencia*. Mexico: Prentice Hall.
- Rashid, M. H. (2004). *Electronica de Potencia*. Mexico: Prentice Hall.

- Resolución Directoral N° 003-2011-EF/68.01. (09 de 04 de 2011). Ley de crea el sistema nacional de inversión pública. *Diario oficial el peruano*.
- Resolucion Directoral N° 007-2010-EF/76.01. (26 de 03 de 2010). Diario Oficial el peruano. *Instructivo para el presupuesto participativo basado en resultados n° 001-2010-EF/76.01*.
- Rodado., C. N. (2005). *Energia Solar Fotovoltaica*. Bogota: Prentice Hall.
- Rosato, A. M. (1991). *Diseño de Maquinas Electricas*. España: Progensa.
- Sanchez Carlessi, H. (1999). *Metodologia y Diseños en la investigacion cientifica*. Lima: San Marcos.
- Tacuri, V. H. (2011). *Marco Normativo de la generacion electrica por energias renovables*. Lima: Lima.
- Vargas Choque, D. (1998). *Evaluación de la ejecucion presupuestal en la municipalidad Distrital de Paucarcolla Periodo 1994-1996*. Puno.
- Vasquez, J. (1998). *Energia solar en el Peru*. Lima: Asociacion Grafica Educativa.
- Vilca Vilca, A. (2003). *Evaluación de la ejecución presupuestal de la municipalidad provincial de Huancane Periodo 2001-2002*. Puno.
- Villalobos cabrera, J. (2014). *Plan maestro de electrificacio rural con energia solar fotovoltaica*. lambayeque: un pedro ruiz gallo.
- Welp, Y., & Schneider, C. (2012). Origenes y contradicciones de la participación ciudadana institucional : Analisis de las experiencias de Buenos Aires Montevideo, Barcelona y Zurich. *mexicana de ciencias políticas y sociales*, 56.
- Xiong, Y. (2008). *Prognostic and warning system for power electronic modules in electric*. Carolina: Electron.
- Xiong, Y. (2008). *Prognostic and warning system for power electronic modules in electric*. Carolina: Ind. Electron.
- Zeballos, M. (2014). *Presupuesto Público*. Lima: El Buho E.I.R.L.

ANEXOS

Anexo 1. Características técnicas del Inversor SMC 600A

SMC 4600A / SMC 5000A / SMC 6000A

**Potente**

- > Sistema de refrigeración de alta eficiencia OptiCool

Seguro

- > Separación galvánica
- > Seccionador de potencia de CC integrado ESS

Fiable

- > Servicio SMA en todo el mundo y línea de atención al cliente
- > Amplio programa de garantía de SMA

SUNNY MINI CENTRAL

Pequeños pero potentes

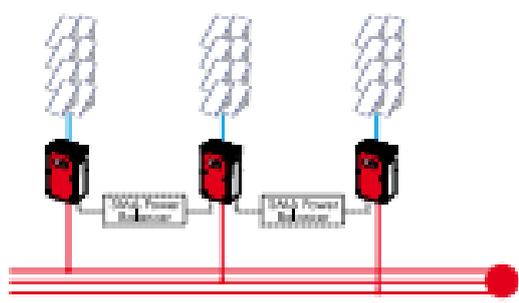
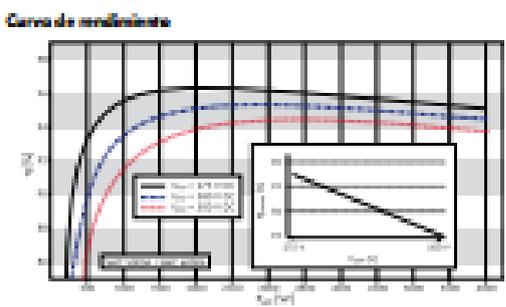
Los inversores Sunny Mini Central 4600A, 5000A y 6000A se distinguen sobre todo por su excepcional coeficiente de rendimiento: inyectan un máximo de energía en la red eléctrica pública de una manera constante y fiable. Los diferentes niveles de potencia disponibles permiten al usuario un alto grado de flexibilidad a la hora de planificar su instalación fotovoltaica. Son ideales tanto para instalaciones pequeñas como para instalaciones grandes en el rango del megavatio. Su robusta carcasa de aluminio fundido a presión y el comprobado sistema de refrigeración OptiCool favorecen una gestión óptima de la temperatura. De esta manera, son capaces de rendir al máximo incluso bajo altas temperaturas ambientales. La separación galvánica permite múltiples posibilidades de conexión: Los Sunny Mini Centrales pueden ser empleados tanto con células cristalinas como con módulos de capa fina.

Datos técnicos SUNNY MINI CENTRAL 4600A / 5000A / 6000A

	S/MC 4600A	S/MC 5000A	S/MC 6000A
Entrada (CC)			
Potencia máxima de CC	5250 W	5750 W	6300 W
Tensión máxima de CC	600 V	600 V	600 V
Rango de tensión fotovoltaica, MPPT	240 V - 480 V	240 V - 480 V	240 V - 480 V
Corriente máx. de entrada	36 A	36 A	36 A
Número de reguladores de MPPT	1	1	1
Número máx. de Strings (en paralelo)	4	4	4
Salida (CA)			
Potencia nominal de CA	4600 W	5000 W	6000 W
Potencia máxima de CA	5000 W	5500 W	6000 W
Corriente máx. de salida	36 A	36 A	36 A
Tensión nominal de CA / rango	230V - 240V / 180V - 260V	230V - 240V / 180V - 260V	230V - 240V / 180V - 260V
Frecuencia de red de CA (de ajuste automático) / rango	50 Hz / 60 Hz / ±0,5 Hz	50 Hz / 60 Hz / ±0,5 Hz	50 Hz / 60 Hz / ±0,5 Hz
Factor de potencia (cos φ)	1	1	1
Conexión de CA / Power Balancing	monofásico /	monofásico /	monofásico /
Coefficiente de rendimiento			
Coefficiente de rendimiento máx.	94,1 %	94,1 %	94,1 %
Revolución europea	95,3 %	95,3 %	95,3 %
Dispositivos de protección			
Protección contra polarización inversa (CC)			
Smothering de carga de CC ESS			
Resistencia al cortocircuito (CA)			
Monitorización de temperatura			
Monitorización de red (SMA grid guard)			
Separación galvánica			
Datos generales			
Dimensiones (ancho x alto x fondo) en mm	468 / 613 / 242	468 / 613 / 242	468 / 613 / 242
Peso	62 kg	62 kg	62 kg
Rango de temperatura de servicio	-25 °C... +60 °C	-25 °C... +60 °C	-25 °C... +60 °C
Emissiones de ruido (típicas)	≤ 42 dB(A)	≤ 42 dB(A)	≤ 42 dB(A)
Consumo característico funcionamiento (standby) / nocturno	< 7 W / 0,25 W	< 7 W / 0,25 W	< 7 W / 0,25 W
Topología	transformador de baja frecuencia	transformador de baja frecuencia	transformador de baja frecuencia
Sistema de refrigeración			
Lugar de montaje interior / exterior (electrónica IP65)	/	/	/
Características			
Conexión de CC: MC 3 / MC 4 / T-type	/ /	/ /	/ /
Conexión de CA: borne estándar			
Display LCD			
Interfaz: RS485 / radio	/	/	/
Garantía: 5 años / 10 años	/	/	/
Certificaciones y autorizaciones	www.SMA-iberica.com	www.SMA-iberica.com	www.SMA-iberica.com

equipamiento de serie Opcional

Datos en condiciones nominales - Última actualización Abril 2009



www.SMA-iberica.com
 Freecall 00800 SUNNYBOY
 Freecall 00800 78669269

SMA Solar Technology AG

SMA Solar Technology AG, Alemania. Todos los derechos reservados. SMA Solar Technology AG es una empresa de capital alemán. SMA Solar Technology AG es una empresa de capital alemán. SMA Solar Technology AG es una empresa de capital alemán.